



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ASPECTOS GENERALES DEL SISTEMA MAGNÉTICO
FUNCIONAL APLICADO EN ORTODONCIA.

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:

ADRIÁN NOLAZCO DELGADO

TUTOR: Esp. FRANCISCO JAVIER LAMADRID CONTRERAS

MÉXICO, D.F.

2016



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.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Odontología por permitirme ser parte de esta gran institución y ayudarme en mi formación profesional.

Agradezco al Esp. Francisco Javier Lamadrid Contreras por su apoyo incondicional para la realización y culminación de este trabajo

Por tus ejemplos de perseverancia, por el valor mostrado para salir adelante, por tu cariño, por creer en mí y que gracias a tu esfuerzo es que yo he logrado concluir mis estudios, porque todo lo que soy te lo debo a ti mamá.

A mi hermana por su cariño y a Sofía por darle alegría a mi vida.

A mi familia y a mis amigos por su apoyo, cariño y motivación para seguir adelante.

A Rocío Domínguez Leonel, por tu paciencia y comprensión, por tu bondad y cariño, porque gracias a ti también estoy aquí, gracias por estar siempre a mi lado.

Este trabajo está dedicado a todos ustedes por hacer que esto fuera posible.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
PROPÓSITO.....	7
OBJETIVO.....	7
1. ANTECEDENTES.....	8
2. PROPIEDADES MAGNÉTICAS.....	12
2.1 Relación fuerza-volumen (F/V) muy elevada.....	12
2.2 Máxima fuerza a distancias reducidas.....	14
2.3 Orientación centrípeta tridimensional de la fuerza de atracción magnética.....	16
2.4 Ausencia de interrupción de las líneas de fuerza magnética por la interposición de otros medios.....	16
2.5 Ausencia de fricción en la configuración de las fuerzas de atracción.....	17
2.6 Perdida nula de la energía.....	18
3. MITO Y REALIDAD.....	20
4. ESTADO ACTUAL DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS EN ORTODONCÍA.....	22
4.1 Control del espacio.....	24
4.2 Depresión posterior.....	25
4.3 Expansión del paladar.....	27
4.4 Guía de crecimiento.....	28
4.4.1 Sydney Magnoglide Clase II.....	31
4.4.2 Aparato Ortopédico Magnético Clase III (MOA III).....	34
4.5 Desretención.....	38

4.6 Distalización de molares.....	40
5. SEGURIDAD BIOLÓGICA DE LOS MATERIALES MAGNÉTICOS.....	44
5.1 Corrosión y citotoxicidad de los materiales magnéticos.....	44
5.2 Efecto de los campos magnéticos en los tejidos y las células.....	46
5.3 Efectos beneficiosos para el movimiento ortodóntico de los dientes....	48
6. CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS FUNCIONALES Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA MAGNÉTICO FUNCIONAL (SMF).....	49
6.1 Clasificación de los aparatos funcionales.....	49
6.2 Fabricación del SMF.....	51
7. MECANISMO DE CORRECCIÓN DEL SMF.....	58
8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MAGNÉTOS.....	61
8.1 Ventajas.....	61
8.2 Desventajas.....	62
CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

INTRODUCCIÓN

La aparición de una nueva modalidad terapéutica suele provocar reservas y críticas. Esta reacción es consecuencia de la comodidad de los médicos, que durante años han gozado de un control total sobre las técnicas de tratamiento de uso corriente. Los años de experiencia convierten al ortodoncista en un experto en determinadas técnicas. No obstante, por desgracia, se pierde objetividad con el paso del tiempo. Se subestiman los fallos terapéuticos con las técnicas de siempre, y se sobrevaloran los éxitos obtenidos con las mismas.

La aceptación o el rechazo de una nueva técnica dependerán de los resultados terapéuticos obtenidos por el odontólogo. Esta es una etapa necesaria, que debe basarse en análisis estadísticos confirmados. Por desgracia, con frecuencia se extraen deducciones clínicas a partir de datos anecdóticos.

Si la ortodoncia quiere evolucionar y progresar, no debe existir ningún obstáculo que impida mejorar la asistencia a los pacientes. Resulta sorprendente que la mecanoterapia funcional con aparatos removibles, haya avanzado tan poco en décadas; por el contrario, los aparatos fijos han experimentado importantes mejoras, como cambios en las propiedades físicas y químicas de los arcos de alambre (níquel-titanio, beta-titanio, superelasticidad), en el diseño de los brackets (técnica del alambre recto, brackets linguales), en los materiales (cerámicas, zirconia) y en los materiales adhesivos (gravado ácido, composites, ionomero de vidrio).

PROPÓSITO

Analizar los beneficios del uso de la aparatología ortopédica funcional basada en magnetismo, retomar su aplicación y estudio para el progreso de la odontología en general. Ser una técnica confiable basada en evidencia, y una alternativa terapéutica de la aparatología ortopédica convencional.

OBJETIVO

Determinar a qué se debe el poco uso de esta técnica por parte del gremio ortodóntico, demostrar la eficacia del Sistema Magnético Funcional (SMF) incorporando el uso de imanes en la fabricación de la aparatología para la corrección de las maloclusiones, esperando demostrar así mismo los beneficios de su aplicación.

1. ANTECEDENTES

Las fuerzas magnéticas han sido investigadas y utilizadas en ortodoncia por más de 16 años. Pero en realidad su uso precedería a la historia escrita. Según Matasa, el primero que escribió un libro sobre magnetismo fue William Gilbert, médico de la Reina Isabel I. Atribuyo este especial poder al “alma” y prefería la palabra “Coito” antes que “afinidad” o “atracción”. Para él el campo magnético era *orbis virtutis*, la senda de las virtudes.

Sin embargo, mucho antes, Plinio (23-90 A.C) afirmo que “la característica distintiva de los magnetos es el sexo”. En el siglo XVII, Baltasar de España propuso la teoría de que “todo está bajo la influencia del magnetismo, que establece la armonía o fomenta divisiones, dando origen a la simpatía, la antipatía y la pasión”.

Franz Anton Mesmer (1734-1815), quien uso placas magnéticas de acero sobre cuerpos humanos desnudos en su Instituto Magnético de Paris, donde practicaba el *magnetismo animal*. Amigo y benefactor de Mozart, tanto que el músico incorporo el enfoque magnético de Mesmer en su opera *Cosi Fan Tutti*. El uso serio del magnetismo en medicina fue comunicado a principios del siglo XIX. Un inglés llamado J. H. Abraham demostró que el uso de magnetos en Paris en 1820, retirando con éxito fragmentos de acero de los ojos de afiladores de agujas.

El uso de fuerza magnética más ampliamente reconocido es el que efectúan los cirujanos ortopédicos para superar la falta de unión de fracturas en huesos largos; aplicando electro magnetos sobre el área de fractura se estimula la actividad de los osteoblastos. Las fracturas de huesos largos sometidos a fuerza magnética y compresión realmente curan sin la usual formación preliminar de un cayo, con lo cual se restaura más rápido la integridad de la extremidad. Este hecho fue observado casualmente por un

cirujano ortopédico en Siberia, en 1968; la bibliografía medica documento hasta ahora la curación más rápida y más segura en 39,000 pacientes.

Los protesistas reconocieron bien temprano el valor del magnetismo. Behrman escribió acerca de su uso para la retención de prótesis ya en 1953. Con el desarrollo de los implantes y de los imanes de tierras raras, se revoluciono la retención de prótesis y hoy se dispone de una solución práctica para la retención. (Fig. 1 y 2).



Fig. 1 y 2. Los magnetos con implantes o en dientes con tratamiento de conductos, son usados para suministrar tanto una libra (453 gr) de retención para prótesis removibles.^{1, 2.}

El trabajo pionero de Kawata, Blechman, Smiley y Cerny, con el empleo de magnetos AlNiCo, mostro el camino para el futuro uso clínico de los magnetos en ortodoncia. Pero los primeros magnetos no eran suficientemente fuertes para usarlos en la boca. La miniaturización de magnetos como resultado de la introducción de tierras raras o elementos lantánidos aumento el potencial para esta fuente de energía acumulada relativamente infatigable.

La mayoría de los magnetos actuales de tierras raras son producidos por sintetización, es decir, una aleación finamente pulverizada, comprimida en un molde, que forma una masa coherente y no porosa, del mismo modo y con igual precisión con que se fabrican hoy los brackets ortodonticos debido a que los implantes proporcionan un anclaje verdaderamente estacionario a largo plazo, los magnetos se han convertido en un beneficio real para aparatos ortodonticos removibles, como también para prótesis dentales, aunque haya una reducción gradual de la afinidad, vinculada con el tiempo, que probablemente requiera el remplazo de los imanes cada 4-5 años.

Cabe destacar que es necesaria una protección constante contra la corrosión, un sellado hermético contra la exposición al aire y los fluidos. Los estudios sobre relaciones fuerza/distancia, tamaño, forma y variaciones de SmCo_5 y $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ muestran las relaciones predecibles sobre las cuales basar la utilización ortodóntica de magnetos. ¹

Blechman, Bondermark, Kurol, Vardimon así como Darendelilier, han tenido en cuenta el potencial de los imanes de tierras raras en el campo de la ortodoncia y la ortopedia Dentofacial. Blechman el verdadero pionero, ha estudiado en profundidad el uso de imanes de tierras raras en medicina y odontología. Estudios recientes corroboran sus observaciones según las cuales los campos magnéticos estáticos pueden producir un campo eléctrico que potencia la respuesta del tejido. ²

El aumento del flujo sanguíneo es evidente y la alineación de las células sanguíneas se ve influida por los imanes, pero la magnitud o carácter de la fuerza, su duración o si la fuerza es continua o intermitente son cuestiones que están tratando actualmente, sobre todo en el campo de la ortopedia médica, donde se han observado mejoras considerables en problemas específicos (por ejemplo, en problemas de espalda y articulaciones, falta de unión de fracturas y el control del umbral del dolor). ²

El evidente efecto beneficioso del campo eléctrico tiene un potencial significativo en la ortodoncia, por operar en hueso de origen endomembranoso. Con una o dos excepciones, investigación sobre respuesta tisular sustenta uniformemente que no hay efectos deletéreos. Blechman destaca que las fuerzas magnéticas se han usado por más de 40 años en el campo médico de la ortopedia. Sin embargo, tres informes recientes presentados por Agnita Linder-Aronson y Lindeskog cuestionan las posibilidades del campo eléctrico y hacen notar la posibilidad de que la fuerza magnética intensifique la hialinización. ¹

A causa del potencial corrosivo de los magnetos de tierras raras, por lo general se los reviste con paraleno, acrílico o acero inoxidable, de modo que la corrosión ya no se constituye un factor en el uso clínico. El trabajo más reciente de Bondemark y cols. , muestra que aun cuando los imanes pueden tener subproductos en la boca por rotura del sellado que los cubre, estos no son nocivos para el huésped.

La exhaustiva investigación realizada por Vardimon y Müller en laboratorio con implantes en primates y ulteriores estudios histológicos, demostró que los imanes de tierras raras, Samario-Cobalto y Neodimio-Hierro-Boro, no producen efectos tisulares adversos. No obstante Blechman hace notar que es más probable que el Neodimio sufra corrosión lo cual reduciría la vida útil del magneto.

Una de las principales ventajas del uso de magnetos de tierras raras es la pronosticabilidad de la cantidad y la dirección de la fuerza. La fuerza es proporcional al tamaño, forma del magneto y a la distancia de la hendidura o brecha. Los magnetos se pueden emplear para una cantidad de tareas en mecanoterapia ortodóntica y ortopédica, por la capacidad de proveer fuerza predecible suficiente, de intensidad variable, por tiempo indefinido. ¹

2. PROPIEDADES MAGNÉTICAS

La adición de las fuerzas magnéticas a las posibilidades de la aparatología funcional responde a la necesidad de reducir la incidencia de los fracasos terapéuticos con los aparatos convencionales. La idea de que el sistema magnético funcional (SMF) puede representar una respuesta a estos casos fallidos se basa en las características tan particulares de los sistemas de fuerzas de atracción magnética en comparación con la mecanoterapia convencional. Dichas características son:

-) Relación fuerza-volumen (F/V) muy elevada
-) Máxima fuerza a distancias reducidas
-) Orientación centrípeta tridimensional de la fuerza de atracción magnética
-) Ausencia de interrupción de las líneas de fuerza magnética por la interposición de otros medios
-) Ausencia de fricción en la configuración de las fuerzas de atracción
-) Pérdida nula de la energía

2.1 RELACIÓN FUERZA VOLUMEN (F/V) ELEVADA

El uso de imanes permanentes en odontología dio un paso decisivo en la aparición de nuevas aleaciones con propiedades magnéticas. Estos imanes de tierras raras que pertenecen al grupo de elementos lantánidos como las aleaciones de samario cobalto (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$), son 20 veces más resistentes que los imanes permanentes más fuertes usados previamente, de aluminio-níquel-cobalto (AlNiCo_5). Por consiguiente, se puede aplicar una fuerza de la misma magnitud con un imán de aleación de tierras raras 20 veces más pequeño.

Dado que las dimensiones de la cavidad oral limitan el tamaño del aparato, este aumento de la relación F/V (también conocido como efecto miniaturizante) permite usar ventajosamente los imanes en odontología. En términos físicos las nuevas aleaciones magnéticas se caracterizan por una elevada fuerza coercitiva (H) (Es decir, un campo magnético muy fuerte), que indica su capacidad para encontrar fuerzas de desmagnetización; una elevada remanencia (B) o inducción magnética, que indica el grado de magnetización espontánea; y un elevado producto de energía (B x H), que indica su capacidad para atraer o repeler (Becker, 1970).

En los últimos 15 años (Chin, 1980) se ha descubierto una nueva aleación magnética de neodimio-hierro-boro ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Este compuesto de neodimio (Nd) es 3 veces más potente que los imanes de Sm-Co (Robinson, 1984). Sin embargo, el imán de Nd es 240 veces más sensible a la corrosión salivar que los imanes de Sm-Co (Vardimon, Mueller, 1985) y posee una temperatura Curie inferior (la temperatura a la que un imán empieza a perder irreversiblemente sus propiedades magnéticas). Actualmente, debido a estas dos limitaciones, las aleaciones de Sm-Co son los compuestos magnéticos de elección en la odontología. Estudios exhaustivos han demostrado que los imanes de lantánidos mantienen una buena biocompatibilidad (Bondemark, 1994); Bondemark y cols; 1994; Cerny, 1980 a,b).³ (Fig. 3).

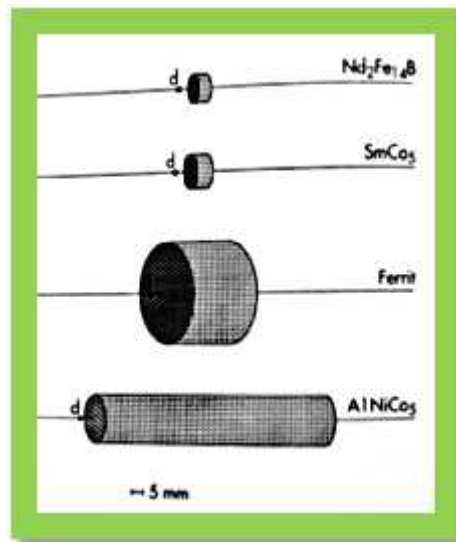


Fig. 3 Aumento de la fuerza-volumen (F-V) con la mejora de las aleaciones magnéticas. Para inducir el mismo campo magnético de la ferrita (la aleación magnética más utilizada) a 1 cm del polo magnético, el volumen de la aleación de $AlNiCo_5$, se reduce en un 77%; el de $SmCo_5$, al 4.4% y el de $Nd_2Fe_{14}B$ al 1.6%.³

2.2 MÁXIMA FUERZA A CORTA DISTANCIA

A diferencia de las fuerzas convencionales (p. ej.; los muelles, los elásticos, los tornillos) que reaccionan de acuerdo con la ley de Hooke ($F \sim Ed$) (en donde la fuerza [F] es proporcional a una constante como el módulo elástico [E] por la distancia [d]), la fuerza magnética reacciona de acuerdo con la ley de Coulomb; es decir, la fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ($F \sim 1/d^2$) (Tsutsui y cols., 1979).

Por ejemplo, en casos de impactación y ajuste final, en los que suele quedar poco espacio entre el diente impactado o los dientes ligeramente mal alineados y la arcada dental, el sistema de fuerzas magnéticas proporciona un control muy superior al de las fuerzas convencionales. Se ha aprovechado esta ventaja para diseñar un nuevo tipo de bracket con una base magnética

(Kawata y cols., 1987) y desarrollar aparatos magnéticos de erupción (Sandler, 1991; Vardimon y cols., 1991).

Otra consecuencia de esta diferencia en el comportamiento de la fuerzas es que facilita la mecánica intermaxilar. Los elásticos intermaxilares convencionales resultan especialmente eficaces en la boca abierta, mientras que las fuerzas magnéticas alcanzan su máxima intensidad al cerrar la boca. En la posición de máxima apertura bucal aumenta el componente de fuerza vertical; y también disminuye el vector de fuerza horizontal.

Por consiguiente, no solo resulta perjudicial la fuerza horizontal deseada para la corrección de clase II, si no que el vector de fuerza vertical puede provocar también una inclinación desfavorable del plano oclusal en los casos de ángulo muy elevado. Los odontólogos tuvieron en cuenta este efecto cuando presentaron los primeros aparatos ortodóncicos de imanes para sustituir los elásticos de clase II o III en el tratamiento ortodóncico (Blechman, 1985; Blechman, Smiley, 1978).³ (Fig. 4).

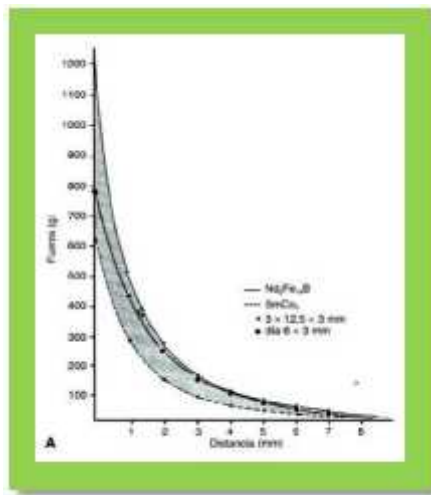


Fig. 4 La relación fuerza/distancia para magnetos aumenta en forma inversamente proporcional a la segunda potencia de la distancia (ley de Coulomb, $F \sim 1/d^2$). Con 3mm de separación (la posición de reposo habitual), los magnetos de neodimio-hierro-boro (curva superior) exhiben el doble de fuerza (160 gr) que los magnetos de samario (75 gr, curva inferior para un mismo tamaño).³

2.3 ORIENTACIÓN CENTRÍPETA TRIDIMENSIONAL DE LA FUERZA DE ATRACCIÓN MAGNÉTICA

La orientación tridimensional de las fuerzas de atracción magnéticas implica que si dos imanes se desplazan entre sí en más de un plano, se atraen hasta llegar a alcanzar un solapamiento total. Si un primer imán móvil se desplaza en las dimensiones X, Y y Z en relación con un segundo imán fijo, el imán móvil se mueve hacia un solapamiento pleno con el imán fijo.

De este modo, si el imán estacionario está unido a una placa y el imán móvil está fijado a un diente impactado, y si el imán estacionario se encuentra en la posición dental final, atraerá al imán móvil hacia una unión total. Es posible conseguir una atracción centrípeta en las tres direcciones espaciales desde un primer momento para completar las fases de tracción (Vardimon y cols. ,1991). Esto se puede conseguir también en los Aparatos Funcionales Magnéticos. ³

2.4 AUSENCIA DE INTERRUPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE FUERZA MAGNÉTICA POR LA INTERPOSICIÓN DE OTROS MEDIOS

Otra característica exclusiva de las fuerzas magnéticas es que la interposición de cualquier otro medio entre dos imanes no impide el paso de las líneas de fuerza magnética. Si se sumerge en el tejido un imán fijado a un diente impactado, será atraído igualmente por un imán intraoral aunque se interponga algún tejido duro o blando entre ambos imanes. Se ha aprovechado esta ventaja para diseñar un nuevo eructor magnético higiénico para la alineación de los dientes impactados (Vardimon y cols. ,1991). ³

2.5 AUSENCIA DE FRICCIÓN EN LA CONFIGURACIÓN DE LA FUERZAS DE ATRACCIÓN

Los imanes que se atraen permiten un control espacial tridimensional. Es lo que se conoce como *orientación centrípeta*. Dado que cuando se usa una configuración de fuerzas de atracción no es necesario utilizar la técnica de arcos de alambre y ranuras, no se generan fuerzas de fricción. Darendeliler y Joho (1992) han aprovechado esta ventaja en sus arcos de alambre magnéticos. Por el contrario, si se usan fuerzas que se repelan, se produce una repulsión de dirección arbitraria e impredecible.

Por consiguiente si se quiere orientar la repulsión una dirección determinada habrá que incorporar elementos de guía al aparato. Por ejemplo, cuando se usan imanes para expandir la arcada superior se utiliza una configuración de repulsión y se incluyen elementos de guía para controlar la repulsión a lo largo del eje transversal (Vardimon y cols. ,1987).

Igualmente, se deben incorporar elementos de guía en el corrector activo vertical de Dellinger, que induce la intrusión de los dientes posteriores mediante imanes en una configuración de repulsión. Estos elementos, conocidos como de Müller, contrarrestan la nociva desviación lateral del maxilar inferior y el desarrollo de una mordida cruzada unilateral (Vardimon y cols. ,1994). Sin embargo, conviene recordar que estos elementos de guía generan fricción en el aparato. A veces puede ser necesario incrementar el umbral de fuerzas para compensar la pérdida de energía como consecuencia de la fricción. ³ (Fig. 5).

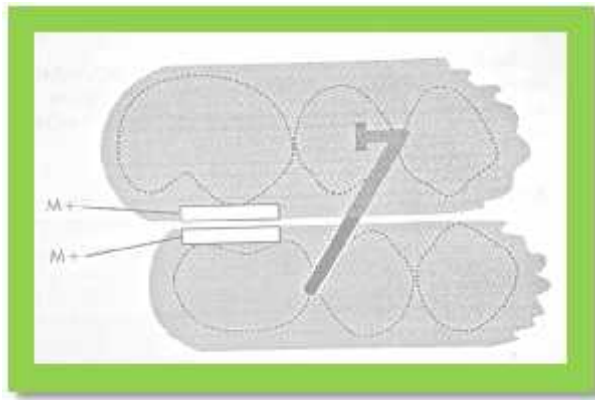


Fig. 5 Vástagos de Müller usados para evitar que los imanes que se repelen en direcciones arbitrarias y conseguir un desplazamiento vertical unidireccional controlado. ³

2.6 PÉRDIDA NULA DE ENERGÍA

Los elásticos son los ejemplos clásicos de sistemas de fuerzas que se deterioran en muy poco tiempo; las propiedades visco elásticas de los elásticos tienden a relajarse. Este cambio se acelera en la práctica odontológica, debido a la adsorción de los líquidos al exponer los elásticos al medio salival (Kuster y cols. ,1986) sin embargo, los metales también pueden perder energía. Una curva de Spee invertida incorporada a un arco de alambre inoxidable suele adquirir una forma casi plana si se extrae el arco de alambre de la boca del paciente al cabo de 3-5 semanas. En este caso, la pérdida de energía se debe a la desactivación.

Dado que la mayoría de los elementos activos actúan en la proximidades del límite de elasticidad, se suelen observar deformaciones plásticas e incluso roturas por fatiga (por la aplicación repetida de cargas por debajo de la tensión máxima) en los resortes de las placas removibles y en los puntos de los arcos de alambre que soportan mayores tensiones (p. ej., bucles y espirales en los alambres de acero inoxidable templado, TMA, Níquel-Titanio). Por el contrario la elevada fuerza coercitiva de la nueva generación de imanes de tierras raras

sugiere que pueden mantener su capacidad de energía durante muchos años sin mermar.

Sin embargo, el levado producto de energía del imán ($B \times H$) dura únicamente mientras los imanes estén protegidos contra la corrosión (por la agresión salivar) y no se supere la temperatura de Curie (unos 350°C para SmCo_5 , y 200°C para $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$).³

3. MITO Y REALIDAD

El éxito de la corrección funcional fue documentado en los periodos de la niñez temprana, la niñez, juventud temprana y adolescencia (Hansen y col. 1991; Hamilton 1997; Baccetti y col. 2000); esto se produce en los periodos previo y posterior de los “picos de crecimiento” los cuales son apropiados para la corrección funcional.

El tiempo de utilización y duración durante el cual los aparatos funcionales logran una mayor respuesta aún no ha sido apropiadamente investigada. Sea recomendado un tiempo de uso de 10-12 horas al día (Vargervik y Harvold 1985).

En la utilización de aparatos no productivos, el paciente abre la boca, y la mandíbula, ya no es colocada en una posición avanzada pero hacia atrás, agravando la mal oclusión Clase II. Basado en el promedio diario, se producen de 1.200 - 3.000 acciones de deglución, con una duración aproximada de 638 milisegundos (Kydd y Neff 1964; Gibbs y col. 1981), la intercuspidadación máxima es de 8-20 minutos por día (Lear y col. 1965, Sheppard y Markus 1962). Es durante este corto periodo de tiempo que se produce la corrección funcional máxima. Es más, durante el sueño, el contacto de intercuspidadación máxima disminuye de 1 a 2 por minuto (Lear y col. 1965; Powell 1965).

Se describió que la mayoría de los pacientes estudiados duermen con la boca abierta debido a la relajación muscular, causando la ubicación inferior de la posición de descanso de 1 a 3 mm durante el día y a 5 a 12 mm durante la noche (Mans y col. 1981; Rugh y Drago 1981; Peterson y col. 1983; Van Sickels y col. 1985). Esto implica que los aparatos funcionales convencionales no están operando en el avance mandibular total, especialmente durante el uso nocturno.

Por lo tanto, resultan imperativos tres requerimientos para maximizar la corrección funcional:

1. El paciente muestra cierto grado de potencial somático de crecimiento.
2. La propulsión anterior de la mandíbula (con el constante espacio libre de mordida).
3. Extenso “tiempo de eficaz uso”.

El sistema magnético funcional (FMS; funcional magnetic system) cumple con cada uno de estos requerimientos. ⁴

4. ESTADO ACTUAL DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS EN ORTODONCÍA

La fuerza magnética es un ingrediente esencial de la naturaleza. El electrón y el átomo son los magnetos (imanes) más pequeños. Los electrones tienen una cualidad magnética compatible con la de un dipolo magnético de 10^{10} cm². El momento magnético del átomo es causado por propio giro o por movimiento orbitario de sus electrones.

Cuento más pequeño sea un magneto, más débil será, por que contiene menos “pequeños magnetos” y está sometido a la influencia del polo opuesto. La relación entre longitud y diámetro debe de ser de 2:1. La energía acumulada tiene que ser lo bastante intensa como para superar esta acción antagónica.

Un problema para el uso en seres humanos de algunos magnetos de tierras raras, es que pierden su magnetismo a temperatura ambiental. Pierre Curie (1859-1906) observó que los magnetos tienden a perder sus propiedades si son sometidos a una temperatura específica, lo cual hace que su campo retorne a una distribución aleatoria. A esto se le denomina punto Curie.

El material AlNiCo posee un punto Curie suficientemente alto para permitir el reacondicionamiento térmico, pero los magnetos de tierras raras, como los que usamos en ortodoncia, tienen un punto Curie mucho más bajo y no es posible esterilizarlos mediante calor. Sin embargo, si se combina con otros elementos (sinergismo), este magnetismo a temperatura específica puede ser superado. Así, el Neodimio-Hierro-Boro puede resistir 100°C durante 4,000 horas sin perder su potencia. Los elementos con los cuales se combinan, no tienen por qué ser metales (p. ej. Boro).

Una característica importante de los magnetos es su *anisotropía* (orientación cristalina), palabra griega que significa que no todas las direcciones de fuerzas son igualmente reactivas. La anisotropía puede ser

natural o inducida por martillado, rodadura, trafilado, etc. Los alambres para ligadura son un buen ejemplo de anisotropía, por ser muy magnéticos después de trafilados hasta el diámetro requerido, pese a no ser atraídos por magnetos. Por estas razones, el magnetismo se debe posiblemente a una disposición particular de los electrones de varios elementos, lo que lleva a la alineación unidireccional del campo.

La denominación “imanes permanentes” es considerada ahora incorrecta, pues ellos no solo pueden perder gradualmente su magnetismo, sino que incluso su polaridad puede verse invertida. En un periodo de tratamiento ortodóntico de dos años, la reducción de energía es despreciable y no es motivo de preocupación.

En los polos magnéticos abiertos, los campos “se despliegan” porque se repelen mutuamente al no tener frente a ellos el efecto que los mantenga alineados. Estas líneas de fuerzas laterales disipan energía y pueden ser molestas. Para compensar este fenómeno se necesita una cantidad mayor de campos alineados que retornen a los polos, para aumentar así la relación longitud/diámetro. Este efecto puede visualizarse claramente vertiendo polvo metálico en torno de cada polo magnético. Las líneas de fuerza son casi paralelas, y se curvan hacia los lados de la hendidura con aire.

Los magnetos de tierras raras como los que se usan en ortodoncia poseen alta saturación magnética, una pronunciada anisotropía cristalina (potencial de alineación) y un punto Curie elevado. Tienen también una intensa fuerza *coercitiva*. Por ejemplo, el AlNiCo tiene una fuerza de 650 Oersted, mientras que el Samario-Cobalto, que es el más usado, tiene 8.500 Oersted y el Neodimio-Hierro-Boro, tiene una fuerza de 9.250 Oersted. Con una manipulación correcta en el medio oral, los magnetos no son afectados por perturbaciones térmicas, químicas o físicas si están correctamente protegidos contra la corrosión. ¹

4.1 CONTROL DEL ESPACIO

Los magnetos pequeños se pueden usar de la misma manera que los resortes helicoidales y los elementos elásticos para controlar el espacio, debido a la propensión que muestra una misma fuerza acumulada a ejercer ya sea una fuerza repelente o una atractiva. Blechman, Gianelly y cols. , Bondemark, Rakosi, Steiger y otros clínicos han sido capaces de proveer cierre o apertura de espacios en forma rápida y eficaz, con magnetos del tamaño de brackets. La técnica para distalizar molares resulto particularmente útil. (Fig. 6 y 7).

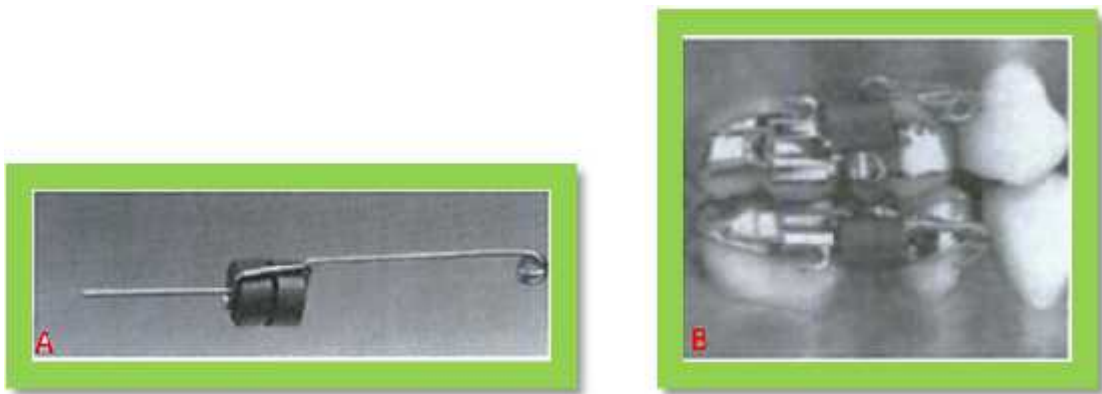


Fig. 6 Aparato magnético de Blechman simplificado, para el control del espacio. 7 Vista del aparato magnético para el control de espacio, nótense las bandas con tubo en molares. ⁴

Existen solidas evidencias de que tanto la velocidad del desplazamiento como la falta de movilidad pueden deberse al efecto del campo eléctrico, también conocido en el control de fracturas de huesos largos mediante collares electromagnéticos. Como el control del espacio es bien manejado con resortes helicoidales de Ni Ti, el mayor costo de los magnetos todavía es un factor a considerar. ¹

4.2 DEPRESIÓN POSTERIOR

Uno de los objetivos del tratamiento más difíciles es la depresión clínica de dientes posteriores. Durante demasiado tiempo se ha tratado de cerrar la mordida abierta con elásticos verticales. Esto tiene el efecto neto de sobre erupcionar los dientes anteriores, con depresión mínima de molares y premolares. Esto ocurre pese al hecho de que el objetivo primario consiste en deprimir segmentos laterales, tan a menudo sobre erupcionados dentro del espacio interoclusal como resultado de la succión de dedos y de la actividad compresora de la lengua.

El abordaje con elásticos verticales, potencialmente iatrogénicos, no ha sido exitoso en una cantidad significativa de problemas de mordida abierta. Los dobleces escalonados no tuvieron alto grado de éxito. El uso de bloques de mordida por Graber, Melsen y algunos defensores de los aparatos funcionales ha producido retardo de la erupción de dientes posteriores, pero la depresión absoluta obtenida fue relativamente pequeña. ^{1, 5} (Fig. 8).

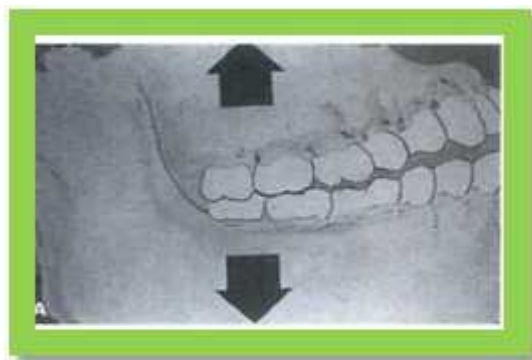


Fig.8 Fuerza intrusiva necesaria y provista por magnetos repelentes para la corrección de una mordida abierta anterior. ⁴

El beneficio adicional de permitir la rotación mandibular hacia arriba y adelante en problemas de clase II, para crear una relación sagital-base apical más favorable, en particular en casos de ángulo alto, redujo la necesidad de procedimientos quirúrgicos ortognaticos, como la impacción. Lefort I del maxilar superior, a menudo combinada con una operación de Hendido sagital de la mandíbula. Las potenciales secuelas iatrogénicas de la cirugía son también conocidas como sus éxitos espectaculares.

Sin embargo, uno de los efectos menos deseables de los magnetos repelentes es el de deslizamiento (Corte): el componente lateral de la fuerza mientras los magnetos se aproximan mutuamente. Hoennie y McNamara demostraron esto en su estudio sobre depresión magnética incontrolada en primates, que producía asimetría facial en algunos animales. Dellinger modifico el aparato corrector vertical agregando pestañas laterales, con lo cual elimino en su mayor parte este efecto colateral. (Fig. 9 y 10).



Fig. 9 y 10 Aparatos removibles superior e inferior con magnetos repelentes oclusales. Nótese el escudo de acrílico en vestibular para evitar que las fuerzas de corte desplacen los magnetos lateralmente. ⁴

4.3 EXPANSIÓN DEL PALADAR

Vardimon, Graber y cols., realizaron abundantes investigaciones con magnetos en primates, en el ADA Research Institute. Después de determinar que los magnetos eran en verdad seguros y no producían efectos nocivos, gestaron un proyecto para comparar la expansión con magnetos y la convencional con tornillo. Esto fue comunicado en 1987 en el *American Journal Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* y sus resultados fueron analizados cuidadosamente en artículos ulteriores.

La principal conclusión es que la expansión con magnetos que se repelen es factible y si bien es más lenta que la convencional con tornillo de expansión, resulta más suave y benigna para los tejidos involucrados. Las dehiscencias y fenestraciones producidas a menudo por la expansión palatina rápida (EPR) mecánica han sido más bien ignoradas por los ortodoncistas, al igual que las recidivas pos tratamiento y la retracción gingival tardía. El expansor magnético todavía no está disponible comercialmente, a diferencia de lo que ocurre con el corrector vertical. ^{1,6} (Fig. 11 y 12).



Fig. 11 y 12 Antes y después de la expansión magnética. Nótese el aumento de overjet y también la sobre expansión bilateral. ⁴

4.4 GUÍA DEL CRECIMIENTO

Con el creciente énfasis puesto en el tratamiento durante la dentición mixta y la guía del crecimiento, los aparatos funcionales llegaron finalmente a obtener reconocimiento en los Estados Unidos. Las exhaustivas investigaciones de Vardimon, Petrovic, Stutzmann, Verrusio y Graber demuestran que estos aparatos incluyen una respuesta esquelética óptima que no produce el uso sistemático de aparatos fijos y elásticos de clase II. Los cuidadosos estudios que llevo a cabo Fránkel con el regulador de función (RF) fueron estimulantes. Pero después de la ola de entusiasmo inicial, el uso del RF disminuyo.

Su talón de Aquiles, como el de otros aparatos funcionales es el cumplimiento del paciente. El uso de estos aparatos más bien voluminosos para justificar su nombre (aparatos funcionales) ha sido difícil en el caso de niños que asisten a la escuela, participan en deportes, como también para comer, etc. El uso nocturno exclusivo no es suficiente para optimizar las direcciones y magnitudes del crecimiento.

En mal oclusiones clase II, las investigaciones con aparatos funcionales magnéticos y no magnéticos han demostrado un aumento en el potencial de crecimiento, en los aparatos con guía funcional magnética. Por primera vez, aparatos removibles para maxilar y mandíbula, así como el correcto diseño de los magnetos, justifican plenamente el nombre de "ortopedia funcional".

Kalra, Burstone y Nanda demostraron el potencial intensificador del crecimiento de la distracción condilar magnética. La mejoría obtenida en el crecimiento mandibular, de 4 mm en 4 meses, excede por mucho el incremento normal. En estudios realizados por Melanson y Van Dyken en 1972 en la universidad de Michigan, se demostró que la descarga de los cóndilos estimula un mayor crecimiento condilar. Los magnetos proveen simplemente un mecanismo más eficiente para engendrar esta respuesta; con esta aplicación

magnética específica es improbable que ocurra alguna contribución del campo eléctrico. (Fig. 13).

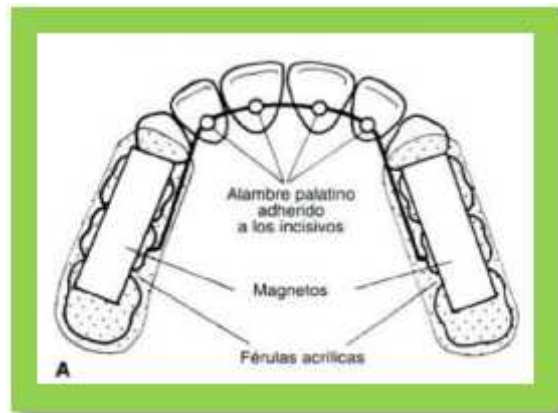


Fig. 13 Esquema del aparato para el maxilar, adherido a los dientes anteriores, con magnetos incluidos en las caras oclusales. ⁴

Con la modificación magnética en la construcción de monobloques (el tradicional aparato voluminoso de una sola pieza de acrílico y alambre, anclado por palatino) se consiguieron resultados excelentes. Hay que tener el cuidado de que la atracción magnética no sea demasiado intensa, de lo contrario la construcción en dos piezas se vería frustrada ya que se vería un monobloque unido por el magnetismo.

Para obtener resultados óptimos es esencial formar y romper contacto y una postura adelantada repetitiva. Un esqueleto con volumen repelivo permite realizar la rutina diaria, en la fonación y la alimentación son comparables a los casos en que se usan placas de contención tipo Hawley superior e inferior. William Clark modificó su aparato de bloque doble de un modo similar, agregando magnetos para mejorar la guía funcional.

James Moss uso para lograr la posición adelantada. No hay allí un verdadero contacto magnético, ya que el aparato inferior tiene una capa de acrílico interpuesta entre las superficies de los imanes, así se obtiene máxima estimulación funcional. Algunas combinaciones magnéticas están disponibles ahora en el comercio y se anticipa que este arsenal crecerá. ¹ (Fig. 14).

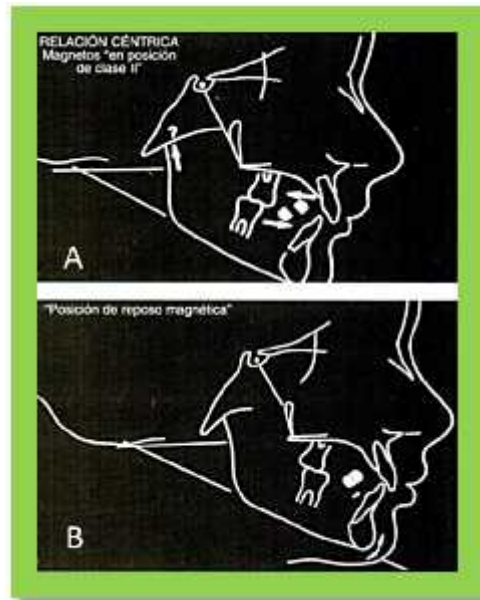


Fig. 14 Trazados cefalométricos para demostrar la aplicación del aparato magnético MAD y la angulación de los dientes incisivos. A. Nótese la brecha de aire entre magnetos cuando los aparatos están colocados. B. La mandíbula es llevada hacia adelante al entrar en contacto los magnetos en modo activo. ⁴

4.4.1 SYDNEY MAGNOGLIDE CLASE II

Las maloclusiones Clase II son un problema común en ortodoncia, ocurre aproximadamente en un tercio de la población. Una variedad de configuraciones esqueléticas y dentales surgen en combinación con una relación de Clase II, con retrusión esquelética mandibular el hallazgo más consistente. Por lo tanto la aparatología funcional tiene como objetivo estimular el crecimiento de la mandíbula hacia adelante, este ha sido un método exitoso para el tratamiento de los pacientes Clase II. ⁷

Muchos aparatos funcionales se han desarrollado para este propósito, por ejemplo el aparato fijo Herbst, y el removible Twin-Bloque. Sin embargo existen inconvenientes asociados con estos dos aparatos; una reciente revisión reportó que el aparato Twin-Bloque tiene una tasa de fracaso debido al incumplimiento del paciente, y una alta tasa de roturas con el aparato Herbst, lo que exige más citas para reparaciones.

Un nuevo aparato funcional magnético se ha desarrollado para hacer frente a estas dos deficiencias. El Sydney Magnoglide, es un aparato funcional fijo bimaxilar, compuesto de 4 bloques de resina acrílica, dos bloques están unidos al maxilar y dos a la mandíbula (derecho e izquierdo) cada bloque tiene incrustados imanes de neodimio-hierro-boro (7x4x3 mm) dispuestos de manera que la mandíbula logre una postura en Clase I. (Fig. 15 y 16)



Fig. 15 y 16 Diseño del Sydney Magnoglide. ⁵

Al cementar o fijar el aparato, nos ocupamos del posible incumplimiento del paciente, y la falta de partes móviles reduce la probabilidad de rotura y además los imanes están colocados por vestibular para reducir al mínimo la dimensión vertical y mejorar con esto la comodidad del paciente. (Fig.17).



Fig. 17 Sydney Magnoglide con la colocación bucal de los imanes y la apertura mínima de la mordida. ⁵

Estudios recientes demuestran que el Sydney Magnoglide es un aparato eficaz para la corrección de la Clase II esquelética, las fuerzas magnéticas avanzan gradualmente la mandíbula (Fig. 18), los resultados se comparan favorablemente con el aparato Herbst y el Twin-Bloque. Ofrece varias ventajas, es relativamente estético y más cómodo para el paciente.

La construcción del aparato es técnicamente menos exigente que las férulas elenco necesarios para el aparato Herbst y menos costoso. Sin embargo, la configuración correcta de los imanes hace que sea técnicamente más exigente su fabricación que el Twin-Bloque convencional.

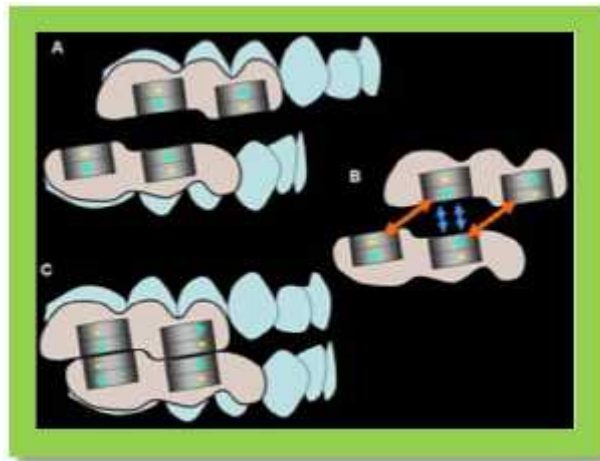


Fig. 18 Representación esquemática de la orientación de las fuerzas magnéticas: A y B, en relación céntrica (Clase II), los imanes distales en el aparato maxilar repelen los imanes mesiales en el aparato mandibular (flechas azules), inhibiendo de este modo el cierre en una relación Clase II. C, los imanes se sienten atraídos el uno al otro (flechas rojas), para tirar la mandíbula hacia adelante y guiarla a una Clase I. ⁵

Existe una desventaja asociada con el aparato; la reactivación del aparato no es posible, y un segundo aparato podría ser necesario para la corrección de grandes resaltes, ya que los imanes podrían estar demasiado separados para producir una fuerza significativa en la postura mandibular. ⁷

4.4.2 APARATO ORTOPÉDICO MAGNÉTICO CLASE III (MOA III)

Las anomalías de las Clases III esqueléticas se asocian a una retrusión maxilar, la protrusión mandibular o ambas. En niños el tratamiento puede implicar la estimulación del crecimiento maxilar y la restricción del crecimiento mandibular por fuerzas ortopédicas. ⁸

Entre el arsenal terapéutico para el tratamiento precoz de las maloclusiones Clase III se encuentran, la mentonera, mascarilla y el arnés de tracción inversa son aparatos ortopédicos clásicos. Sin embargo normalmente los pacientes no usan el aparato el tiempo suficiente debido a la estética.

Por lo tanto, el desarrollo de nuevos aparatos ortopédicos intraorales para resolver las maloclusiones Clase III fue necesario, con la introducción de los imanes de tierras raras a base de neodimio-hierro-boro ($Nd_2Fe_{14}B$) se obtuvo una gran fuerza magnética en relación a su pequeño tamaño.

El aparato MOA III está construido a partir de aparatos removibles superior e inferior, y la implementación de dos imanes (7x5x4 mm) unidos a cada aparato. Los imanes superiores se encuentran posicionados a nivel del primer premolar además de tener incorporado un tornillo de expansión. Los imanes inferiores se posicionados a hacia labial del canino inferior. (Fig. 19).

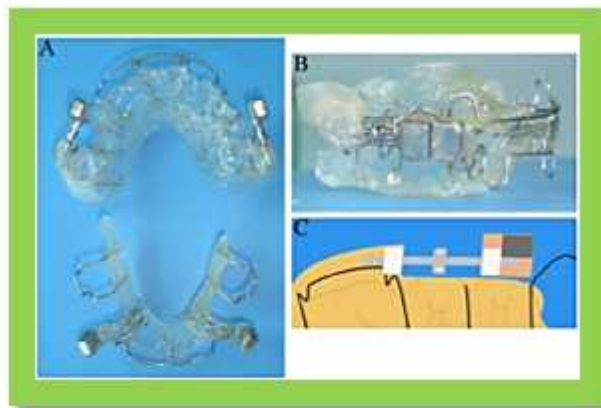


Fig. 19 A, aparato superior e inferior del aparato MOA III. B, configuración entre imanes fuera de boca. C, vista esquemática del aparato MOA III. ⁶

Un estudio realizado en la University School of Medicine en Shanghái en un total de 36 pacientes cuyas edades oscilaban entre los 7 y 12 años de edad. Determinaron que con el tratamiento MOA III, se corrigió la mordida cruzada anterior en todos los sujetos (el periodo de tratamiento promedio fue de 7 meses), las relaciones molares se corrigieron a una Clase I en 32 de 36 pacientes.

En conclusión MOA III fue eficaz para el tratamiento de la maloclusión Clase III moderada. El maxilar presento un avance esquelético y dental en sentido anteroposterior. Al mismo tiempo se observó una compensación lingual de los incisivos, y la mandíbula presento una rotación hacia abajo y hacia atrás; mejorando considerablemente el perfil. ⁸

PRESENTACIÓN DE CASO



Fig. 20 y 21 Vista frontal y lateral previa al tratamiento. ⁶



Fig. 22, 23 y 24 Fotos intraorales previo al tratamiento, nótese la mordida cruzada y la sobremordida. ⁶



Fig. 25, 26 y 27 Fotos intraorales posterior al tratamiento (6 meses y medio) con el aparato MOA III. Se corrigió la mordida cruzada estableciendo una Clase I molar. ⁶



Fig. 28,29 y 30 Fotos intraorales del aparato MOA III. Vista intraoral lateral en la que se compara el antes y despues del tratamiento. ⁶



Fig. 31 y 32 Vista frontal y lateral finalizado el tratamiento con el aparato MOA III. ⁶

4.5 DESRETENCIÓN

Los magnetos son raramente, el aparato del “hombre que piensa”. A causa de la actual falta de un surtido completo de aparatos magnéticos listos para usar, que sirvan para todas las aplicaciones, para algunos problemas el operador se ve forzado a improvisar. Esto vale en especial para la “desretención” de dientes.

Los principales esfuerzos de clínicos encaminados hacia esta área, han permitido el diseño de diversos aparatos con éxito significativo, sobre todo para caninos retenidos por palatino. Se ha demostrado que estos dientes tienen una erupción segura y en mucho menos tiempo que con los métodos convencionales. No se usan cadenas, lazos ni ligaduras que penetren en los tejidos palatinos, de este modo se resuelven los problemas de inflamación, infección, posible anquilosis, falta de adecuado contorno gingival y tratamiento interminable.

El procedimiento de descubrir quirúrgicamente un diente en retención profunda, adherirle un magneto revestido de paraleno y suturar de nuevo el colgajo tisular hasta la curación es un procedimiento relativamente fácil. Luego, la aplicación de un magneto en modo *atractivo* sobre esos dientes lo hace erupcionar literalmente a través de la mucosa, con una fijación tisular normal. Después de una erupción suficiente hasta su posición en el arco dental se reemplaza por aparatos fijos convencionales para el detallado final. ¹ (Fig. 33 y 34).

La desretención de incisivos, premolares y molares puede realizarse con rapidez. Los resultados son excelentes y en general requieren mucho menos tiempo, la fuerza constante prolongada proporciona el movimiento dental más eficaz comparada con una fuerza impulsiva de corta duración. ⁹

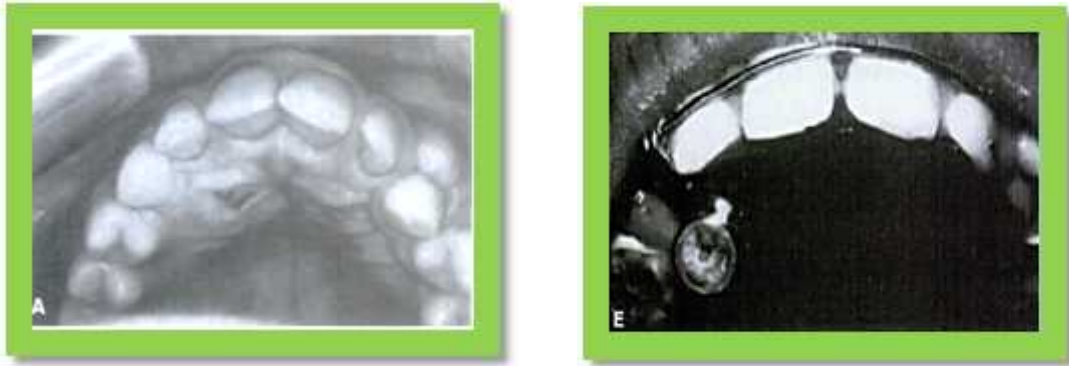


Fig. 33 y 34 Localización de un canino retenido y colocación del magneto para su tracción. ⁴

Así mismo se ha buscado recientemente una nueva aplicación, la extrusión de dientes fracturados, se demostró que los imanes consiguen extrusión ortodóntica rápida (erupción forzada) sin que se produzcan dehiscencias de tejidos bandos, la movilidad de la raíz aberrante, o reabsorción. Los imanes que se atraen proporcionan características de fuerza como ninguna otra en ortodoncia, es decir la fuerza aumenta exponencialmente a medida que el espacio de aire entre los imanes disminuye. ¹⁰

Otra ventaja del sistema de imanes es que no solo se limita a la extrusión de dientes con fracturas. El método también puede ser apropiado para los dientes con defectos subgingivales resultantes de otras causas, tales como caries en la raíz, perforación iatrogénica de la raíz y la reabsorción interna. Por otra parte, la extrusión ortodóntica puede ser utilizado en conjunto con la terapia periodontal para eliminar o reducir defectos óseos. ¹⁰

4.6 DISTALIZACIÓN DE MOLARES SUPERIORES

Habitualmente, se utilizan imanes prefabricados de samario-cobalto (SmCo) que se repelen en ambos cuadrantes se utiliza un botón de Nance para proporcionar el anclaje. (Fig.17). Los imanes tienen un tamaño único de 4x5x2 mm. Están recubiertos de acero inoxidable, sin cubrir las superficies de los polos, y se colocan de tal manera que el imán mesial puede moverse libremente a lo largo de una barra seccional de 1.5x0.5x22 mm. ¹¹ (Fig.35).



Fig. 35 Vista oclusal del aparato magnético intramaxilar. ⁷

Los imanes colocados en vestibular se unen a las bandas de los primeros molares con una horquilla que tiene tres puntas. El tamaño de la punta central le permite insertarse en el tubo para el anclaje extraoral y su ligadura alrededor de dos puntas externas fija la barra al tubo del molar mediante imanes. (Fig. 36). Una ligadura de alambre de 0.25 mm que une un tubo vertical distovestibular o un ojal en el segundo premolar a una barra deslizante, por mesial de los imanes se activa el sistema. ¹¹ (Fig. 37 y 38).

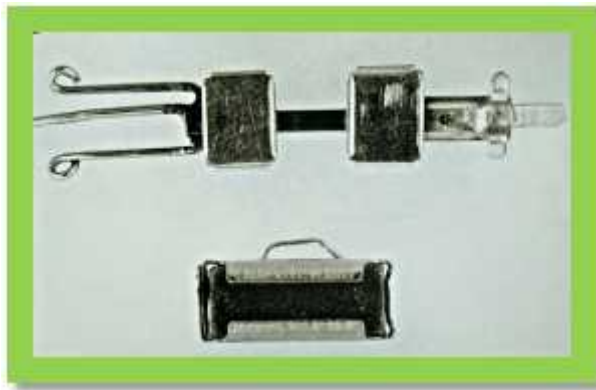


Fig. 36 Los dos imanes se colocan en una barra transversal que termina distalmente en una horquilla de tres puntas para su inserción en el tubo para el anclaje extraoral. Se utiliza una brida deslizante por mesial de los imanes cuando estos se activan. En la parte inferior un solo imán retirado de la barra. ⁷



Fig. 37 y 38 Detalle oclusal de los imanes que se repelen (que están inactivados) colocados en vestibular, y dichos imanes que se repelen en contacto máximo, es decir, en carga máxima. Los imanes se activan con una ligadura de alambre situada entre un ojal distovestibular sobre el segundo premolar y la brida deslizante por mesial de los imanes. ⁷

Quando los imanes que se repelen se ligan entre sí, se producen dos fuerzas una distal, destinada a distalizar los molares, y otra recíproca, dirigida hacia mesial. Para proporcionar anclaje contra la fuerza recíproca, se inserta

un botón de Nance en un arco lingual que suele soldarse por palatino a la banda del segundo premolar, o en dentición mixta, a la banda del segundo molar temporal.

En los pacientes que tienen una mordida profunda, el botón de Nance puede sustituirse por un plano de mordida anterior de acrílico, que se extiende hasta el paladar. El objeto de este plano es abrir la mordida, al mismo tiempo que sirve de anclaje. ¹¹

En varios estudios se ha publicado que los molares superiores, incluso en presencia de los segundos molares, pueden distalizarse de 0.75 a 1 mm al mes. Además, los imanes son fáciles de colocar, bien tolerados y no se requiere la cooperación del paciente durante el tratamiento. Las figuras (Fig. 39-40, 41-42 y 43-44) ilustran el uso de imanes que se repelen para la distalización simultánea de los primeros y segundos molares superiores.

Así mismo L. Bondemark y J. Kurol, publicaron en el *European Journal of Orthodontics* sus propios estudios sobre distalización de primeros y segundos molares superiores simultáneamente con imanes que se repelen. Realizaron su estudio en diez pacientes con edades entre los 12-16 años, con maloclusión Clase II; fueron tratados con imanes repelentes de SmCo_5 . ¹²

Obtuvieron un tiempo de tratamiento de 16.6 semanas aproximadamente, además de poder distalizar todos los molares a una Clase I molar. Demostrando así que la distalización de molares con imanes que se repelen puede ser una alternativa a los métodos convencionales. Si bien los efectos biológicos no están del todo claros, se tiene la hipótesis de que la reducción observada de movilidad y malestar, son atribuibles a las propiedades del campo magnético que perturba el equilibrio local, pudiendo aumentar la frecuencia de la ontogénesis y remodelación osea. ¹²

PRESENTACIÓN DE CASO



Fig. 39-40 Niña de 13 años con una oclusión Clase II, primeros y segundos molares en oclusión y deficiencia moderada de espacio en el maxilar. Antes del tratamiento. ⁷



Fig. 41-32 Vista lateral derecha e izquierda con el aparato magnético colocado. ⁷



Fig. 43-44 Se obtuvo una relación molar Clase I en 15 semanas, con un movimiento de 4 mm de los molares. ⁷

5. SEGURIDAD BIOLÓGICA DE LOS MATERIALES MAGNÉTICOS

Los materiales y aparatos dentales contienen, con frecuencia, elementos potencialmente tóxicos que pueden liberar productos nocivos, con efectos secundarios locales o sistémicos. Una evaluación biológica completa debe incluir pruebas a tres niveles.

-) Nivel 1: pruebas in vitro para establecer si el material es tóxico, alérgico o carcinogénico.
-) Nivel 2: pruebas de uso en animales.
-) Nivel 3: ensayos clínicos.

5.1 CORROSIÓN Y CITOTOXICIDAD DE LOS MATERIALES MAGNÉTICOS

Se han llevado a cabo varios análisis para evaluar los efectos biológicos de los productos de corrosión de los imanes de tierras raras. A partir de los resultados de estos estudios, se ha llegado a la conclusión de que la resistencia a la corrosión de los imanes de Neodimio-Hierro-Boro es baja. En cambio, los imanes de Samario-Cobalto se corroen, pero su resistencia a la corrosión es similar a la de las aleaciones coladas dentales normales.

Se ha demostrado también que los imanes de Samario Cobalto no recubiertos muestran una toxicidad moderada, mientras que los imanes de Neodimio-Hierro-Boro no recubiertos exhiben una citotoxicidad baja o prácticamente nula. La causa principal de la citotoxicidad es el alto contenido de Cobalto, pero si los imanes de Samario-Cobalto se recubren, la citotoxicidad a que dan lugar es despreciable.

A pesar de que los efectos citotóxicos de los imanes de tierras raras pueden considerarse, a lo sumo, moderados, es fundamental evitar que aparezca dicha citotoxicidad y que estos metales se corroan ya que, en concreto, la corrosión hace que se pierda material y altera las propiedades físicas de los imanes. Como consecuencia, se recomienda que, antes de utilizar los imanes en clínica, se sellen o se recubran con un material biocompatible que sea resistente e impermeable, como el acrílico, acero inoxidable o el titanio. ¹¹ (Fig. 45).



Fig. 45 Desgaste y corrosión de dos imanes de samario-cobalto y uno de neodimio-hierro-boro. ⁷

5.2 EFECTOS DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS EN LOS TEJIDOS Y LAS CÉLULAS

El uso de imanes de tierras raras en medicina y odontología han despertado el interés por la investigación acerca de los efectos biológicos de los imanes y los campos magnéticos. Derivado de todo esto, han aparecido numerosos estudios experimentales in vitro, resultado de pruebas de uso en animales y estudios clínicos en humanos. Ha de recordarse que el magnetismo es un fenómeno físico y que los campos magnéticos son parte del espectro electromagnético, que están presentes en la proximidad de un cuerpo magnético o se forman alrededor de un conductor que lleva una corriente.

En teoría, los campos magnéticos estáticos pueden interactuar con la materia viva por interacción electrodinámica (moviendo electrólitos) y por su efecto magnetomecánico (rotación y torsión de moléculas). Además, el campo puede influir en el movimiento de oxígeno disuelto, en la orientación de fosfolípidos anisotrópicos de la membrana celular y en la actividad enzimática.

Se han llevado numerosos estudios acerca de la influencia de los campos magnéticos estáticos sobre los fenómenos biológicos. Entre ellos, se encuentran estudios in vitro con células y embriones, estudios sobre la síntesis de ADN y ARN, efectos sobre los movimientos de los iones, cambios de orientación de macromoléculas, alteraciones enzimáticas, influencia sobre microorganismos, efecto sobre el sistema nervioso y experimentos in vivo con animales de laboratorio para evaluar parámetros del desarrollo, de la conducta y fisiológicos.

Tampoco riesgos de efectos biológicos dañinos por la exposición local a campos magnéticos de hasta 300 mT. Cuando se utilizan aparatos de ortodoncia que contienen imanes, se produce una exposición local de hasta 250 mT, lo que sugiere un riesgo bajo o casi nulo de riesgo de efectos dañinos perjudiciales.

En concreto, en un estudio clínico, histológico e inmunohistoquímico no se observaron efectos adversos a largo plazo en la mucosa yugal humana que había estado en contacto con un imán de Neodimio-Hierro-Boro cubierto de acrílico.¹¹

5.3 EFECTO BENEFICIOSO PARA EL MOVIMIENTO ORTODÓNCICO DE LOS DIENTES

Se ha intentado dilucidar en varias investigaciones interdisciplinarias si existe un efecto sinérgico beneficioso entre la aplicación de la fuerza y el campo magnético cuando se utilizan imanes para realizar movimientos ortodonticos. La evidencia indirecta ha mostrado que ciertos campos magnéticos estimulan la remodelación ósea y aceleran las reacciones celulares con el ligamento periodontal. En cambio, otros estudios no han encontrado ninguna asociación entre los campos magnéticos y el remodelado óseo o un movimiento más eficaz de los dientes.

De los estudios con campos magnéticos podría extraerse la conclusión de que los campos magnéticos fuertes tienen efectos mayores en las muestras biológicas, lo cual sería similar a asumir que dosis mayores de medicamentos ejercen efectos más pronunciados en las células y los tejidos.

De hecho, los resultados experimentales muestran que ciertos campos magnéticos o densidades e flujo intermedios parecen producir alteraciones notables del desarrollo que campos mayores o menores. Dichas combinaciones exclusivas se han determinado "ventanas de sensibilidad". Por ello, quizá en el futuro de las investigaciones biomagnéticas deberían determinar si existen efectos sinérgicos beneficiosos entre la aplicación de la fuerza y los campos magnéticos durante el uso de imanes para el movimiento ortodóncico. ¹¹

6. CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS FUNCIONALES Y FABRICACIÓN DEL SMF

6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS FUNCIONALES

Los aparatos miofuncionales se clasifican en:

I. La clasificación propuesta por Tom Graber cuando los aparatos funcionales eran removibles;

1. Grupo A- Aparatos dentosoportados, por ejemplo, aparatos de catlans, planos inclinados, etc.
2. Grupo B- Dentomucosoportados, por ejemplo, activador, bionator, etc.
3. Grupo C- Aparatos colocados por vestibular con el soporte aislado de los dientes y tejidos, por ejemplo, aparato de Frankel, paralabios.

II. Con el advenimiento de los aparatos funcionales fijos, se desarrolló una nueva clasificación:

1. Funcionales removibles, por ejemplo, bionator, Frankel, etc.
2. Aparatos funcionales semifijos, por ejemplo, aparato de Bass, Den Holtz, etc.
3. Aparatos funcionales fijos, por ejemplo, Herbst, Jasper, Jumper, Churro Jumper, resortes de Saif, corrector ajustable, resorte Eureka, aparato de reposición anterior de la mandíbula, (MARA), resorte superior de Klapper, resorte universal de Sabbagh (SUS).

III. Con el concepto de hibridización de Peter Vig, los funcionales fueron clasificados como:

1. Aparatos funcionales clásicos, por ejemplo, activador, aparato de Frankel, etc.
2. Aparatos híbridos, por ejemplo, propulsor, pantalla oral doble, bionator híbrido, aparato de Bass.

IV. Clasificación propuesta por Profitt:

1. Aparatos pasivos sostenidos por los dientes – aparatos mioelásticos, por ejemplo, activador de Andreasen y Haupl, activador de Herren, Woodside, activador, bionator de Balter, etc.
2. Aparatos activos sostenidos del diente – aparatos mioelásticos, por ejemplo, activador elástico abierto (EOA), aparato de Bimler, bionator modificado, aparato stockfish, etc.
3. Aparato pasivo sostenido del tejido, por ejemplo, pantalla oral, paralabios, etc.
4. Aparatos activos sostenidos del tejido, por ejemplo, aparato de Frankel.
5. Aparatos magnéticos ortopédicos funcionales (FOMA).¹³

6.2 FABRICACIÓN DEL FMS

El sistema magnético funcional (FMS) abarca tanto a los aparatos removibles superiores e inferiores, cada uno contiene una unidad magnética dispuesta en una orientación atractiva del polo. ³ (Fig. 46 y 47).

La unidad FMS superior incluye una cubierta magnética, un tornillo de expansión y una punta. Dos imanes cilíndricos de tierras raras (Samario-Cobalto; $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$), magnetizado a lo largo de su eje longitudinal son sellados mediante soldadura laser en una cubierta de acero inoxidable.

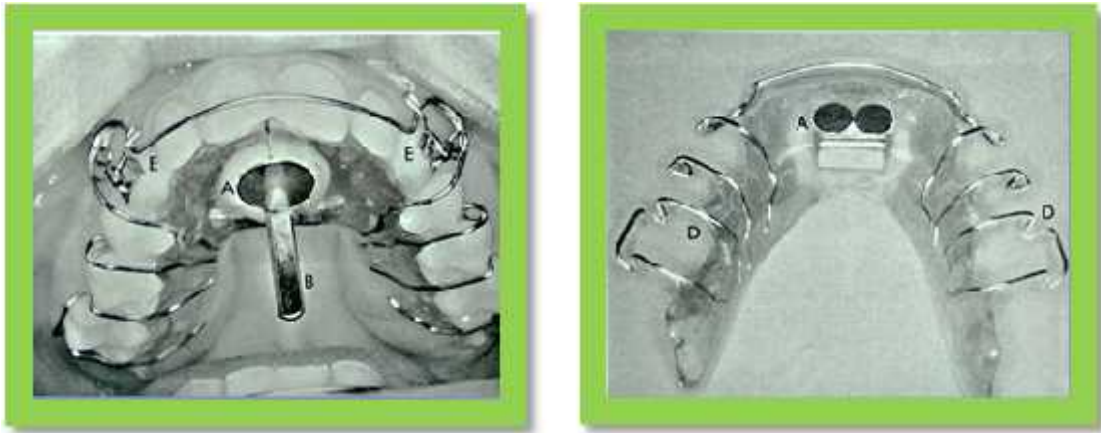


Fig. 46 y 47 Aparato funcional magnético de Vardimon. Se utilizan placas de Schwarz superior e inferior modificadas. El saliente de guía maxilar que se desliza sobre el acrílico lingual el aparato inferior al cerrar la boca lleva la mandíbula hacia adelante, a la relación de protrusión deseada, al mismo tiempo que los imanes entran en contacto. A Imanes. B Saliente de guía. C Placas de metal para incorporar el aparato superior e inferior al acrílico. D Ganchos de retención. E Elásticos. ³

Esto lo protege de los fluidos salivales, una precaución necesaria a la alta susceptibilidad corrosiva de los magnetos de tierras raras. La capa de acero inoxidable de la cubierta magnética es de solo 0,2 mm de espesor de manera que no interfiera con la fuerza magnética atractiva máxima cuando una unidad

FMS superior e inferior se aproximan una a la otra (en una brecha de más o menos 0.4 mm).

Los magnetos superiores e inferiores están orientadas en una configuración atractiva con una fuerza magnética máxima de 3 Newtons (N) (Vardimon y col. 1977). El tornillo de expansión está conectado a la cubierta magnética mediante un brazo de extensión. La posición sagital media de la cubierta magnética no cambia hasta que se active el tornillo de expansión. ⁴ (Fig. 48 y 49).



Fig. 48 y 49 La unidad FMS superior está compuesta por tres elementos: el engranaje, el cual guía a la mandíbula hacia un desplazamiento anterior, el magneto, el cual guía y restringe a la mandíbula y el tornillo de expansión. ²⁹ Un brazo de extensión con una inclinación de 130° conecta la cubierta magnética con el tornillo de expansión. El engranaje posee una inclinación de 70° hacia la interfaz magnética, la cual es paralela al plano oclusal. ⁸

La unidad inferior del FMS contiene una cubierta magnética y un tornillo de expansión. La pared posterior de la cubierta magnética inferior forma un plano oblicuo para recibir el engranaje de la cubierta magnética superior. Dos magnetos cilíndricos de tierras raras son posicionados en la cubierta magnética con orientación al polo opuesto hacia los magnetos superiores. Al

igual que con la unidad FMS superior, la posición sagital media de la cubierta magnética inferior no cambia hasta la activación del tornillo de expansión inferior.

Tanto el aparato superior FMS como el inferior son anclados a los arcos dentales mediante gancho Adams, gancho triangular y un arco labial diseñado especialmente con dos ganchos para el sostén de elásticos. Los ganchos para elásticos contrabilan la tendencia de ambos aparatos FMS al ser dislocados por la fuerza de atracción magnética de empuje hacia el plano oclusal. Por lo general, los ganchos para elásticos se colocan en la región canina. Antes de tomar la impresión para el modelo de trabajo, los botones de atache son cementados a la superficie coronal labial del canino en la amplitud coronal media hacia el margen gingival. (Fig. 50 y 51).



Fig. 50 y 51 Dos hélices están inclinadas en los extremos oclusales de las partes verticales del bucle en U, los cuales se colocan a 2 mm con respecto al botón. El tramo elástico incrementa la retención de la unidad FMS hacia el plano oclusal. ⁸

Se recomienda la toma de una impresión superior e inferior después de la colocación del atache. El registro de la mordida se realiza tope a tope (como máximo 7mm de avance mandibular). La desviación de la línea media es

corregida durante el registro de la mordida en el caso de elevación esquelética funcional o mandibular.

Si la sobre mordida horizontal es mayor a 7 mm, un avance mandibular en escalón puede producir dolor muscular. Por lo tanto, se recomienda el avance mandibular en dos etapas (Remmelink y Tan 1991). Esto resulta de mayor interés debido a que es posible ganar la colaboración del paciente si no hay dolor presente (cierta ligera incomodidad siempre está presente). Después de 1-3 meses, se realiza un segundo avance.³

PRESENTACIÓN DE CASO

Niño de 11 años de edad. Su maloclusión Clase II se debía, a la relación del maxilar con la mandíbula, el paciente presentaba un $SNA = 80^\circ$ y un $SNB = 72^\circ$. La primera etapa del tratamiento con el Sistema Magnético Funcional duro 9 meses, seguido de una etapa de terapia con aparato Edgewise.



Fig. 52 y 53 Registro pretratamiento. Perfil convexo con una mandíbula moderadamente retrognata, con incompetencia labial. ⁸



Fig. 54 y 55 Registro pretratamiento. Sobremordida horizontal, se observa una discrepancia sagital severa. Clase II molar. ⁸



Fig. 56 y 57 Registro pretratamiento. Imagen frontal y lateral izquierda que demuestra la discrepancia de las arcadas en sentido sagital. ⁸



Fig. 58 y 59 Aparato SMF superior. Aparato SMF inferior; en ambos aparatos el soporte de acrílico sobre palatino/lingual de los caninos previene la extrusión de estos dientes que sirven como pilares para los ganchos elásticos. ⁸



Fig. 60 y 61 Vista lateral derecha e izquierda donde se observa un incremento del espacio interoclusal con los aparatos SMF. ⁸



Fig. 62 y 63 Finalización del tratamiento tras 9 meses de uso con el SMF; se estableció una Clase I molar y canina con presencia de espacios residuales y sobremordida horizontal moderada. ⁸



Fig. 64 y 65 Etapa del tratamiento Edgewise. Durante el tratamiento se buscó el cierre de los espacios residuales. ⁸



Fig. 66 y 67 Posttratamiento, se estableció una Clase I molar y canina sin sobremordida horizontal, con una sonrisa y estética aceptable. ⁸

7. MECANISMO DE CORRECCIÓN DEL SMF

La mayor ventaja del uso de las fuerzas magnéticas de atracción para dirigir la conducción funcional puramente muscular, es que es la única fuerza cuyos puntos de origen se aproximan los unos con los otros, como sucede al cerrar la boca, la fuerza magnética incrementa inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (ley de Coulomb, $F \sim 1/d^2$); mientras que las fuerzas elásticas disminuyen.

Este incremento en la fuerza magnética a corta distancia contrabalancea el débil soporte vertical de la musculatura oral y permite un incremento en el “eficaz tiempo, de utilización”.⁴

Para poder comprender el mecanismo de acción del SMF conviene dejar bien claras tres definiciones (Vardimon y cols., 1994). *El sistema espacial de fuerzas magnéticas* hace referencia a la disposición de las fuerzas de atracción magnéticas en sus tres componentes vectoriales: la fuerza (F_x), que actúa a lo largo eje craneocaudal (x), provocando el cierre mandibular, la fuerza de corte lateral (F_y), que produce una desviación medial de la mandíbula en cualquier movimiento lateral; y la fuerza de corte sagital (F_z), que actúa a lo largo del eje posteroanterior e induce el avance mandibular durante los movimientos protrusivos.³

En oclusión actúa entre ambas unidades magnéticas una fuerza de atracción vertical máxima (F_x), de casi 3 Newtons (N) (Bourauel y cols, 1995; Vardimon y cols, 1994). Ese nivel de fuerza permite una actividad oral fisiológica normal durante los periodos activos (por ejemplo: la masticación, la deglución y el habla).

Durante el uso diurno del SMF existen dos patrones de control. El primero durante el reposo; durante el mismo no se produce ninguna actividad fisiológica y la mandíbula queda en una posición de reposo de unos 2.3 mm (Posselt, 1962). Durante esta fase, los imanes inducen un movimiento

mandibular a lo largo de una línea prácticamente recta desde la posición de reposo, teniendo el vástago un efecto de guía.

El segundo patrón de control diurno se observa durante la actividad de la musculatura oral (habla y deglución); durante la misma el vástago es el único que regula el avance mandibular, debido a que durante los movimientos verticales extremos, la mandíbula suele sobrepasar el límite de la actividad magnética ($x > 6$ mm) y la tonicidad muscular supera las fuerzas de atracción magnética. Debido a esta tonicidad incluso los márgenes reducidos ($x < 6$ mm) como los que existen en la posición de reposo, no se restringen los movimientos de apertura y cierre.

Por ejemplo, Proffit y Field (1982) observaron en niños que durante la deglución se desarrollaba una fuerza muscular de $1,7 \pm 3,02$ kg de fuerza (kgf); esta fuerza es unas seis veces mayor que la fuerza de atracción máxima. Durante la masticación, estas fuerzas aumentan a $5,01 \pm 4,24$ kgf, esto es 17 veces mayor que la fuerza de atracción magnética. Sin embargo durante la noche (debido a la relajación muscular) la mandíbula en una posición de reposo presenta una separación interoclusal mayor, de unos 5-12 mm. Durante el sueño, cuando el paciente efectúa degluciones esporádicas aproximadamente una vez por minuto, la mandíbula pasa de la posición de reposo ($x = 8,5$ mm, $F = 0$ N) a una ($x = 0$ mm, $F = 3$ N).

Con la excepción de la masticación, el efecto de la fuerza de corte medial (F_y) es mínima durante los movimientos mandibulares libres, porque dichos movimientos apenas se desvían en sentido sagital (Gibbs y cols., 1982). Sin embargo, incluso si se producen movimientos de desviación lateral (por ejemplo, si el paciente masca chicle con el SMF colocado), el desplazamiento lateral se produce (± 4 mm) queda dentro del margen de la F_y ($y = \pm 8$ mm), dirigiendo la mandíbula en sentido medial y simultáneamente al punto de cierre protrusivo constructivo (PCPC).

Y lo que es más importante, esta orientación espacial centrípeta es un factor esencial en el tratamiento de las desviaciones mandibulares funcionales y esqueléticas en relación con la línea media. En tales casos, la mordida para la construcción del aparato se debe registrar en una posición centrada para que los imanes puedan corregir la maloclusión adquirida.

Por otra parte, incluso en los casos de Clase II sin desviación, el avance mandibular inicial suele causar una discrepancia transversal entre las arcadas debido a una diferencia transversal del maxilar. Mientras no se establezca una expansión trasversal compensatoria, el paciente tenderá a desviar la mandíbula en sentido lateral para superar el desequilibrio manteniendo una buena intercuspidadación unilateral. Esta intercuspidadación suele causar el fenómeno de la “mordida de Sunday” (MS), al que a menudo se achaca el fracaso de los aparatos funcionales (Storey, 1998).

Las MS se dividen en constructivas, o en maloclusiones a corto plazo que se produce durante la corrección funcional precoz antes de establecerse la nueva posición mandibular permanente, y destructivas o alteraciones a largo plazo debidas a un deterioro de la corrección funcional. ³

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MAGNÉTOS

8.1 VENTAJAS

-) Útil en pacientes poco colaboradores
-) Los magnetos tienen múltiples aplicaciones, desde su implementación para la retención de prótesis, control del espacio, para la corrección de Clase II y III esqueléticas, mordidas abiertas, para la expansión del paladar, como eructor higiénico (desretención), extrusión de restos radiculares con fines protésicos y para la distalización de molares.
-) El sistema de magnetos proporciona un control preciso de la fuerza mediante gráficos fuerza-distancia específicos. Además, en cualquier momento se calcula fácilmente el nivel de la fuerza midiendo la distancia entre los imanes.
-) Las propiedades de los imanes les hace tener una potencia constante a lo largo del tiempo, lo que significa que, a diferencia de otros sistemas de fuerzas, como los elementos elásticos, no existe riesgo de fatiga en un tiempo clínico relevante.
-) Las fuerzas magnéticas y el campo magnético pueden ejercerse a través de la mucosa y el hueso, lo que significa que es posible que se puedan aumentar los movimientos ortodónticos de los dientes por aceleración de las reacciones celulares en el ligamento periodontal y/o una mayor remodelación ósea. ¹¹

8.2 DESVENTAJAS

-) Está bien documentado que los imanes se corroen fácilmente, lo que lleva a pérdida de material y a la alteración de sus propiedades físicas. Para mantener sus propiedades se recomienda cubrir los imanes con un material biocompatible resistente que lo proteja de la corrosión.
-) Los imanes son caros debido a sus complicados procesos de fabricación. En primer lugar, el material se reduce a un polvo con un tamaño de partículas adecuado. A continuación, estas partículas se ordenan con un campo magnético, de tal manera que todos los polos de todas las partículas se coloquen paralelos entre sí. Cuando se han imantado, se comprimen densamente utilizando presión mecánica o un proceso de sinterizado.
-) Los imanes son frágiles, en particular los de samario-cobalto, y pierden su imantación de manera irreversible al calentarlos. Incluso cuando se calientan a temperaturas no muy elevadas (por encima de 60-70°).¹¹

CONCLUSIONES

Las propiedades magnéticas de los imanes les confiere un amplio campo de aplicación en ortodoncia, se puede decir que la mayoría de los casos que se presentan comúnmente en la clínica, pueden tratarse con un sistema magnético, como por ejemplo: el control el espacio, la expansión del paladar, como eructor higiénico (desretención), para la distalización de molares, corrección de la mordida abierta, así como la corrección de Clases II y III esqueléticas.

El Sistema Magnético Funcional muestra tener grandes ventajas sobre la aparatología convencional, de las más relevantes son por ejemplo, que con el sistema de imanes no se pierde energía e incluso esta aumenta a medida que se acercan, al contrario de los sistemas elásticos convencionales, otra gran ventaja es que las fuerzas magnéticas pueden ejercerse a través de la mucosa y el hueso lo cual parece tener cierta influencia a nivel celular.

Por esta razón los mecanismos terapéuticos magnéticos son de gran interés, su aplicación y su fabricación estimulan la innovación, resulta increíble que se puedan realizar tan variados aparatos con solo unos imanes.

Sin embargo su aplicación clínica se ve limitada debido a los altos costos de fabricación de los imanes, siendo esta su principal desventaja. Además, el impacto a corto y a largo plazo de los campos magnéticos en los tejidos dentales y periodontales deberá ser aclarado con evidencia científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1. Biomecánica en Ortodoncia Clínica. Ravindra Nanda. Ed. Panamericana. Argentina. 1998.
- 2. Ortodoncia principios y técnicas actuales. Thomas m. Graber. Ed. Elsevier Madrid 2006.
- 3. Ortopedia Dentofacial con aparatos funcionales, Thomas M. Graber. Ed. Harcourt 2da edición 2008.
- 4. Tratamiento Ortodónico y Ortopédico Dentofacial. Thomas Rakosi, Thomas M. Graber. Ed. Amolca. 2012.
- 5. Mazzocchi A. Intrusion of posterior teeth with magnets supported by osseointegrated implants. Virtual Journal of Orthodontics. 1999.
- 6. Alexander D. Vardimon DMD, TM Graber. Magnéticos en función de expansión mecánica con diferentes umbrales de fuerza y los puntos de aplicación de la fuerza. American Journal of Orthodontics. Diciembre de 1987, Vol. 92: 455-466.
- 7. Angie Phelan, Nour Eldin Tarraf. Skeletal and dental outcomes of a new magnetic functional appliance, the Sydney Magnoglide, in Class II correction. American Journal of Orthodontics. Junio 2012, Vol 141: 759-772.
- 8. Ning Zhao, Jing Feng, Zheng Hu, Rongjing Chen and Gang Shen. Effects of a novel magnetic orthopedic appliance (MOA-III) on the dentofacial complex in mild to moderate skeletal class III children. Zhao et al. Head & Face Medicine. 2015.
- 9. John Daskalogiannakis. Canine retraction with rare earth magnets: An investigation into the validity of the constant force hypothesis.

American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics May 1996, Vol. 109: 489-495

- 10. L. Bondemark. Attractive magnets for orthodontic extrusion of crown-root fractured teeth. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics August 1997, vol. 112: 187-183
- 11. Tratamiento ortodóncico en pacientes Clase II no colaboradores. Moschos A. Papadopoulos. Ed. Elsevier. España 2007.
- 12. Bondemark, L. & Kurol, J. Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets, Eur. J. Orthodontics. 1992.
- 13. Ortodoncia Diagnóstico y Tratamiento Segunda Edición Tomo 2. Gurkeerat Singh. Editorial Amolca. Venezuela 2009.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE IMÁGENES

- 1. www.dynadental.es/productos/dyna-magnets/?mobile
- 2. www.protesis.ws/materiales/protesis-con-imanes.html
- 3. Ortopedia Dentofacial con aparatos funcionales, Thomas M. Graber. Ed. Harcourt 2da edición 2008.
- 4. Biomecánica en Ortodoncia Clínica. Ravindra Nanda. Ed. Panamericana. Argentina. 1998.
- 5. Angie Phelan, Nour Eldin Tarraf. Skeletal and dental outcomes of a new magnetic functional appliance, the Sydney Magnoglide, in Class II correction. American Journal of Orthodontics. Junio 2012, Vol 141: 759-772.
- 6. Ning Zhao, Jing Feng, Zheng Hu, Rongjing Chen and Gang Shen. Effects of a novel magnetic orthopedic appliance (MOA-III) on the dentofacial complex in mild to moderate skeletal class III children. Zhao et al. Head & Face Medicine. 2015.
- 7. Tratamiento ortodóncico en pacientes Clase II no colaboradores. Moschos A. Papadopoulos. Ed. Elsevier. España 2007.
- 8. Tratamiento Ortodóncico y Ortopédico Dentofacial. Thomas Rakosi, Thomas M. Graber. Ed. Amolca. 2012.