

Artículo de investigación

Evaluación de la actividad de la articulación temporomandibular, los músculos masticatorios y la corteza cerebral en pacientes tratados con aparatos funcionales removibles: un estudio prospectivo de fMRI

¹Orhan Özdiler,^{2,3}Kaan Orhan,⁴Emre Cesur,¹Sisegül Köklü y⁵Oktay Algin

¹Departamento de Ortodoncia, Facultad de Odontología, Universidad de Ankara, Ankara, Turquía; ²Grupo de investigación OMFS IMPATH, Departamento de Imágenes y Patología, Facultad de Medicina, Universidad de Lovaina y Cirugía Oral y Maxilofacial, Hospitales Universitarios de Lovaina, Lovaina, Bélgica; ³Departamento de Radiología Dentomaxilofacial, Facultad de Odontología, Universidad de Ankara, Ankara, Turquía; ⁴Departamento de Ortodoncia, Hospital Universitario Medipol Mega, Estambul, Turquía; ⁵Departamento de Radiología, Facultad de Medicina, Universidad Yıldırım Beyazıt, Ankara, Turquía

Objetivos: El objetivo de este estudio es evaluar los efectos de los aparatos de ortodoncia funcionales sobre los músculos masticatorios, la articulación temporomandibular (ATM) y el cerebro para determinar si el uso de aparatos funcionales a tiempo completo o solo por la noche produce resultados diferentes. **Métodos:** En este estudio se incluyeron 16 pacientes con maloclusión de clase II. A ocho pacientes se les indicó que usaran sus aparatos (monobloque/twinblock) todo el tiempo y a los otros ocho pacientes se les indicó que los usaran por la noche mientras dormían. Posteriormente se incluyeron 10 pacientes adicionales con maloclusión de clase II como grupo de control previo al tratamiento. Se realizaron índices de intensidad de señal (SIR) de las estructuras de la ATM y evaluaciones morfológicas de los músculos masticatorios para todos los pacientes. También se obtuvieron datos de resonancia magnética funcional (fMRI) de los pacientes mientras realizaban movimientos de masticación y mordida.

Resultados: El ángulo ANB se redujo significativamente tanto en el grupo de uso permanente como en el de uso nocturno, en valores de 1,17° y 1,35°, respectivamente ($p < 0,05$). La resonancia magnética mostró que los SIR aumentaron significativamente en ambos grupos en los músculos masticatorios, la almohadilla retrodiscal, el proceso condilar y el disco articular ($p < 0,05$). Tanto la evaluación fMRI en reposo como la basada en tareas revelaron aumentos significativos en las señales dependientes del nivel de oxígeno en sangre en varias regiones del cerebro en ambos grupos ($p < 0,05$).

Conclusiones: Los hallazgos cefalométricos y de resonancia magnética de este estudio indican que los efectos del tratamiento fueron similares para ambos esquemas de uso. Los aparatos funcionales no deben considerarse como simples dispositivos que tratan la maloclusión de clase II mediante la corrección esquelética y dental únicamente, sino como dispositivos de ejercicio que conducen a cambios neuromusculares al facilitar la adaptación muscular y activar varias regiones cerebrales.

Radiología dentomaxilofacial (2019) 48, 16 de febrero de 2019. doi:10.1259/dmfr.20190216

citar este artículo como: Ozdiler O, Orhan K, Cesur E, Köklü A, Algin O. Evaluación de la actividad de la articulación temporomandibular, los músculos masticatorios y la corteza cerebral en pacientes tratados con aparatos funcionales removibles: un estudio prospectivo de fMRI. *Radiología dentomaxilofacial* 2019;48:20190216.

Palabras clave: aparatos de ortodoncia funcionales; fMRI, músculo masticatorio; actividad de la corteza; ATM

Introducción

Los aparatos funcionales removibles se han utilizado durante muchos años para tratar maloclusiones de clase II de origen mandibular modificando la relación cóndilo-fosa.

y la actividad de las estructuras neuromusculares. Aunque se ha demostrado la proliferación del cartílago condilar y el aumento de la longitud mandibular con el uso de aparatos en estudios con animales, aún no hay consenso sobre su mecanismo de acción.^{1,2}

Correspondencia a: Kaan Orhan, correo electrónico: kaan.orhan@uzleuven.be Recibido el 31 de

mayo de 2019; revisado el 27 de junio de 2019; aceptado el 11 de julio de 2019

La ortopedia funcional de la mandíbula no sólo proporciona correcciones dentales y esqueléticas, sino que también se dice que produce cambios morfológicos al entrenar al paciente en un nuevo modo de función al involucrar activamente el sistema nervioso central a través de la estimulación de los receptores nerviosos en los dientes, el periodonto, los músculos y las articulaciones mientras el aparato está en la boca.³ En cuanto a los cambios en la forma facial, no sólo es importante la función o disfunción muscular fisiológica, sino también el tono basal de los grupos musculares opuestos. Para evaluar los efectos de la función muscular en el desarrollo dentofacial de una manera biológicamente precisa, se deben considerar en conjunto con el sistema nervioso central, que regula y controla la función muscular.⁴

Petrovic y Stutzmann,⁵ afirmó que el tiempo de uso efectivo de los aparatos variaba según su diseño y sostuvo que los aparatos como los hiperpropulsores, los bloques gemelos y el regulador funcional Frankel deben usarse a tiempo completo (FT). Según un estudio de Oudet y Petrovic,⁶ En un estudio de 4 semanas sobre los efectos de los hiperpropulsores posturales en ratas, la retirada de los aparatos de la boca provocó una interrupción de la señal, una reducción de la actividad del músculo pterigoideo lateral y una posterior disminución de la tasa de crecimiento del cartílago condilar. Por lo tanto, se recomienda el uso de FT para garantizar que no se interrumpa el efecto logrado. Según un estudio más reciente de Frankel y Frankel,⁴ El entrenamiento muscular y la reprogramación necesarios para la adaptación neuromuscular no son posibles cuando los aparatos funcionales se utilizan sólo por la noche.

La resonancia magnética es un método de diagnóstico que utiliza un campo magnético y energía de ondas de radio para visualizar los órganos internos y las estructuras corporales. La resonancia magnética se ha convertido en una modalidad ampliamente utilizada para obtener imágenes de tejidos blandos, en particular porque el paciente no está expuesto a la radiación ionizante y permite una visualización de alta sensibilidad de diferentes densidades de tejido.⁷ La resonancia magnética funcional (fMRI) se utiliza para medir los cambios en la actividad cerebral en función del flujo sanguíneo.⁸ Según esta técnica, el flujo sanguíneo cerebral está asociado con la actividad neuronal. También se predice que el flujo sanguíneo aumentará en una zona del cerebro que esté activa.⁹ La medida de este fenómeno se llama señal BOLD (dependiente del nivel de oxígeno en sangre).

A pesar de las muchas ventajas de la resonancia magnética (p.ej) Debido a su alta sensibilidad al contraste, la falta de radiación ionizante, la demostración de cambios en la actividad dentro de los tejidos, la capacidad de medir y crear reconstrucciones tridimensionales de tejidos blandos y la utilidad en el examen neurológico, la investigación sobre su uso en el campo de la ortodoncia generalmente se ha limitado a la evaluación de la posición del cóndilo/disco en la articulación temporomandibular (ATM) después del tratamiento ortopédico funcional.¹⁰⁻¹²

Los resultados de nuestro estudio anterior que examinó los efectos de la ortopedia maxilar funcional sobre las articulaciones y los músculos demostraron que incluso en el período inicial, el uso de estos aparatos tanto a tiempo completo como a tiempo parcial (tiempo parcial, solo de noche) podía provocar cambios en el tamaño de los músculos masticatorios.¹³ Esto nos hizo preguntarnos qué pasará a largo plazo.

Pueden ocurrir cambios en la corteza cerebral y en qué regiones con diferentes programas de desgaste.

Por lo tanto, nuestro objetivo en el presente estudio fue examinar los resultados cefalométricos del uso de aparatos ortopédicos funcionales, así como sus efectos sobre los músculos masticatorios, la ATM y la corteza cerebral en individuos en crecimiento con maloclusión de Clase II mediante resonancia magnética para determinar si el uso de FT y PT produce resultados diferentes.

Métodos y materiales

El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Odontología de la Universidad de Ankara (número de aprobación del IRB: 36290600/27). Los familiares de primer grado de los pacientes fueron informados sobre el estudio y dieron su consentimiento informado por escrito.

Este estudio se realizó en un total de 64 imágenes radiográficas (32 radiografías cefalométricas y 32 radiografías de mano-muñeca), así como imágenes de RM anatómicas y funcionales de 16 pacientes (8 hombres, 8 mujeres) con maloclusión de clase II división uno obtenida antes de usar aparatos (T0) y al final del tratamiento (T1). Los pacientes se dividieron aleatoriamente en dos grupos: a los pacientes del grupo 1 se les indicó que usaran sus aparatos FT (todo el día excepto durante las comidas), mientras que a los pacientes del grupo 2 se les indicó que usaran sus aparatos PT (solo por la noche mientras dormían). Inicialmente, el estudio incluyó un total de 16 pacientes, 8 con uso de FT y 8 con uso de PT, y los datos posteriores al tratamiento se recopilaron a una media de 14,8 meses.

Debido a inconsistencias en la adquisición de secuencias fMRI al inicio del estudio, no se pudieron utilizar los datos fMRI previos al tratamiento obtenidos de los grupos de tratamiento. Por este motivo, se incluyó en el estudio un grupo de control de 10 individuos con maloclusión de Clase II y se utilizaron las exploraciones fMRI previas al tratamiento de estos individuos para la comparación. La distribución media de edad y sexo de los grupos de tratamiento y este grupo de control se dan en [Tabla 1](#).

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- (1) Tener maloclusión clase II esquelética y dental debido a retrusión mandibular;
- (2) Tener un tejido blando antiestético y poco armonioso.

Tabla 1 Edades cronológicas y esqueléticas de los sujetos al inicio del tratamiento y distribución de los aparatos por sexo en el grupo 1, el grupo 2 y el grupo control

		Grupo 1	Grupo 2	CONTROL
EDAD CRONOLÓGICA		11,54	11,35	11,98
EDAD ESQUELÉTICA		11,40	11,65	11,72
MASCULINO	<i>Monobloque</i>	2	2	2
	<i>Bloque gemelo</i>	2	2	3
FEMENINO	<i>Monobloque</i>	2	2	3
	<i>Bloque gemelo</i>	2	2	2

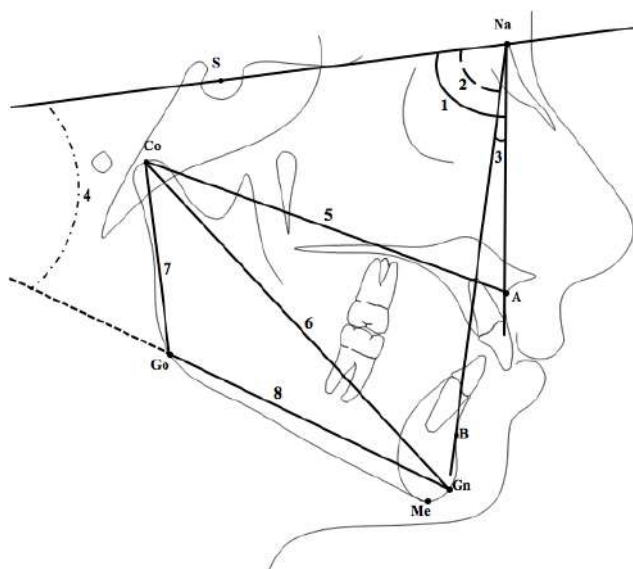


Figura 1 Medidas cefalométricas. *Medida angular esquelética mentos (°)*: 1. SNA (el ángulo posteroinferior entre la base craneal anterior y la línea del punto nasion A), 2. SNB (el ángulo posteroinferior entre la base craneal anterior y la línea del punto nasion B), 3. ANB (el ángulo entre las líneas del punto nasion A y del punto nasion B), 4. GoGn/SN (el ángulo entre la base craneal anterior y el plano mandibular); *Medidas lineales esqueléticas (mm)*: 5. Co-A (la distancia entre el cóndilo y el punto A; longitud maxilar total), 6. Co-Gn (la distancia entre el cóndilo y el gnatió; longitud mandibular total), 7. Co-Go (la distancia entre el cóndilo y el gonió; longitud de la rama), 8. Go-Gn (la distancia entre el cóndilo y el gonió; longitud del cuerpo).

perfil;

- (3) Estar en o cerca del período de máximo crecimiento puberal según radiografías de mano y muñeca;^{14,15}
- (4) No requerir activación mandibular gradual para la corrección del perfil (<6–7 mm); y
- (5) Tener dentición mixta o permanente tardía.

Todos los pacientes recibieron un aparato monobloque o de doble bloque, siendo el de doble bloque el preferido para los pacientes que requerían expansión del arco dental maxilar y el monobloque el preferido para los demás pacientes. Los activadores se construyeron para lograr una relación de Clase I entre los molares y los caninos. La activación vertical de los dispositivos se ajustó a 3–4 mm por encima de la posición de reposo. En el aparato de doble bloque, las placas de acrílico superior e inferior se entrelazaron en un ángulo de 70°.¹⁶

Evaluación cefalométrica

Las radiografías de perfil a distancia se obtuvieron utilizando un dispositivo de rayos X Sirona Orthophos XG 5 DS/Ceph en condiciones estándar con las cabezas de los pacientes colocadas de manera que el plano horizontal de Frankfurt fuera paralelo al suelo. Se utilizó el software Dolphin Imaging 9.0 (Los Ángeles, CA) para obtener y evaluar los datos. Se realizaron ocho mediciones, cuatro lineales y cuatro angulares, a partir de las películas cefalométricas (Figura 1).

Evaluación por resonancia magnética

Todos los exámenes de resonancia magnética se realizaron en el Centro Nacional de Investigación de Resonancia Magnética (UMRAM) y se utilizó el mismo protocolo para todos los pacientes incluidos en el estudio. Los pacientes no llevaban sus aparatos en el momento de la adquisición de la resonancia magnética. La resonancia magnética de seguimiento (T1) se realizó a una media de 14,88 meses. Los pacientes se colocan en posición supina durante los procedimientos de resonancia magnética. Las cabezas de los pacientes se fijaron con almohadillas para minimizar los artefactos de movimiento y se utilizaron tapones para los oídos desechables para reducir el volumen entre secuencias.

La resonancia magnética se realizó con un dispositivo Magnetom Trio de 3,0 T (Siemens Medical, Alemania) con una bobina de cabeza de 32 canales. Se visualizaron las estructuras anatómicas en imágenes de alta resolución ponderadas utilizando los siguientes parámetros de adquisición: TR (tiempo de repetición) = 2000 ms, TE (tiempo de retardo del eco) = 35 ms, grosor de corte = 0,84 mm, ángulo de giro = 12°, campo de visión (FOV) = 215 cm.

En este estudio, las evaluaciones se basaron en dos parámetros: la relación de intensidad de señal (SIR) y el volumen muscular. La intensidad de señal se refiere a la intensidad de la señal BOLD asociada con el cambio en la actividad o vascularidad de un determinado tejido, y se utiliza para evaluar el nivel de actividad en el tejido examinado. Para medir el volumen, se marcaron los límites anatómicos del músculo objetivo en cada región donde era visible y se marcaron las áreas dentro de estos límites. Las regiones musculares designadas se procesaron y reconstruyeron en una imagen tridimensional separada utilizando el software Synapse 3D (Fuji, Japón).

Evaluación fMRI

Los parámetros de adquisición para exploraciones fMRI fueron los siguientes: TR = 3000 ms, TE = 30 ms, tamaño de vóxel = 9 mm³, número de cortes = 35, ángulo de giro = 75°, FOV = 192 × 192 mm, tamaño de la matriz = 64 × 64 y grosor del corte = 3 mm. Durante el procedimiento de fMRI basado en tareas, se realizaron sesiones de masticación y mordida utilizando códigos que se escribieron previamente en el software MATLAB. En la sesión de masticación, se mostró una instrucción que decía "Haga un movimiento de masticación mientras mueve la cabeza lo menos posible" durante 20 s, seguida de la instrucción "Permanezca inmóvil" durante 12 s. En la sesión de mordida, la instrucción en la pantalla decía "Haga un movimiento de mordida sin mover la cabeza" durante 20 s y fue seguida por el comando "Permanezca inmóvil" mostrado durante 12 s. Estos conjuntos de comandos se repitieron 12 veces en cada sesión.

Las imágenes en formato DICOM 3.0 se transfirieron al software Freesurfer (v. 6.0.0, MGH, Boston, MA) para el análisis morfométrico. Después de completar los procedimientos de recon-all o preprocesamiento (normalización, corrección de movimiento de suavizado, parcelación cortical), se obtuvieron los valores de volumen, grosor y área de superficie para los hemisferios derecho e izquierdo del cerebro. Se realizaron comparaciones entre los grupos con la función qdec del programa Freesurfer. Con base en los resultados de estas comparaciones, se determinaron las regiones dominantes, los nombres y los valores de coordenadas de los grupos (Figura 2).

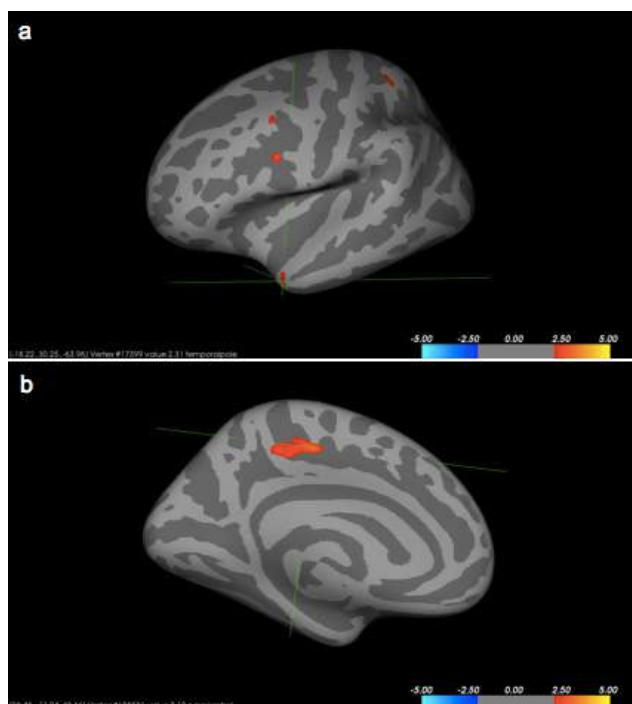


Figura 2 Determinación de regiones cerebrales que muestran activación en el Programa Freesurfer.

Todas las imágenes fMRI fueron evaluadas en conjunto por dos analistas experimentados que desconocían el estado clínico de los pacientes y se llegó a un consenso sobre los resultados. Se calcularon los valores de intensidad de señal en las imágenes y se compararon estadísticamente. Se obtuvieron los valores de volumen, grosor y área de superficie de los hemisferios derecho e izquierdo del cerebro. Los análisis morfométricos se realizaron en el programa Freesurfer (Freesurfer versión 6.0.0, MGH, Boston, MA). Las imágenes fMRI basadas en tareas se analizaron en el programa FSL (FMRIB Software Library 5.0, Analysis Group, Oxford, Reino Unido).

Para el análisis basado en tareas, se realizó un análisis de primer nivel en cada individuo, seguido de un análisis de nivel superior. Se determinaron los tamaños de los grupos, las coordenadas y las regiones cerebrales relevantes para las activaciones observadas (Figura 3).

Los datos de fMRI en reposo se analizaron utilizando datos de secuencia 2D-BOLD (EPI) en formato DICOM.

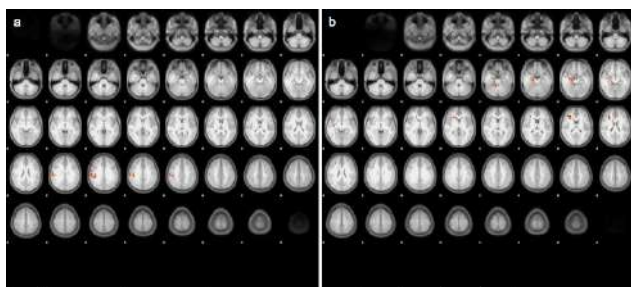


Figura 3 (a) Regiones del cerebro con actividad en fMRI durante la mordedura tarea (Grupo 2/control grupo), (b) Regiones cerebrales con actividad en fMRI durante la tarea de masticación (Grupo 1/control grupo).

Preprocesando los datos en el programa SPM 12 (SPM12, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Londres, Reino Unido), primero se aplicó un modelo lineal general (GLM). A esto le siguió el análisis MELODIC y la regresión dual y, en función de los resultados, se determinó el tamaño del clúster, las coordenadas y e . Se determinaron los valores de los componentes cerebrales espaciales que mejor coincidían. Los nombres de las regiones cerebrales correspondientes a estas coordenadas se obtuvieron utilizando FSLview (v 3.1).

Análisis estadístico

Para determinar los niveles de error de trazado y medición de las mediciones cefalométricas, se repitieron para cada individuo en cada uno de los tres grupos después de 4 semanas para evaluar la repetibilidad de las mediciones. Las mediciones de intensidad de señal y volumen muscular fueron realizadas por el mismo radiólogo oral/maxilofacial dos veces para evaluar la reproducibilidad.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software IBM SPSS Statistics 20. Muestras pareadas α Se utilizó la prueba t para determinar si las diferencias en los parámetros evaluados entre T0 y T1 eran estadísticamente significativas. Se utilizó la prueba t de Student para comparar los cambios en los parámetros evaluados entre los grupos en T0 y T1. Se utilizó el análisis de varianza para las estadísticas descriptivas en T0 y los análisis morfométricos de T1 entre los grupos de tratamiento y el grupo de control.

Resultados

Mediciones cefalométricas

Las mediciones cefalométricas mostraron una alta confiabilidad, con coeficientes de correlación que oscilaron entre 0,9912 y 0,9984. También se encontró que todas las mediciones eran altamente reproducibles, sin diferencias significativas entre las dos mediciones del observador ($p > 0,05$).

Cuando se compararon las mediciones cefalométricas de los Grupos 1 y 2 al inicio del tratamiento, los valores de Co-A y Co-Gn fueron significativamente más altos en el Grupo 1 ($p < 0,05$). Un examen por separado de los cambios inducidos por el tratamiento en los grupos mostró que el aumento del ángulo SNB fue significativo en el Grupo 1 ($p < 0,001$), mientras que la disminución del ángulo ANB ($p < 0,05$) y los aumentos en las longitudes de Co-A, Co-Gn y Co-Go fueron significativos en ambos grupos. La comparación de los cambios posteriores al tratamiento entre el Grupo 1 y el Grupo 2 reveló efectos similares en ambos grupos (Tabla 2).

Mediciones de resonancia magnética

Las mediciones cefalométricas mostraron una alta confiabilidad, con coeficientes de correlación que oscilaron entre 0,8915 y 0,9878. También se encontró que todas las mediciones eran altamente reproducibles, sin diferencias significativas entre las dos mediciones del observador ($p < 0,05$).

La evaluación de las mediciones de resonancia magnética al inicio del tratamiento mostró diferencias significativas marginales

Tabla 2 Estadísticas descriptivas y comparación de los valores medios de los parámetros cefalométricos al inicio del tratamiento (T0) entre los grupos 1 y 2 (análisis de varianza), evaluación de los cambios cefalométricos de antes a después del tratamiento (T0-T1) dentro de los grupos (prueba t de muestras pareadas) y comparación de estos cambios entre grupos (prueba t de Student), *x*-prueba).

	Pretratamiento (T0)				Post-tratamiento (T1)- Pre-tratamiento (T0)			
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 1-Grupo 2		Grupo 1-Grupo 2	
	Incógnita	S _{mediana}	Incógnita	S _{mediana}	Prueba	PAG	Prueba	PAG
Edad cronológica	11,48	1,49	11,28	1,24		0,595		
Edad esquelética	11,38	0,83	11,56	0,78		0,649		
Medidas angulares esqueléticas (°)								
SNA	82,05	2,50	79,44	1,5		0,117		
Banco Nacional Suizo	75,51	2,96	73,88	1,48		0,492		
ANB	6,54	2,18	5,56	1,49		0,256		
GoGn/SN	32,16	4,06	32,90	4,36		0,132		
Medidas lineales esqueléticas (mm)								
Co-A	81,84	4,31	78,95	3,79		0,026*		
Co-Gn	98,79	4,77	98,00	2,01		0,038*		
Co-Go	46,04	2,24	47,26	3,30		0,682		
Go-Gn	71,09	4,67	68,28	4,28		0,124		

D: cambio medio entre T0 y T1; S: error de la media; X: media.

* *pag*<0,05, ** *pag*<0,01, *** *pag*<0,001

entre el Grupo uno y el Grupo dos en intensidades de señal del disco articular posterior (derecha) y del proceso condilar posterior (izquierda) y en el volumen del músculo pterigoideo lateral (izquierda) (*pag*<0,05). El análisis de los cambios posteriores al tratamiento reveló aumentos significativos en los valores SIR de todos los músculos masticatorios y de los aspectos anterior y posterior del disco articular y del tejido retrodiscal en ambos grupos de estudio (*pag*<0,05 para todos excepto el proceso condilar anterior izquierdo en el grupo 2). Cuando se compararon estos cambios entre los grupos de estudio, la única diferencia significativa fue en la intensidad de la señal del disco articular posterior (izquierdo) (*pag*<0,05) (Tabla 3).

Mediciones de fMRI

Tabla 4 muestra algunos cambios significativos identificados en las comparaciones de los datos BOLD obtenidos de la fMRI en reposo posterior al tratamiento de los Grupos 1 y 2 y la fMRI previa al tratamiento en el grupo de control.

En la tarea de masticación, el Grupo 1 mostró diferencias significativas post-tratamiento en comparación con los valores pre-tratamiento en el grupo control en el cuerno de Amón del hipocampo (derecha) (*pag*<0,001), giro frontal inferior (*pag*<0,001), pars triangularis (derecha) (*pag*<0,001), corteza fusiforme occipital temporal (izquierda) (*pag*<0,001), giro paracingulado (izquierda) (*pag*<0,001), giro temporal inferior (derecha) (*pag*=0,001), giro lingual (derecha) (*pag*<0,01), giro temporal medio (derecha) (*pag*=0,01). En la tarea de morder, el grupo 2 mostró diferencias significativas en comparación con los valores de control previos al tratamiento en la corteza opercular central (derecha) (*pag*<0,01), corteza opercular central (izquierda) (*pag*<0,001) y giro supramarginal (derecha) (*pag*<0,001) regiones (Tabla 5).

Las regiones cerebrales que muestran diferencias significativas en parámetros morfológicos como curvatura, área, volumen y grosor en los análisis de datos posteriores al tratamiento en los grupos de uso de FT (Grupo 1) y PT (Grupo 2) en comparación con los datos previos al tratamiento del grupo de control se muestran en Tabla 6.

Discusión

Las discrepancias en los resultados informados con aparatos funcionales están relacionadas con factores como la duración del uso, el diseño del aparato y el momento del inicio del tratamiento. Sander¹⁷ Se ha argumentado que el uso de aparatos ortopédicos funcionales por parte de los pacientes con FT facilita la adaptación neuromuscular porque el aparato se utiliza de forma más consciente y con más movimientos funcionales. Debido a la mayor frecuencia de actividades funcionales durante el día, los músculos masticatorios se adaptan más fácilmente a sus nuevas posiciones y el aparato actúa como un dispositivo de ejercicio miofuncional para crear un nuevo engrama en el cerebro.⁴ Por lo tanto, en este estudio nos propusimos comparar los efectos del desgaste FT y PT de aparatos ortopédicos funcionales.

Estudios sobre el tratamiento ortopédico funcional han demostrado su efecto sobre el tamaño y la posición de la mandíbula.^{2,18} Los investigadores han informado de un fuerte

Tabla 3 Comparación de los valores medios de los parámetros de RM al inicio del tratamiento (T0) entre los grupos 1 y 2 (Student's *t*-prueba), evaluación de los cambios cefalométricos antes y después del tratamiento (T0-T1) dentro de los grupos (prueba *t* de muestras pareadas) y comparación de estos cambios entre grupos (prueba *t* de Student, *t*-prueba).

Pretratamiento (T0)		Postratamiento (T1)-Pretratamiento (T0)					
Grupo 1-Grupo 2		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 1-Grupo 2	
PAG	Prueba	D	Prueba	D	Prueba	PAG	Prueba
SEÑOR							
M. pterigoideo pars inf. lateral (bien)	0,202		0,9393	***	0,6786	***	0,167
M. pterigoideo lateralis pars inf. (izquierda)	0,157		0,8631	***	0,8083	***	0,801
M. pterigoideo pars sup lateralis (bien)	0,284		0,9305	***	0,6405	***	0,213
M. pterigoideo lateralis pars sup. (izquierda)	0,324		0,9804	***	0,6659	***	0,206
M. pterigoideo medial (derecho)	0,116		0,8732	***	0,7275	***	0,405
M. pterigoideo medial (izquierda)	0,649		0,8463	***	0,7472	***	0,627
M. massetericus (derecha)	0,335		1,0475	***	0,8935	***	0,421
M. massetericus (izquierda)	0,069		0,9338	***	0,8279	***	0,646
M. temporalis (derecha)	0,276		0,9922	***	0,7140	***	0,255
M. temporal (izquierda)	0,412		0,9752	***	0,6786	***	0,169
Disco anterior articular (derecha)	0,094		1,1089	***	0,7925	***	0,242
Disco anterior articular (izquierda)	0,266		1,0225	***	0,9164	***	0,747
Disco posterior articular (derecha)	0,033	*	1,1696	***	0,8450	***	0,189
Disco posterior articular (izquierda)	0,114		1,3537	***	0,8300	***	0,046
Procedimiento anterior. condileo (derecho)	0,465		0,5436	*	0,3948	***	0,466
Procedimiento anterior. condilaris (izquierda)	0,197		0,4448	*	0,2960	***	0,548
Procedimiento posterior. condileo (derecho)	0,143		0,4938	*	0,3810	***	0,567
Procedimiento posterior. condilaris (izquierda)	0,352		0,4887	*	0,3189	***	0,393
Tejido retrodiscal (bien)	0,034	*	0,8297	*	0,7090	***	0,669
Tejido retrodiscal (izquierda)	0,085		1,0159	***	0,7058	***	0,181

(Continuado)

Tabla 3(Continuado)

Pretratamiento (T0)		Postratamiento (T1)-Pretratamiento (T0)			
Grupo 1-Grupo 2		Grupo 1		Grupo 2	
PAG	Prueba	D	Prueba	D	Prueba
<i>Medidas del volumen muscular (cm³)</i>					
M. pterigoideo Volumen lateral (derecha)	0,051	1.017	***	0,924	*
M. pterigoideo Volumen lateral (izquierda)	0,022	1.147	***	0,786	**
M. pterigoideo Volumen del músculo medial (derecha)	0,879	1.073	**	1.227	***
M. pterigoideo Volumen del músculo medial (izquierda)	0,410	0,644		1.175	*
M. maseterico volumen (derecha)	0,533	1.499		1.763	*
M. maseterico volumen (izquierda)	0,652	1.705	**	1.604	**

SIR, relación de intensidad de señal.

pag*<0,05, *pag*<0,01, ****pag*<0,001

Asociación entre el cambio en la longitud mandibular y el aumento del crecimiento condilar.^{2,19}Nuestra evaluación del efecto de los aparatos funcionales sobre los parámetros mandibulares en el presente estudio reveló un aumento significativo en el ángulo SNB con el uso de FT mientras que el ángulo ANB disminuyó en ambos grupos después del tratamiento, en consonancia con los resultados de estudios anteriores. Además, la longitud maxilar total (Co-A), la longitud mandibular total (Co-Gn) y la longitud de la rama (Co-Go) aumentaron en ambos grupos de tratamiento. Los resultados obtenidos de ambos grupos de tratamiento demostraron que un aumento en la longitud mandibular causó la reducción del ángulo ANB.

La resonancia magnética es la modalidad que proporciona la información más detallada al obtener imágenes de tejidos blandos como la ATM y el disco articular. Aksoy y Orhan²⁰informaron que la anatomía articular se podía visualizar particularmente bien conyo imágenes ponderadas. También adquirimosyLaş imágenes ponderadas por su capacidad diagnóstica en la región articular. Cuando se examinaron los cambios en la intensidad de la señal por separado en cada grupo, se observaron aumentos de magnitudes variables en los músculos masticatorios, el disco articular, el cóndilo y el tejido retrodiscal en ambos grupos.

Hinton y McNamara²¹En un estudio realizado en animales se demostró que los cambios adaptativos se producen no sólo en la región condilar sino también en la fosa glenoidea. Los autores sugirieron que la tensión perióstica transmitida a través de las fibras posteriores del disco articular puede causar la respuesta osteogénica en la fosa glenoidea. Los estudios han indicado que la actividad celular en el aspecto posterosuperior del proceso condilar en particular aumenta al posicionar el cóndilo por debajo de la fosa glenoidea.^{2,22}El aumento de la intensidad de la señal en la cara posterosuperior del cóndilo observado en nuestro estudio corrobora estudios previos e indica que el tratamiento ortopédico funcional estimula el crecimiento condilar en las direcciones superior y posterior y que también pueden existir cambios adaptativos en el disco y el tejido retrodiscal. Creemos que además del crecimiento, el aumento de volumen y los cambios en la intensidad de la señal observados en los músculos masticatorios pueden ser atribuibles a la vascularización y al aumento de la perfusión del músculo como resultado del aumento de la actividad muscular, junto con la adaptación muscular y la hipertrofia debido al tratamiento a largo plazo.

Frankel pretendía tratar a los pacientes de clase II creando un nuevo modelo de cierre en el cerebro con el aparato Frankel dos, que diseñó como un aparato de ejercicio. Este aparato mueve la mandíbula anteriormente durante el uso y causa presión y dolor en las protrusiones alveolares cuando la mandíbula intenta volver a una posición retrusiva. Estas sensaciones activan los propioceptores en la encía y el periostio de las encías y estimulan los músculos protrusivos para eliminar la incomodidad, lo que resulta en la protrusión mandibular. Esta incomodidad persistente es reconocida por el sistema nervioso central y crea una retroalimentación negativa a través de la cual el cerebro puede aprender que la posición correcta de la mandíbula inferior,es decir,la posición más cómoda que evita sensaciones de presión, es el cierre Clase I.²³Basándonos en estos conceptos, nosotros

Tabla 4 Evaluación de los parámetros medidos en la resonancia magnética funcional (fMRI) en estado de reposo en el grupo de uso a tiempo completo después del tratamiento (T1) en comparación con el grupo de control al inicio del tratamiento (T0) y en el grupo de uso a tiempo parcial (noche) después del tratamiento (T1) en comparación con el grupo de control al inicio del tratamiento (T0) según las señales BOLD (dependientes del nivel de oxígeno en sangre) (Student's *t*-prueba).

Grupo 1 (T1)-Grupo de control (T0)						Grupo 2 (T1)-Grupo de control (T0)					
Región	Grupo	incógnita	y	el	pag	Región	Grupo	incógnita	yz	pag	
	tamaño						tamaño				
Corteza opercular central	33	50	- 2	8	0,001***	Corteza opercular central	5	50	- 18 16	0,008 **	
Corteza del opérculo frontal	13	- 38	10	8	0,002**	Corteza opercular central	14	- 54	- 2 8	0,001***	
Corteza del opérculo frontal	6	46	26	0	0,001***	Corteza opercular central	89	50	- 2 4	0,001***	
Giro frontal superior	5	- 6	18	64	0,001***	Corteza del opérculo frontal	11	50	14 - 4	0,004 **	
Giro frontal superior	7	- 22	18	56	0,004**	Giro frontal superior	19	- 10	34 48	0,001***	
Giro frontal medio	12	- 42	26	44	0,004 **	Giro frontal superior	10	22	34 44	0,001***	
Giro frontal medio	31	26	2	40	0,001***	Giro frontal superior	9	- 2	54 40	0,002 **	
Giro frontal inferior	7	42	14	16	0,003 **	Giro frontal medio	9	50	18 44	0,002 **	
Giro frontal inferior	10	- 54	14	8	0,001***	Giro frontal medio	10	- 38	14 52	0,004 **	
Giro supramarginal	6	- 50	- 34	32	0,001***	Giro frontal inferior	22	42	22 20	0,001***	
Giro supramarginal	13	- 54	- 42	24	0,002 **	Giro frontal inferior	7	58	22 - 4	0,003 **	
Giro supramarginal	29	34	- 38	32	0,001***	Giro supramarginal	52	- 62	- 26 32	0,001***	
Giro angular	4	- 50	- 54	40	0,003 **	Giro supramarginal	6	- 58	- 50 32	0,005 **	
Giro angular	7	54	- 50	44	0,001***	Giro supramarginal	26	66	- 38 44	0,001***	
Giro angular	7	- 38	- 54	44	0,002 **	Giro angular	10	58	- 50 36	0,001***	
Giro cingulado	10	10	- 38	44	0,001***	Giro cingulado	8	- 2	- 38 32	0,003 **	
Giro cingulado	16	2	- 26	28	0,001***	Giro cingulado	5	6	22 28	0,003 **	
Giro cingulado	32	6	- 26	40	0,001***	Giro cingulado	42	- 6	- 38 44	0,00***	
Giro paracingulado	5	6	34	32	0,002 **	Giro paracingulado	7	- 6	54 12	0,003 **	
Giro precentral	29	- 58	- 6	36	0,001***	Giro paracingulado	5	- 10	38 24	0,005 **	
Giro precentral	7	- 38	- 14	36	0,001***	Giro precentral	25	- 58	- 6 40	0,001***	
Giro precentral	8	46	- 10	52	0,008**	Giro precentral	5	- 42	- 18 56	0,002 **	
Giro poscentral	7	- 54	- 22	52	0,002**	Giro precentral	6	6	- 22 52	0,010 **	
Giro poscentral	5	- 42	- 26	32	0,009**	Giro poscentral	22	62	- 18 36	0,001***	
Giro poscentral	7	46	- 14	32	0,001***	Giro poscentral	16	- 42	- 30 52	0,001***	
Corteza yuxtaposicional	7	- 10	- 14	56	0,004**	Giro precentral	33	38	- 10 44	0,001***	
Corteza precuneus	6	- 26	- 50	8	0,001***	Corteza yuxtaposicional	10	2	2 64	0,001***	
Giro temporal superior	20	58	- 34	8	0,001***	Corteza precuneosa	10	- 30	- 66 12	0,001***	
Giro temporal superior	7	- 50	- 26	0	0,001***	Giro temporal medio	8	- 58	- 34 - 16	0,001***	
Giro temporal medio	22	- 42	- 46	0	0,001***	Giro temporal medio	5	- 54	- 50 4	0,003 **	
Giro temporal inferior	17	46	- 46	- 8	0,001***	Giro temporal medio	15	58	- 58 8	0,002 **	
Giro lingual	4	2	- 90	- 8	0,002 **	Giro temporal inferior	10	- 50	- 54 - 16	0,001***	
Giro lingual	4	- 2	- 90	- 12	0,009 **	Giro lingual	114	- 26	- 50 4	0,001***	
Giro parahipocampal	6	- 26	- 34	- 8	0,003 **	Giro lingual	45	- 2	- 70 - 4	0,001***	

pag*<0,05, *pag*<0,01, ****pag*<0,001

analizaron y compararon los efectos neurológicos del dispositivo con el uso de FT y PT examinando los cambios en el cerebro con fMRI después del tratamiento funcional.

Según nuestros datos de fMRI en reposo, tanto el uso de FT como el de PT dieron como resultado diferencias estadísticamente significativas en varios parámetros después del tratamiento en comparación con los datos iniciales del grupo de control. Las regiones que mostraron cambios significativos incluyeron las áreas motoras primarias y suplementarias, la corteza sensorial primaria, la corteza sensorial suplementaria, las áreas responsables de los movimientos motores como el giro supramarginal, las áreas relacionadas con la visión, el sistema de neuronas espejo motoras, las áreas responsables de la coordinación de los músculos esqueléticos y las áreas sensoriales.

áreas que procesan datos sensoriales de movimientos como el habla, la masticación y la mordida. Cuando analizamos las funciones conocidas de estas regiones, notamos que el giro supramarginal está involucrado en la interpretación de datos sensoriales táctiles (*p.ej* de los receptores sensoriales dentales y husos musculares) y propiocepción, además de percibir y procesar el lenguaje. Esta actividad se observó en el giro supramarginal con el uso de FT y PT y parece confirmar el mecanismo de retroalimentación negativa propuesto por Frankel y Frankel.²³ La mandíbula, que adopta un cierre de clase I al evitar la incomodidad creada por el aparato, puede ser responsable de la activación del giro supramarginal.

Tabla 5 Evaluación de los parámetros medidos durante la tarea de masticación en fMRI en el grupo de uso a tiempo completo después del tratamiento (T1) en comparación con el grupo de control al inicio del tratamiento (T0) y en el grupo de uso a tiempo parcial (noche) después del tratamiento (T1) en comparación con el grupo de control al inicio del tratamiento (T0) según señales BOLD (dependientes del nivel de oxígeno en sangre) (Student's *t*-prueba).

	Región	Tamaño del clúster	incógnita	y	el	puntuación z	pag
Masticación	<i>Hippocampus cornu ammonis (derecha)</i>	575	22	-12	-22	3,57	0,001***
	<i>Giro frontal inferior, pars triangularis (derecha)</i>	396	28	26	18	3,24	0,001***
	<i>Corteza fusiforme occipital temporal (izquierda)</i>	341	-20	-52	-18	3,22	0,001***
	<i>Giro paracingulado (izquierda)</i>	269	-14	20	34	3,33	0,001***
	<i>Giro temporal inferior (derecha)</i>	108	46	-20	-22	3,30	0,001***
	<i>Giro lingual (derecho)</i>	50	32	-38	-6	2,93	0,003 **
	<i>Corteza opercular central (derecha)</i>	47	46	-24	-6	3,09	0,002 **
Mordaz	<i>Corteza opercular central (izquierda)</i>	168	42	6	16	3,05	0,002 **
	<i>Giro supramarginal (derecho)</i>	73	-44	2	6	3,21	0,001***
		66	44	-30	34	3,33	0,001***

fMRI, resonancia magnética funcional.

pag*<0,05, *pag*<0,01, ****pag*<0,001

Se informa en la literatura que el giro supramarginal juega un papel importante en el control motor, incluida la alternancia rápida de funciones motoras.²⁴

La circunvolución frontal media y la circunvolución frontal inferior izquierda se conocen como la región del lenguaje.^{25,26} En este estudio, observamos una activación significativa en el giro frontal medio en el grupo de tratamiento en comparación con el grupo de control. Otra región que resultó significativa en nuestro estudio es el giro angular. El giro angular es una región involucrada en el lenguaje, particularmente en la comprensión del significado de enunciados metafóricos, en la capacidad matemática y en la distinción entre las direcciones izquierda y derecha.²⁷ Chen y otros²⁸ Se ha informado de que el giro angular mejora la adaptación a entornos tridimensionales. La corteza precuneus es una región que interviene en la autoconciencia, el recuerdo de tareas realizadas anteriormente y la respuesta a los detalles relacionados con ellas, así como en nuestra capacidad de concentrarnos al planificar, visualizar o ejecutar directamente una tarea y de realizar movimientos conscientes.^{29,30} Ashizuka y otros³¹ En su estudio de fMRI, se informó de una activación selectiva de la corteza precuneus durante el habla educada. La activación de estas regiones en nuestro estudio sugiere que el tratamiento funcional en pacientes en desarrollo puede mejorar el dominio del lenguaje y aumentar la capacidad de formar oraciones que se ajusten a las reglas ortográficas y gramaticales. Por ejemplo, los activadores utilizados inicialmente para la secuencia de Pierre Robin pueden mejorar el dominio del lenguaje y la adaptación social de los pacientes.

Además, Ohnmeiss et al.³² Se ha informado de que el avance mandibular tras el tratamiento con activador de Andresen compensó la hiperlordosis lumbar. Por tanto, es concebible que la coordinación motora de los pacientes pueda mejorarse mediante un tratamiento ortopédico funcional con activadores que provoquen la activación del área motora suplementaria (corteza motora yuxtaposicional), que supuestamente es responsable de mantener el equilibrio corporal, y de las correcciones posturales.

Las imágenes de fMRI basadas en tareas revelaron una mayor activación en ciertas regiones del cerebro en el grupo FT durante la masticación en comparación con el grupo de control.

El aspecto derecho del giro frontal inferior controla los movimientos que se mantienen hasta que llega una orden.³³ Esta región también controla la evitación de movimientos riesgosos. La activación que observamos en esta región puede representar una orden de "detenerse" a la mandíbula para evitar la retracción y mantener una posición anterior para evitar molestias mientras el aparato estaba en la boca durante las horas de vigilia. El giro temporal inferior, otra región significativa en este estudio, está involucrada en el reconocimiento de objetos, rostros y patrones.³⁴ Además de su función de reconocer objetos complejos, el giro lingual también es particularmente influyente en la visión y el reconocimiento de letras.

De las regiones cerebrales que mostraron significación estadística durante la tarea de morder en el grupo que llevaba fisioterapia después del tratamiento en comparación con el grupo de control, notamos una mayor activación en la corteza opercular y el giro supramarginal. La corteza insular ubicada en la corteza opercular es responsable de los movimientos motores que involucran la coordinación mano-ojo y actividades como tragar, hablar y aprender.³⁵

Los análisis morfométricos implicaron mediciones de volumen, área, grosor y curvatura en el cerebro después del tratamiento. En consonancia con los resultados de la fMRI, tanto el grupo de uso FT como el de PT mostraron cambios morfométricos estadísticamente significativos en comparación con el grupo de control en regiones similares a las de los resultados en reposo y basados en tareas. Las regiones que arrojaron resultados morfométricamente significativos fueron generalmente las regiones mencionadas anteriormente, como las relacionadas con la vista, la autoconciencia, el reconocimiento de objetos, el lenguaje y las habilidades matemáticas. Sin embargo, dado que los resultados del análisis morfométrico reflejan principalmente cambios físicos en el cerebro, se necesitan estudios más amplios y detallados para afirmar la superioridad de cualquiera de los regímenes de uso basados en estas regiones.

Uno de los principales objetivos que sustentan nuestra decisión de comparar el uso de dispositivos PT y FT en este estudio fue determinar si el uso consciente de dispositivos tenía efectos diferentes en el cerebro que el uso durante el sueño únicamente en el tratamiento ortopédico funcional.

Tabla 6 Análisis de los resultados posteriores al tratamiento en los grupos de uso a tiempo completo y a tiempo parcial (noche) en comparación con los resultados previos al tratamiento en el grupo de control en términos de características morfológicas del cerebro como curvatura, área, volumen y grosor y regiones que presentaron significancia (análisis de varianza).

	REGIÓN	Grupo 2 valor t	Control valor p	Grupo 2 valor t	Grupo 1 valor p	Grupo 1 valor t	Control valor p
ÁREA	<i>rh-Post-central</i>	- 3,35	0,004	/	/	- 2,46	0,026
	<i>rh-Precentral</i>	- 3,28	0,005	/	/	- 3,26	0,005
	<i>rh-temporal medio</i>	- 2,62	0,019	/	/	- 2,35	0,032
	<i>rh-G postcentral</i>	- 2,34	0,033	/	/	- 2,36	0,031
CURVATURA	<i>rh-G temporal medio</i>	- 2,16	0,046	/	/	- 2,31	0,035
	<i>lh-Occipital lateral</i>	- 3,27	0,005	/	/	- 2,51	0,023
	<i>lh-Frontal superior</i>	- 3,04	0,008	2,31	0,032	2,41	0,028
	<i>lh-Occipital lateral</i>	2,92	0,010	/	/	3,15	0,006
	<i>lh-Orbitofrontal lateral</i>	2,87	0,011	2,43	0,03	- 2,44	0,027
	<i>lh-Frontal medio caudal</i>	2,85	0,012	2,58	0,022	2,71	0,015
	<i>lh-Precuneo</i>	2,74	0,016	/	/	2,55	0,021
	<i>lh-Temporal inferior</i>	- 2,55	0,020	2,45	0,028	2,58	0,02
	<i>lh-Frontal superior</i>	- 2,53	0,022	- 2,93	0,011	4,4	<0
	<i>lh-Frontal medio rostral</i>	- 2,51	0,023	/	/	- 2,27	0,037
	<i>lh-Frontal superior</i>	2,39	0,030	- 3,36	0,005	2,41	0,028
	<i>lh-Lingual</i>	- 2,35	0,032	/	/	2,54	0,022
	<i>lh-Orbitofrontal medial</i>	2,33	0,033	/	/	2,59	0,019
	<i>lh-Supramarginal</i>	2,22	0,041	/	/	- 2,39	0,03
	<i>lh-Parietal inferior</i>	- 2,19	0,043	- 3	0,01	2,2	0,043
	<i>rh-Frontal medio rostral</i>	3,05	0,008	/	/	- 2,32	0,034
	<i>rh-Occipital lateral</i>	- 2,64	0,018	2,92	0,011	2,3	0,035
	<i>rh-Orbito frontal lateral</i>	- 2,63	0,018	/	/	2,21	0,042
	<i>rh-Precentral</i>	2,31	0,035	- 2,52	0,025	3,13	0,006
	<i>rh-Parietal inferior</i>	- 2,22	0,041	- 2,24	0,041	- 2,65	0,017
ESPESOR	<i>lh-Frontal superior</i>	5,48	<0	/	/	4,35	<0
	<i>lh-Occipital lateral</i>	2,71	0,015	2,63	0,02	3,48	0,003
	<i>lh-Entorrinal</i>	2,34	0,033	/	/	2,3	0,035
	<i>lh-Pericalcerina</i>	- 2,21	0,042	2,98	0,01	2,29	0,036
	<i>rh-Postcentral</i>	2,74	0,015	/	/	3,33	0,004
	<i>rh-Precentral</i>	2,3	0,035	/	/	3,12	0,007
	<i>temporal del polo lh</i>	2,54	0,022	/	/	2,26	0,038
VOLUMEN	<i>lh-Precentral</i>	2,46	0,026	- 3,21	0,006	- 2,47	0,025
	<i>lh-Supramarginal</i>	- 2,44	0,027	/	/	- 2,24	0,04
	<i>lh-Supramarginal</i>	- 2,36	0,031	/	/	- 2,13	0,049
	<i>lh-Frontal superior</i>	- 2,16	0,046	- 3,06	0,008	- 2,19	0,044
	<i>rh-Precentral</i>	- 2,50	0,024	/	/	- 2,75	0,014
	<i>rh-Occipital lateral</i>	- 2,30	0,035	/	/	- 2,61	0,019
	<i>rh-Caudal medio</i>	- 2,29	0,036	/	/	- 2,25	0,039
	<i>rh-G parietal superior</i>	3,03	0,008	/	/	- 2,39	0,03

pag*<0,05, *pag*<0,01, ****pag*<0,001

El beneficio de usar el dispositivo por la noche se limita a correcciones dentales y esqueléticas, sin formación de un nuevo modelo de cierre en el cerebro. Sin embargo, los resultados de fMRI en los grupos de uso FT y PT llevaron a una conclusión diferente. El uso nocturno del dispositivo también resultó en cambios significativos en el cerebro según varios parámetros.

Limitaciones

La mayor limitación de nuestro estudio es que las imágenes fMRI adquiridas de los grupos de uso de FT y PT antes del tratamiento se volvieron inutilizables debido a modificaciones en la metodología fMRI en etapas posteriores del estudio. Por este motivo, seleccionamos un grupo de control de 10 individuos con anomalías y características similares. Cambios

En los cerebros de los pacientes de los grupos de uso de FT y PT después del tratamiento se determinaron en base a comparaciones con los datos obtenidos del grupo de control antes del tratamiento. Por lo tanto, se podrían obtener resultados más precisos realizando un nuevo estudio con grupos de estudio más grandes, utilizando imágenes de fMRI previas y posteriores al tratamiento de los mismos pacientes.

Otra limitación de este estudio es la falta de un grupo de control sin tratamiento. La razón principal de la falta de un grupo de control sin tratamiento es que todos nuestros pacientes se encontraban en el período de máximo crecimiento puberal o cerca de él. El momento óptimo de tratamiento para los aparatos funcionales es en el período de máximo crecimiento puberal. Por lo tanto, tener un grupo de control sin tratamiento para este estudio significaría que las edades esqueléticas de los pacientes podrían retrasarse para obtener resultados ideales del tratamiento. Por lo tanto, tanto las consideraciones éticas como las dificultades para obtener imágenes por resonancia magnética de los niños nos impidieron incluir sujetos de control sin tratamiento en este estudio. Sin embargo, este estudio ofrece una nueva perspectiva sobre el tema, largamente debatido, de los efectos neuromusculares del tratamiento ortopédico funcional.

conclusión

Los efectos de la terapia funcional y el uso de aparatos ortopédicos funcionales solo por la noche fueron similares según la evaluación cefalométrica, la resonancia magnética y la fMRI. Los aparatos ortopédicos funcionales no solo corrigen la morfología, sino que también provocan alteraciones estructurales de los músculos masticatorios.

Referencias

1. Woodside DG, Metaxas A, Altuna G. La influencia de la terapia con aparatos funcionales en la remodelación de la fosa glenoidea. *Am J Orthod Orthopedia dentofacial* 1987; **92**: 181-98. doi:[https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90411-2](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90411-2)
2. McNamara JA, Bryan FA, Allen Bryan F. Adaptaciones mandibulares a largo plazo a la función protrusiva: un estudio experimental en Macaca mulatta. *Am J Orthod Orthopedia dentofacial* 1987; **92**: 98-108. doi:[https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90364-7](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90364-7)
3. Petrovic A. Control del crecimiento postnatal de los cartílagos secundarios de la mandíbula mediante mecanismos que regulan la oclusión. Modelo cibernético. *Sociedad Ortodoxa Transeuropea* 1974; **50**: 69-75.
4. Fränkel R, Fränkel C. Implicación clínica del concepto de Roux en ortopedia orofacial. *J. Orofac Orthop / Fortschritte der Kieferorthopädie* 2001; **62**: 1-21. doi:<https://doi.org/10.1007/PL00001915>
5. Petrovic AG, Stutzmann JJ. Metodología de investigación y hallazgos en estudios aplicados sobre el crecimiento craneofacial. En: Graber T. M, Rakosi T, Petrovic A. G, eds. *Ortopedia dentofacial con aparatos funcionales*. 2da ed. San Luis: Mosby Company; 1997. págs. 13-63.
6. Oudet C, Petrovic AG. Variaciones en el número de sarcómeros en serie en el músculo pterigoideo lateral en función de la desviación longitudinal de la posición mandibular producida por el hiperpropulsor postural. En: Carlson D. S, McNamara JA Jr, eds. *Adaptación muscular en la región craneofacial. Monografía N° 8. Serie Crecimiento Craneofacial*. Ann Arbor: Centro para el Crecimiento y Desarrollo Humano, Universidad de Michigan; 1978.
7. Orhan K, Nishiyama H, Tadashi S, Murakami S, Furukawa S. Comparación de la intensidad de señal alterada, la posición y la morfología del disco de la ATM en imágenes de RM corregidas por variaciones en la superficie.

En lugar de considerar estos aparatos como simples dispositivos que sólo proporcionan corrección esquelética y dental de la maloclusión de clase II, sería más preciso pensar en ellos como herramientas de ejercicio que conducen a cambios neuromusculares al facilitar la adaptación muscular y activar varias regiones del cerebro.

reconocimiento

Este proyecto fue apoyado por el Centro de Proyectos de Investigación Científica de la Universidad de Ankara (BAP) bajo el número de proyecto 15B0234003.

Fondos

Este proyecto fue apoyado por el Centro de Proyectos de Investigación Científica de la Universidad de Ankara (BAP) bajo el número de proyecto 15B0234003.

Consentimiento del paciente

Todos los procedimientos seguidos se ajustaron a las normas éticas del comité responsable de la experimentación humana (institucional y nacional) y a la Declaración de Helsinki de 1964 y versiones posteriores. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los pacientes para su inclusión en el estudio.

Sensibilidad de la bobina. *Cirugía oral Medicina oral Patología oral Radiología oral Endodoncia oral* 2006; **101**: 515-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.04.004>

8. Huettel SA, Song AW, McCarthy G. *Imágenes por resonancia magnética funcional*. 2da edición. Massachusetts: Sinauer Associates; 2009.

9. Logothetis NK. Qué podemos hacer y qué no con la fMRI. *Naturaleza* 2008; **453**: 869-78. doi:<https://doi.org/10.1038/nature06976>

10. Wadhawan NORTE, Kumar S, Kharbanda De acuerdo, Duggal R, Sharma R. Adaptaciones de la articulación temporomandibular después de una terapia de dos fases: un estudio de resonancia magnética. *Res. craneofacial ortopédica* 2008; **11**: 235-50. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2008.00436.x>

11. Ruf S, Pancherz H. Adaptación del crecimiento de la articulación temporomandibular en el tratamiento de Herbst: un estudio prospectivo mediante resonancia magnética y radiografía cefalométrica. *Revista Europea de Ortodoncia* 1998; **20**: 375-88. doi:<https://doi.org/10.1093/ejo/20.4.375>

12. Pancherz H, Ruf S, Thomalske-Faubert C. Cambios en la posición del disco articular mandibular durante el tratamiento con Herbst: un estudio de resonancia magnética longitudinal prospectivo. *Soy J Orthod Dentofac Orthop* 1999; **116**: 207-14. doi:[https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(99\)70219-2](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(99)70219-2)

13. Cesur E, Özdiler O, Köklü A, Orhan K, Seki U.; en prensa Efectos de las diferencias en el tiempo de uso de aparatos funcionales removibles en pacientes de clase II: estudio prospectivo de resonancia magnética de los cambios en la ATM y los músculos masticatorios. *Radio ora* **92**. doi:<https://doi.org/10.1007/s11282-019-00379-0>

14. Helm S, Siersbaek-Nielsen S, Skieler V, Björk A. Reifung des handskeletts bezogen auf das maximale grössen-wachstum des körpers in Der pubertät. *Inf. Orthopedia Kiefer* 1976; **2**: 51-72.

15. Greulich WW, Pyle SI. *Atlas radiográfico del desarrollo esquelético de la mano y la muñeca*. 2da ed. **238**Stanford: Stanford University Press; 1959. págs. 393. doi:<https://doi.org/10.1097/00000441-195909000-00030>
16. Clark WJ. La técnica de doble bloque. En: Graber T. M, Rakosi T, Petrovic A. G, eds. *Ortopedia dentofacial con aparatología funcional*. San Luis: Mosby Company; 1997. págs. 268–98.
17. Sander FG. Procesos funcionales al utilizar el aparato SII durante el día. *J Orolfac Ortopedista*2001;**62**: 264–74. doi:<https://doi.org/10.1007/PL00001934>
18. Hansen K, Pancherz H, Hägg U. Efectos a largo plazo del aparato Herbst en relación con el período de crecimiento del tratamiento: un estudio cefalométrico. *Revista Europea de Ortodoncia*1991;**13**: 471–81. doi:<https://doi.org/10.1093/ejo/13.6.471>
19. Williams S, Melsen B. Desarrollo condilar y rotación y desplazamiento mandibular durante el tratamiento con activador. Un estudio de implantes. *Soy J Ortodoncia*1982;**81**: 322–6. doi:[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90220-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90220-2)
20. Aksoy S, Orhan K. Manyetik rezonans görüntülemenin dentomaksillofasial bölgedeki kullanım alanları. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci -Temas especiales*2010;**1**: 44–57.
21. Hinton RJ, McNamara JA. Adaptaciones del hueso temporal en respuesta a la función protrusiva en monos rhesus juveniles y adultos jóvenes (Macaca mulatta). *Revista Europea de Ortodoncia*1984;**6**: 155–74. doi:<https://doi.org/10.1093/ejo/6.3.155>
22. Elgoyhen JC, Moyers RE, McNamara JA, Riolo ML. Adaptación craneofacial de la función protrusiva en monos rhesus jóvenes. *Soy J Ortodoncia*1972;**62**: 469–80. doi:[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(72\)90023-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(72)90023-1)
23. Frankel R, Frankel C. *Ortopedia orofacial con regulador de función*. 1ª ed. Basilea: Karger; 1989.
24. Tunik E, Rice NJ, Hamilton A, Grafton ST. Más allá del agarre: representación de la acción en el surco intraparietal anterior humano. *Neuroimage*2007;**36**: T77–T86. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.026>
25. Abrahams S, Goldstein LH, Simmons A, Brammer MJ, Williams SCR, Giampietro VP, et al. Imágenes por resonancia magnética funcional de la fluidez verbal y la denominación de confrontaciones utilizando la adquisición de imágenes comprimidas para permitir respuestas manifiestas. *Tararear Mapa cerebral*2003;**20**: 29–40. doi:<https://doi.org/10.1002/hbm.10126>
26. Brown TT, Lugar HM, Coalson RS, Miezin FM, Petersen SE, Schlaggar BL. Cambios evolutivos en la organización funcional cerebral humana para la generación de palabras. *Corteza cerebral*2005;**15**: 275–90. doi:<https://doi.org/10.1093/cercor/bhh129>
27. Ramachandran VS, Hubbard EM. La fenomenología de la sinestesia. *J Conciencia Stud*2003;**10**: 49–57.
28. Chen Q, Weidner R, Vossel S, Weiss PH, Fink GR. Mecanismos neuronales de reorientación atencional en el espacio tridimensional. *Revista Neurosci*2012;**32**: 13352–62. doi:<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1772-12.2012>
29. Kjaer TW, Nowak M, Lou HC. Autoconciencia reflexiva y estados conscientes: evidencia PET de un núcleo parietofrontal de línea media común. *Neuroimage*2002;**17**: 1080–6. doi:<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1230>
30. Vogt BA, Laureys S. Cortezas cingulada posterior, precuneal y retrosplenial: citología y componentes de la red neuronal correlacionada con la conciencia. *Investigación cerebral progresiva*2005;**150**: 205–17. doi:[https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(05\)50015-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(05)50015-3)
31. Ashizuka A, Mima T, Sawamoto N, Aso T, Oishi N, Sugihara G, et al. Relevancia funcional del precúneo en la corteza verbal. *Investigación neurológica*2015;**91**: 48–56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neures.2014.10.009>
32. OhnmeiŒM, Kinzinger G, Wesselbaum J, Korbmacher-Steiner HM. Efectos terapéuticos de los aparatos de ortodoncia funcionales sobre la postura de la columna cervical: un estudio cefalométrico retrospectivo. *Cabeza Cara Med*2014;**10**:7. doi:<https://doi.org/10.1186/1746-160X-10-7>
33. Aron AR, Robbins TW, Poldrack RA. Inhibición y corteza frontal inferior derecha. *Tendencias Cogn Sci*2004;**8**: 170–7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>
34. Creem SH, Proffitt DR. Definición de los sistemas visuales corticales: “Qué”, “Dónde” y “Cómo”. *Acta Psicológica*2001;**107**(1–3): 43–68. doi:[https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(01\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(01)00021-X)
35. Ackermann H, Riecker A. La contribución de la ínsula a los aspectos motores de la producción del habla: una revisión y una hipótesis. *Cerebro Lang*2004;**89**: 320–8. doi:[https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00347-X](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00347-X)