

Adaptación neuromuscular y esquelética a las alteraciones de la función en la región orofacial

P O R

JAMES A. McNAMARA, Jr., D. D. S., Ph. D

Publicado en la Revista Española de Ortodoncia
Vol. III n.º 4 octubre - noviembre - diciembre 1973
VALENCIA (España)

Adaptación neuromuscular y esquelética a las alteraciones de la función en la región orofacial

JAMES A. McNAMARA, Jr., D. D. S., Ph. D.
E E. U U.

Siempre ha sido difícil el explicar las relaciones básicas entre la función muscular y el crecimiento óseo. Este problema ha sido extensivamente estudiado por los biólogos a nivel de la interacción tejido-celular y por los clínicos, evaluando la respuesta del paciente al uso de la ortopedia funcional en la práctica ortodóncica. El presente estudio se llevó a cabo en un intento de contestar las siguientes y otras preguntas significantes relacionadas con la interacción musculoesquelética:

1. ¿Puede la función muscular alterada dirigir cambios en el hueso?
2. ¿Pueden presentarse cambios esqueléticos en la función muscular alterada?
3. ¿Pueden presentarse cambios en ambos patrones, muscular y esquelético, ambos en conjunto pero sin una relación causa efecto directa?
4. Si existe alguna de las relaciones arriba mencionadas, ¿están las respuestas relacionadas con la edad?
5. Si los cambios están relacionados con el crecimiento o con la edad, ¿pueden las relaciones estructurales y funcionales, una vez establecidas, ser alteradas?

El presente estudio fue subvencionado en parte por las ayudas DE-02272, DE-03610 del Servicio de Higiene Pública de los Estados Unidos y por la beca especial de investigación USPHS, DE-43120.

Esta comunicación es parte de un proyecto de investigación que ganó el premio Milo Hellmand de investigación en el año 1973 y fue presentado por primera vez ante la A. A. O. en Dallas, Texas, en mayo 1973.

JAMES A. McNAMARA

Para ello se produjeron experimentalmente desproporciones craneofaciales en monos Rhesus («Macaca Mulatta») en distintos niveles de maduración. La forma en que las adaptaciones neuromusculares y esqueléticas específicas se presentaron, fue determinada usando varios métodos de estudio, y se evaluaron los procesos concomitantes de remodelamiento y control asociados con estas respuestas.

Los efectos de desplazamiento funcional mandibular fueron estimados específicamente. Se consiguió una nueva configuración oclusal que modificase los estímulos sensoriales orales que inducía subsecuentemente un posicionamiento adelantado de la mandíbula durante los movimientos funcionales de la mandíbula en series de monos Rhesus en cuatro estadios definidos de maduración.

A través de electromiografía seriada se estudiaron e interrelacionaron las adaptaciones específicas esqueléticas, dentales y neuromusculares, así como también a través de radiografía cefalométrica seriada con implantes metálicos y a través de análisis microscópico.

REVISION DE LITERATURA

Los investigadores en los campos de Ortopedia y Ortodoncia han estado siempre interesados en la relación entre forma y función en el desarrollo del niño en crecimiento. Se han llevado a cabo numerosos estudios usando diferentes metodologías que han producido muy variados resultados. Muchos estudios en el hombre se han llevado sobre el tema de tratamiento de la maloclusión de Clase II (distoclusión) con aparatos ortopédicos funcionales.

Si bien existe acuerdo general acerca de los efectos básicos de los aparatos funcionales sobre el crecimiento esquelético del maxilar superior, así como también sobre el desarrollo dentoalveolar de ambos maxilares, la naturaleza real de la respuesta de la mandíbula, con gran frecuencia, se ve oscurecida en los estudios clínicos por dificultades en diseño experimental, procedimientos de tratamiento y métodos de medición. En otra comunicación¹ exponemos con más detalle una revisión detallada de la literatura en este campo.

El efecto de la función alterada sobre el crecimiento de la mandíbula y de otras estructuras craneofaciales ha sido estudiado extensamente en una serie de experimentos en primates. Se han constituido varios sistemas que probablemente necesitan el desarrollo de una posición funcional alterada del maxilar inferior.

ADAPTACION OROFACIAL

Las adaptaciones craneofaciales asociadas con el uso de estos métodos se han estudiado cefalométricamente o histológicamente por los investigadores²⁻¹¹.

La mayoría de las veces las alteraciones dentarias podrían caracterizarse por un cambio desde una relación normal de molares (CI I) a una relación adelantada (mesial) de los molares inferiores (CI III). Esta respuesta parece similar en muchos aspectos a la corrección de la distoclusión mencionada previamente.

En general, una relación molar de Clase III producida experimentalmente por el desplazamiento funcional anterior de la mandíbula es una expresión completa de varios procesos de adaptación separados pero interrelacionados. La inhibición del patrón de migración hacia abajo y adelante de la dentición maxilar y/o la migración mesial de los dientes mandibulares puede conducir a esta relación. En segundo lugar, la adaptación esquelética puede darse, con lo cual ocurre un cambio en la dirección y cantidad de crecimiento en la cabeza del cóndilo mandibular, que contribuye más a una apertura que a un cierre del ángulo goniaco. El crecimiento del maxilar puede también ser vuelto a dirigir. También se pueden observar otras adaptaciones esqueléticas a lo largo de todas las partes del complejo craneofacial incluyendo la base craneal.

El **nivel de maduración** del animal de experimentación parece tener una importancia crítica en la evaluación de la significación de las variables descritas más arriba. Hiniker, Ramfjord y Enlow¹¹ informan que la articulación temporomandibular en el **animal adulto** es estable y resistente a los cambios de la oclusión.

En experimentos similares, usando animales en crecimiento, en cambio, se observan cambios significativos en esta articulación⁹⁻¹⁰.

Häupl y Psansky suponen que el cambio resultante en la morfología del complejo craneofacial se debe a la demanda alterada hecha por la musculatura cuando funciona en una distinta posición y orientación. Derichsweiler⁵ y Joho⁸ describen esta posición adelantada de la mandíbula como de naturaleza «puramente funcional».

De todas formas, la interacción entre la morfología alterada (producida por el aparato) y los patrones alterados de función neuromuscular no está clara. Del mismo modo, la relación entre la neuromusculatura y las adaptaciones subsecuentes esqueléticas no se comprende actualmente.

MATERIAL Y METODOS

Se estudiaron sesenta y cuatro monos Rhesus («Macaca Mulatta»): Veintiocho animales eran la muestra básica de la serie y treinta y seis fueron

ADAPTACION OROFACIAL

utilizados como controles suplementarios histológicos y/o electromiográficos. Para determinar las relaciones de edad y maduración con las adaptaciones musculoesqueléticas, el grupo muestra de veintiocho fue dividido en cuatro grupos de siete animales, de acuerdo con los estudios de su desarrollo dental. El grupo infante (grupo I) estaba caracterizado por la presencia de la dentición decidua completa al comienzo del estudio. Las fechas de nacimiento de los animales se conocían y cada uno estaba comprendido entre los cinco y los siete meses de edad. Los animales juveniles (grupo II) presentaban dentición decidua completa, pero los primeros molares permanentes estaban erupcionando o se hallaban ya en completa oclusión. Las fechas exactas de nacimiento de los animales en los grupos II, III y IV no se conocían. Basados en las tablas de erupción de Hurme y Van Wagenen¹², los animales en el grupo II estaban entre dieciocho y veinticuatro meses de edad. El grupo adolescente (grupo III) poseía una dentición permanente, excepto para los terceros molares, que no estaban completamente erupcionados, y los caninos, erupcionados parcialmente.

Estos animales tenían aproximadamente de cuatro a cuatro años y medio de edad. Los monos adultos (grupo IV) tenían la dentición permanente completa, incluidos los terceros molares, y tenían aproximadamente de seis a siete años de edad.

Cada uno de los grupos arriba mencionados constaba de tres o cuatro animales de control experimental. Los animales experimentales fueron designados como **a**, **b** y **c**. Los animales **d**, **e** y **f** representaban controles cefalométricos y el animal **g** fue usado al mismo tiempo como control cefalométrico e histológico.

La duración del experimento fue de veintiséis semanas. Este período fue dividido en dos segmentos iguales: Un período de control para la colección de datos normales neuromusculares y esqueléticos de todos los monos y un período subsiguiente en el cual los datos de crecimiento de los tres animales experimentales y los cuatro restantes animales de cada grupo fueron comparados. De esta forma fueron conseguidos dos tipos de información: cada animal experimental fue comparado con su crecimiento propio antes de la experimentación, así como también con el crecimiento del grupo entero de control antes y durante la experimentación.

Procedimientos radiográficos

Implantes.—A cada animal se le colocaron veintinueve implantes de tantalio¹³. Extraoralmente se colocaron cuatro implantes en aguja en el lado de-

ADAPTACION OROFACIAL

recho de la mandíbula, incluyendo uno en la sínfisis y uno en la rama cerca de su borde posterior. En la región maxilar se colocaron bilateralmente cinco pares de implantes y también fueron colocados cinco implantes en la parte media de la base craneal penetrando por la pared faríngea posterior¹.

En otras partes del cráneo fueron insertados también diez implantes en aguja, incluyendo tres en el hueso frontal.

Técnica cefalométrica.—Se tomaron radiografías al comienzo del período de control, al comienzo del período experimental y a la conclusión del experimento. También fueron tomadas radiografías adicionales en otros intervalos de tiempo, pero no fueron analizadas en este estudio. En cada ocasión se hicieron dos exposiciones: una en oclusión y una con la boca abierta para permitir una mejor visualización radiográfica de la articulación temporomandibular.

Los métodos radiográficos usados en este estudio se han descrito en detalle en informes anteriores¹⁻¹⁰⁻¹⁴. En todos los cefalogramas se utilizó film industrial, dado que el grano de este film es muy fino y permite una definición muy precisa de las estructuras. Cada film fue ampliado tres veces sobre film translúcido. Este procedimiento permite el trazado y medida de los pequeños incrementos de crecimiento que ordinariamente hubiesen sido enmascarados por errores en el trazado.

Construcción del aparato.

Los aparatos intraorales estaban confeccionados con oro colado y actuaban moviendo toda la función oclusal dos milímetros hacia mesial. El desplazamiento vertical también fue unificado a la altura de dos milímetros. Después de montar los modelos del animal en un articulador, cada aparato fue modelado en cera antes de ser colado para simular un movimiento hacia adelante de la anatomía oclusal maxilar. Todos los segmentos bucales estaban cubiertos por el aparato y conectados por dos barras palatinas transversales (Fig. 1). Después de cementado el aparato era cuidadosamente equilibrado para proveer el máximo de contacto oclusal y equilibrio en la posición mandibular adelantada.

Procedimientos electromiográficos.

Los registros electromiográficos registraban la función neuromuscular durante el transcurso del experimento. Durante el período de control inicial

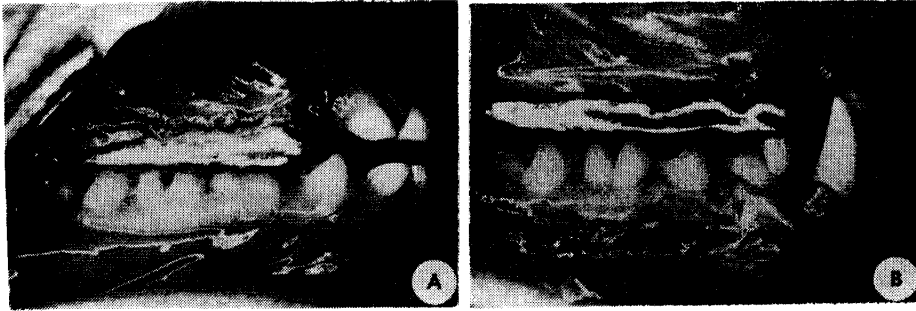


Fig. 1.—Aparatos: A), infante; B), adolescente.

de trece semanas se efectuaron registros electromiográficos con intervalos mensuales para establecer la línea de partida del patrón muscular para cada animal y determinar los límites de variación individual de estos patrones. Fueron tomados un total de cinco registros de este tipo, incluyendo un registro cuatro días antes de la cementación del aparato intraoral y uno en el momento de la cementación. Este último registro tiene importancia porque se podían conocer las reacciones inmediatas al aparato sin alterar ningún otro tipo de variable experimental. También fue tomado un registro, continuo, durante la hora que siguió a la cementación. Ocho registros más se obtuvieron en intervalos sucesivos de seis horas, durante un día, cuatro días, una semana, dos semanas, cuatro semanas, ocho semanas y durante la decimosegunda semana.

Inicialmente, el mono estaba anestesiado con una inyección intramuscular de 6-10 mg./kg. de ketamina HCl. La ketamina es un anestésico disociativo de corta acción que tiene muy poco y a la vez muy rápido efecto sobre la musculatura de la región orofacial¹⁵. El mono anestesiado, entonces, se colocaba en una cámara a prueba de ruidos, protegida eléctricamente y colocado en un aparato diseñado para experimentos electromiográficos en primates no humanos¹⁶. La cabeza del animal estaba orientada en una posición fija, por medio de un reposacabezas de plexiglás para permitir al animal una función normal de sus maxilares cuando se hallase sin anestesiar.

Se colocaron electrodos en aguja bipolares en el temporal anterior, temporal posterior, orbicular de la boca y en la musculatura supraioidea. El grupo supraioideo, que constaba del digástrico anterior, miloioideo y genioideo, se consideró como un músculo único, dada la dificultad de separarlos anatómicamente durante la colocación de los electrodos¹. Para registrar el terigoideo lateral se colocaron electrodos en aguja de 25 mm. aislados

ADAPTACION OROFACIAL

con teflón y se introdujeron por vía extraoral a través de la escotadura sigmoidea dentro de la cabeza superior y lateral del músculo pterigoideo. McNamara¹⁻¹⁷ ha estudiado las funciones separadas e independientes de cada cabeza del músculo pterigoideo lateral. Todos los registros fueron obtenidos de la musculatura en el lado izquierdo.

Después de la verificación de la colocación de los electrodos, el animal se dejó aislado en la cámara a prueba de sonido, durante un tiempo adicional mínimo de treinta minutos para permitir una recuperación completa de anestesia. Después de este tiempo se tomaron registros de postura, reflejos orales y variados movimientos de los maxilares que se iniciaban durante el momento en que el animal aún se hallaba en aislamiento.

También se registraron en este período los movimientos de deglución refleja de la saliva. Más tarde el investigador entraba en la habitación a prueba de sonido y generaba degluciones de agua por medio de la administración de 5 cm. de agua con una jeringa de inyecciones en la boca del animal. La masticación se conseguía alimentando al animal con pedazos pequeños de azúcar y de manzana.

La actividad postural se registra cuando toda la musculatura que participa en el movimiento mandibular demuestra que no tiene otra actividad que la que es necesaria para mantener la mandíbula en una posición de equilibrio contra la gravedad. Las fuerzas de gravedad evocan descargas asíncronas constantes en los músculos antigravitatorios, las cuales dan como resultado un estado suave de contracción o tensión en estos músculos¹⁻¹⁸. En este informe, la actividad muscular asociada con el mantenimiento de la posición postural («reposo») de la mandíbula se ha usado como un indicador de la respuesta de la musculatura a las condiciones experimentales. En adición se presenta una discusión general de la actividad muscular durante los movimientos funcionales. De todas formas, también se pueden encontrar discusiones específicas y detalladas de los efectos del experimento en la masticación y en la deglución¹.

Procedimientos histológicos

A la conclusión del período experimental se extrajeron las coronas de oro de los doce animales de experimentación y se tomó un juego final de radiografías y fotografías intraorales. Entonces los animales **b** y **c** y el animal de control **g** fueron sacrificados por medio de una perfusión salina y fosfato formalina. La articulación temporomandibular en el lado derecho y los tejidos que la rodean fueron disecados y colocados en formalina. Este bloque de

tejido fue más tarde decalcificado en ácido fórmico, incluido en celoidina y finalmente seccionado seriadamente paralelo al plano sagital en cortes de 10-20 micrones. Tres de cada diez secciones fueron teñidas alternativamente con hematoxilina-eosina, Masson, y el método modificado de Mallory. La cuarta sección fue montada sin ser teñida.

HALLAZGOS

1. NEUROMUSCULATURA

Los resultados obtenidos durante el período experimental fueron agrupados fácilmente en tres fases: **Fase Uno**, incluía las reacciones del animal iniciales durante las primeras seis horas del experimento; **Fase Dos**, incluía los registros a partir del primer día hasta la primera semana, y **Fase Tres**, que incluía la segunda semana hasta el fin del experimento. Las alteraciones en los patrones de función muscular durante el período del experimento fueron comparados con los patrones de control. Dado que se encontraron variaciones entre animales del mismo grupo de edad, cada animal experimental fue usado como su propio control y se determinó un margen de función normal para cada uno de ellos durante las primeras trece semanas del proyecto.

Fase Uno (primeras seis horas del experimento)

La cementación del aparato en el arco maxilar alteraba el panorama oral y resultaron variadas respuestas de tipo inmediato. En general, se podían observar períodos de hiperactividad e hipoactividad en el mismo animal (figura 2). El animal cerraba sobre el aparato en forma de una mordida errática y movimientos de rechinar, como si estuviese buscando un lugar para establecer una posición oclusal confortable. Los patrones funcionales normales estaban distorsionados e incoordinados y se observó una pérdida de la sincronía muscular en la mitad de los animales. Se observaron una serie de movimientos mandibulares exagerados y sin ningún sentido en todos los animales. El grupo infantil y el juvenil de monos demostraron una actividad postural en primer término en el músculo temporal, de la misma forma que ellos lo hicieron durante el período de control. De todas formas, varios de los animales viejos desarrollaron una pronunciada dominancia de la función masetera en la posición, así como también durante los movimientos funcionales.

Uno de los cambios más significativos en la actividad durante las primeras horas se observó en la musculatura suprahiodea. Se observaron descar-

ADAPTACION OROFACIAL

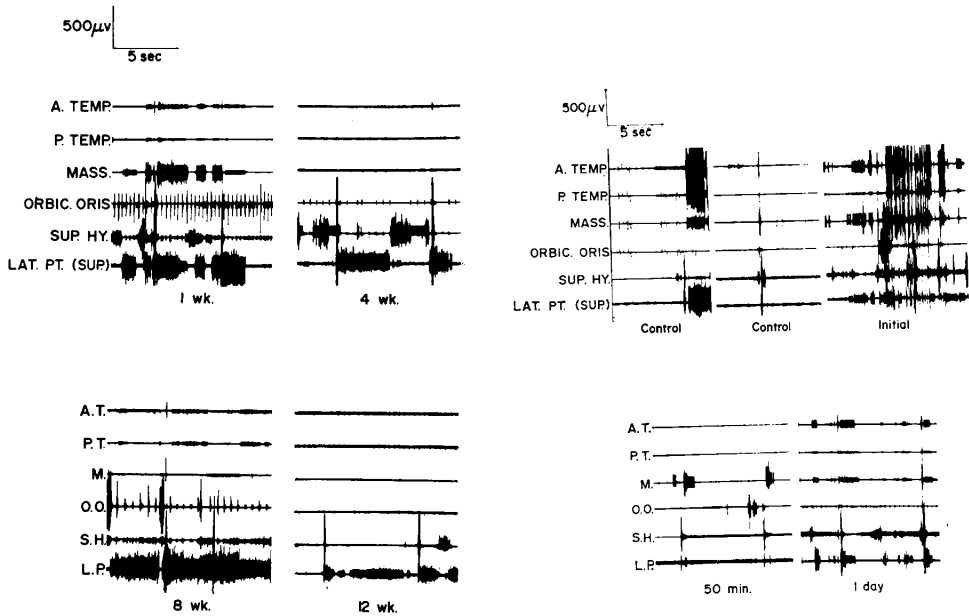


Fig. 2.—Muestra de la típica actividad muscular durante el período experimental. En los records de control, nótese la función sinérgica de los elevadores y de la cabeza superior del pterigoideo lateral durante movimientos funcionales tales como la deglución y el cerrado de los dientes.

Inicialmente la función coordinada del músculo fue rota. Al cabo de una semana la amplitud de la actividad del pterigoideo lateral se observa no sólo durante el movimiento, sino también durante el mantenimiento postural. Esta actividad alcanza el máximo a las ocho semanas, y a continuación se reduce al final del período experimental. (Animal I a.) (Velocidad de grabado, 5 mm./sec.)

gas hipertónicas de los suprahioides en todos los grupos de distintas edades. Se supone que esta actividad ayudaba a descender la posición postural de la mandíbula. Se observó que la mandíbula durante este período se hallaba desplazada de forma que los dientes inferiores no tuviesen contacto. Esta hipertonicidad no era continua, de todas formas, porque también fueron notados períodos de actividad normal cuando la mandíbula era observada que se hallaba en esta orientación habitual.

Al final de las seis horas, únicamente uno de los doce animales (**el mono IV B**) había obtenido alguna alteración significativa en la posición antero-posterior de la mandíbula. Se notó que la mandíbula de este animal estaba ligeramente desplazada hacia adelante de su posición original y se notó una actividad aumentada de la cabeza superior de su pterigoideo lateral. No se notaron alteraciones de función en la cabeza inferior de este músculo, si bien se tomaron registros de esta cabeza del pterigoideo lateral durante

los intentos de colocación del electrodo de la cabeza superior. Dichos registros de la cabeza inferior indicaron que no había una actividad aumentada en esta cabeza durante el período de las primeras seis horas del experimento.

Fase Dos (un día hasta una semana)

Este período se caracterizaba por el reestablecimiento de las funciones orales y por modificaciones de las respuestas adaptativas observadas durante las primeras seis horas del experimento. Los movimientos mandibulares durante este período no fueron tan fuertes o dramáticos como las mordeduras, los rechinamientos y las excursiones mandibulares exageradas que ocurrían durante la fase uno. La hipertonicidad de los músculos suprahioides, que presumiblemente habían ayudado en el mantenimiento del maxilar inferior destendido y lejos del aparato, desaparecieron gradualmente en todos los animales al final de la primera semana. El temporal anterior y el masetero fueron los que dominaban en los registros posturales. En dos de los animales más jóvenes y en todos, exceptuando uno de los animales más maduros, se evidenció un aumento generalizado en las descargas posturales de los elevadores, incluyendo el temporal posterior. De todas formas, había un descenso en la actividad del temporal posterior en tres de los animales más jóvenes. También fueron observadas descargas tónicas de la cabeza superior del pterigoideo lateral durante la posición de reposo en algunos de los animales, pero los registros ocasionales de la cabeza inferior (que ya hemos mencionado más arriba) revelaron que no había una indicación de un aumento de la actividad en esta porción del pterigoideo lateral durante esta primera semana.

Fase Tres (dos semanas hasta el fin del experimento)

La porción anterior del músculo temporal asumía de nuevo gradualmente el papel más activo durante la posición de reposo. En fases anteriores el masetero había sido el músculo que tenía más significancia en el mantenimiento de la posición postural de la mandíbula, pero presumiblemente, conforme los diversos sistemas tisulares orofaciales se iban adaptando al aparato, este músculo gradualmente iba asumiendo menos importancia en el papel de la postura. De todas formas, en cuatro de los animales (un infante, dos juveniles y un adulto) había un marcado descenso en la actividad postural en vez de un retorno a la función normal. Este descenso persistía a lo largo del período experimental.

ADAPTACION OROFACIAL

La adaptación más pronunciada que se observó electromiográficamente durante la fase tres ocurría en la función de la cabeza superior del músculo pterigoideo lateral. En los registros de control, la actividad de la cabeza superior se hallaba asociada principalmente con la función elevadora; en los registros posturales se observaron únicamente unas pocas puntas procedentes de unidades motoras individuales. Al final de dos semanas se observaron descargas tónicas de la cabeza superior del pterigoideo lateral en la mitad de los animales. Estas descargas, para la mayoría, precedían o seguían las actividades funcionales, tales como la deglución y también movimientos variados de la mandíbula (Fig. 2). Durante este período la cabeza superior se activaba por sí sola, sin una actividad concurrente en ninguno de los grupos musculares que se estaban registrando.

A las cuatro semanas todos, excepto uno de los animales de experimentación, presentaban descargas tónicas en la cabeza superior durante la actividad postural y durante los movimientos funcionales (Fig. 2). A la octava semana esta actividad había aumentado en tres animales y había disminuido en cuatro animales. En los últimos registros del período experimental, que fueron tomados durante la semana doceava, se observó que las descargas de la porción superior del pterigoideo lateral habían desaparecido en dos de los animales y continuaban a un nivel más reducido en otro grupo de ocho de ellos (Fig. 2). Incluso en el máximo nivel de actividad, las descargas tónicas de la cabeza superior no fueron evidentes en todos los registros de una sesión única. Durante los períodos de poco o ningún movimiento mandibular, particularmente en los registros de posición inicial, esta respuesta no se observó en todos los casos, indicando que la posición mandibular adelantada refleja de la mandíbula no era continua.

Sorprendentemente, los registros ocasionales de la cabeza inferior del pterigoideo lateral no indicaban que dicha cabeza del músculo fuese hiperactiva. La cabeza inferior continuaba funcionando sinérgicamente con la musculatura suprahiodea, pero no demostraba aumento en su actividad durante el mantenimiento postural o durante los movimientos funcionales.

2. CRECIMIENTO Y ADAPTACION MACROSCOPICA DEL ESQUELETO

En la conclusión del período experimental de trece semanas fueron observadas adaptaciones esqueléticas y dentales y en cada uno de los animales fueron experimentadas. Estas adaptaciones fueron debidas a las alteraciones en el ambiente intraoral y a los cambios subsiguientes en la función. Diez

de los doce monos demostraron una alteración anteroposterior en la relación de la mandíbula y del maxilar en los segmentos bucales (Fig. 3). La naturaleza y la cantidad de las modificaciones específicas adaptativas variaban entre los distintos grupos, y variaban en menor cantidad entre los animales considerados individualmente en cada uno de los grupos.

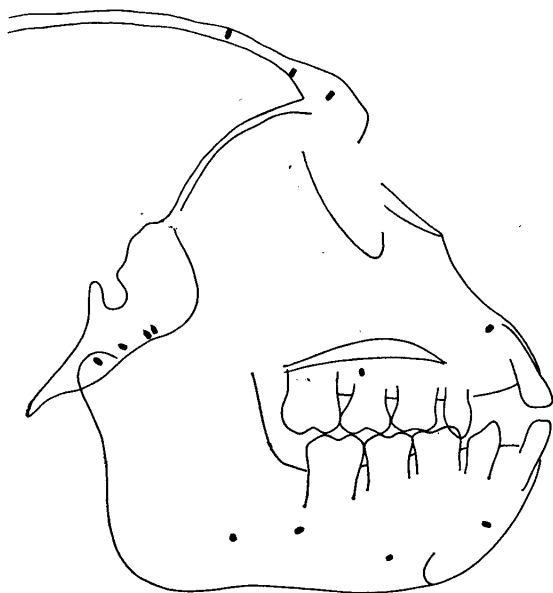


Fig. 3.—Trazado cefalométrico de un animal joven inmediatamente después de suprimidos los aparatos.

Análisis estadístico

Los datos cefalométricos recogidos en este experimento llevan inherente la particularidad de ser muy diversos. En cada uno de los animales se observaron gran cantidad de mediciones distintas pero no independientes. Al analizar este tipo de datos se deberían emplear procedimientos muy diversos que tuviesen en cuenta la correlación estructural de estos datos. Desgraciadamente, el pequeño tamaño de la muestra en cada grupo de edad hizo que el uso de estos procedimientos fuese imposible. Como alternativa, se emplearon dos procedimientos distintos univariados. El uso de estos dos métodos procede del hecho de que en el planeo experimental fueron incorporados estos dos tipos de control.

En el primer procedimiento, t-estadística fue computada para cada variable en cada grupo de edad para probar la hipótesis nula de que el cambio

ADAPTACION OROFACIAL

observado durante el período II (el período experimental) era igual al cambio observado en el período primero (el grupo de control). Este procedimiento se llevó a cabo separadamente para ambos grupos: el de control y el experimental. Los resultados para los grupos experimentales están registrados en las tablas 1, 2 y 3. La hipótesis nula fue rechazada al nivel del 5 por 100 (usando a «one-tailed procedure») para dieciocho combinaciones variables del grupo de edad en los grupos experimentales, y para tres combinaciones en los grupos de control.

En el segundo procedimiento fue computada una t-estadística para cada variable en cada uno de los grupos de edad, para probar la hipótesis nula de que el promedio del valor del cambio en el grupo experimental era igual al del grupo de control. Esto fue llevado a cabo separadamente para cada período de tiempo. Durante el período I, la hipótesis nula fue rechazada para cuatro combinaciones variables del grupo de edad. En el período II, después de haber administrado el tratamiento experimental, la hipótesis nula fue rechazada para veinticinco combinaciones. Las variables para las cuales esto tenía valor, están indicadas en las tablas 1, 2 y 3 con asteriscos en la columna de la derecha.

Adaptaciones mandibulares

En la mandíbula se observaron dos alteraciones morfológicas generales: cambios en el patrón de crecimiento de la cabeza condilar y una migración compensatoria de la dentición. El significado relativo de estos cambios dependía parcialmente de la edad del animal.

La región condilar.—Los aumentos en la cantidad de crecimiento en el cóndilo fueron más pronunciados en los grupos I y II. Las cantidades promedio de crecimiento posterior, superior y posterosuperior en la cabeza del cóndilo en los animales experimentales del grupo juvenil tenían un valor estadísticamente significativo comparado con los valores del nivel de control. Por ejemplo, el incremento promedio de crecimiento de los animales experimentales juveniles, medido a la altura del punto condilion durante el experimento, se determinó que era un 51 por 100 mayor que el incremento promedio de los mismos animales durante el período de control (tabla 1). El porcentaje exacto del incremento variaba individualmente con el animal. El incremento más inferior del crecimiento condilar fue de un 36 por 100 en el animal II A. El animal II C tenía el mayor incremento con un valor de un 64 por 100. El crecimiento promedio a la altura del condilion, en los ani-

males experimentales, durante el período II, era de un 27-38 por 100 mayor que el del grupo de animales de control durante un intervalo de tiempo similar. La proporción del crecimiento condilar posterior, en el grupo infantil de animales experimentales, también era significativamente mayor que los valores de control durante el período II (tabla 1).

En los animales adultos se notó un aumento negligible en el crecimiento posterosuperior del cóndilo, y en el grupo III se notó un ligero descenso promedio en la proporción de crecimiento condilar (tabla 1). Dos de los monos (**III A** y **III C**) experimentaron mucha dificultad en la adaptación funcional a los aparatos, conforme pudo demostrarse, con una pérdida de peso de 1'5 Kg. y 0'8 Kg., respectivamente, durante las primeras cuatro semanas. Si bien esta pérdida de peso fue recuperada al final del experimento, podríamos considerar que en estos animales se hubiese podido presentar una reducción en el crecimiento general del esqueleto.

Un cambio en la dirección de crecimiento a la altura del cóndilo, puede tener también un efecto similar sobre la posición mandibular, de la misma forma que lo hace un aumento en el incremento de crecimiento. Durante el período de control, los monos infantiles tenían un gran componente de crecimiento condilar vertical; de todas formas, durante el período experimental se presentó una operación en la alteración del crecimiento condilar en los tres animales del grupo infantil. La proporción de crecimiento condilar superior descendió, al tiempo que la proporción de crecimiento posterior aumentó (Fig. 4). En este grupo joven de edad que presentaba la proporción

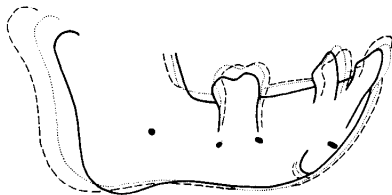


Fig. 4.—Crecimiento de la mandíbula en un animal experimental infante (I a) durante el control y períodos experimentales. En todos los trazados la línea sólida indica el principio del período de control; la línea a puntos indica el principio del período experimental, y la línea de guiones indica el final del experimento. Nótese la inhibición de deriva vertical del molar temporal y la migración compensadora del incisivo. El incremento de crecimiento a lo largo de la superficie posterior del cóndilo aumentó significativamente durante el período experimental.

mayor de crecimiento normal, se observó un cambio en el vector de crecimiento condilar que reorientaba el crecimiento de la mandíbula en una dirección más adelantada.

Dado que la aposición superior y posterior fue aumentada durante el período II, los cambios vectoriales fueron menos evidentes en el grupo de animales juveniles. El crecimiento condilar se hizo ligeramente más horizontal en dos de los animales adolescentes, si bien en el animal **III A** este cambio

ADAPTACION OROFACIAL

resultó en proporción como consecuencia de un descenso de la proporción del crecimiento condilar superior, más que de un aumento en sentido posterior. En el grupo de monos adultos no se observaron cambios evidentes vectoriales a la altura del cóndilo.

Las respuestas adaptativas en la región condilar fueron por lo tanto más evidentes en los dos grupos más jóvenes de animales. La **cantidad** de crecimiento se hallaba significativamente aumentada en los grupos I y II. La **dirección** de crecimiento condilar también se veía alterada primariamente en los animales infantiles. El crecimiento a la altura del cóndilo, en los dos grupos más viejos de edad, no se vio significativamente afectada por el experimento.

La rama ascendente de la mandíbula.—El crecimiento de la rama ascendente mandibular, medido a nivel de la intersección con el plano oclusal, no se vio alterada en ninguno de los grupos de edad. Tampoco se notó un aumento significativo en la proporción de deposición ósea a lo largo del borde posterior de la rama ascendente (tabla 1). De todas formas, en los monos del grupo joven experimental las alteraciones observadas en el crecimiento condilar afectaban el ángulo de la rama ascendente y desde el cóndilo al plano oclusal. En el grupo de animales infantiles no tratados el ángulo condilar-rama-oclusal (CRO), habitualmente, se cierra de 3-4° durante el intervalo de trece semanas. En este caso, durante el período II se observó, en el grupo de animales experimentales, una tendencia **reversa** de este cambio, por cuanto el ángulo, contrariamente, se abrió un promedio de 2-3°. Puesto que en condiciones normales se hubiese observado un cierre, se puede considerar que el cambio neto fue, aproximadamente, de 5-7°, lo que podemos considerar un aumento estadísticamente significativo (tabla 1). También fue observado un patrón similar en el grupo II, pero el ángulo CRO no se vio afectado en los dos grupos más viejos de edad.

La dentición mandibular.—Las adaptaciones esqueléticas en la mandíbula se vieron primariamente limitadas al grupo juvenil e infantil de animales. En contraste, los cambios de ajuste en la dentición se vieron más pronunciados en los grupos de edad más madura (tabla 2). Las adaptaciones de la dentición fueron analizadas con relación a la migración normal de la dentición en cada edad, puesto que el movimiento dentario que ocurría durante el período II también hubiese podido ser relacionado con los patrones de crecimiento normal, así como también a las condiciones del experimento.

Segmentos bucales.—Las adaptaciones en los segmentos bucales de la mandíbula presentaban un interés principal, puesto que en la migración mesial inducida experimentalmente de los molares inferiores podría presentarse

un cambio aparente en la relación intermaxilar. El movimiento mesial de los segmentos bucales inferiores, que podrían ser atribuidos a la presencia de los aparatos, se presentaron únicamente en animales específicos de los grupos II, III y IV. Por ejemplo, el animal **II C** presentaba una migración molar inducida de 0.5 mm. hacia mesial, mientras que los dos otros monos de este grupo no presentaban una alteración apreciable en el patrón de migración mesial. Tres de los seis animales adolescentes y adultos presentaban un movimiento mesial de los segmentos bucales. Puesto que la migración mesial es habitualmente mínima a estos niveles de maduración, la mayor parte de este movimiento fue interpretada como inducido experimentalmente. En contraste, el movimiento de los segmentos bucales del grupo infantil no presentaba un valor estadísticamente significativo comparado con los valores de niveles de control (tabla 2). Únicamente en un animal adulto (**IV A**) se observó que el cambio resultante en la relación de los molares fue inducida por la migración mesial experimental de los segmentos bucales inferiores.

Caninos.— Las modificaciones más significantes en la posición de la dentición se observaron principalmente en las zonas anteriores, particularmente, en los monos adultos y adolescentes (tabla 2). Durante el período de control, los caninos inferiores en los animales de control erupcionan y se mueven hacia mesial y hacia oclusal. En el proceso de adaptación al aparato los caninos permanentes de los grupos III y IV se vieron inclinados hacia adelante y hacia abajo para acomodarse al espesor del aparato que se hallaba entre los caninos inferiores y superiores. Por lo tanto, la reposición de la mandíbula en una posición anteroposterior relativamente normal fue llevada a cabo a través de la inclinación de los caninos (Fig. 5). Esto ocurrió en el animal **III C** y posiblemente en el animal **IV B**.

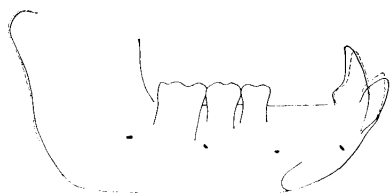


Fig. 5.—Crecimiento de la mandíbula en un animal experimental adulto (**IV b**) durante los períodos experimental y de control. Nótese el movimiento hacia delante y hacia abajo de los caninos y el movimiento de compensación de los incisivos. En este animal los segmentos bucales eran estables.

En contraste con los animales más viejos, los infantiles y juveniles no presentaron un aumento apreciable en la migración mesial de los caninos. De todas formas, se observó un ligero descenso en la altura vertical, primariamente debido a la abrasión oclusal y distal, que es propia de los caninos temporales, que son menos duros.

ADAPTACION OROFACIAL.

Incisivos.—Los incisivos de todos los animales se adaptaron de la misma forma. El patrón normal anteroposterior de migración se vio alterado de forma que la migración vertical aumentó mientras la migración hacia adelante se vio inhibida (Figs. 4,5; tabla 2). Este patrón de movimiento de incisivos fue debido en parte a los dos milímetros de aumento de la dimensión vertical a causa del uso del aparato. Los incisivos inferiores se movieron hacia oclusal para cerrar el espacio y ocluir con sus antagonistas.

Adaptaciones en el complejo maxilar

También se observaron adaptaciones específicas esqueléticas y dentales en la región maxilar en cada uno de los grupos de edad. Se vio que cualquier inhibición del movimiento efectivo hacia adelante y hacia abajo del complejo maxilar colaboraba en la presentación de una relación molar de clase III.

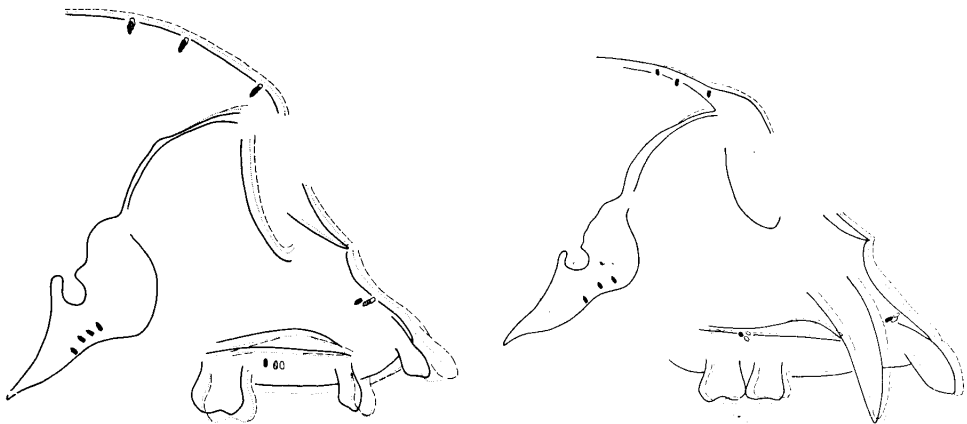


Fig. 6

Fig. 7

Fig. 6.—Crecimiento del complejo maxilar en un animal experimental joven (II b) durante los períodos experimental y de control. Nótese la alteración del vector del crecimiento maxilar indicado por los movimientos de los implantes pre-maxilares y maxilares. El implante sólido indica la posición al principio del período de control; el implante punteado indica el principio del período experimental, y el implante trazado indica el fin del período experimental. Nótese también la efectiva disminución en las migraciones hacia delante y hacia abajo de la cúspide y molar maxilares durante el período experimental.

Fig. 7.—Crecimiento del complejo maxilar en un animal experimental adolescente (III a). Nótese el pequeño desplazamiento superior del complejo maxilar durante el período experimental, indicado por el movimiento de los implantes maxilar y pre-maxilar.

El aumento de crecimiento hacia abajo o hacia adelante era antagonista con el resultado que se esperaba en el experimento.

Adaptaciones esqueléticas maxilares.—El desplazamiento del complejo maxilar asociado con el crecimiento sutural se determinó midiendo la traslación de los implantes maxilares en relación con los implantes de la base craneal anterior. En todos, exceptuando tres de los monos experimentales, se notó un **descenso** en el **desplazamiento vertical** del complejo maxilar (Fig. 6, 7; tabla 3). Por ejemplo, el descenso promedio vertical de los implantes maxilares en los grupos I y II era de un 35-50 por 100 menos que los valores del nivel de control (tabla 3). En los grupos III y IV, que normalmente presentaban un desarrollo vertical más disminuido, se observó una inhibición del descenso maxilar, y en algunos casos el maxilar superior se vio desplazado ligeramente hacia arriba (Fig. 7, tabla 3). Este cambio reverso en el patrón de crecimiento se puede relacionar primariamente con las alteraciones en la dimensión vertical, más con los cambios en el sentido anteroposterior.

Las adaptaciones verticales a las alteraciones en el ambiente intraoral se pueden considerar aún incluso más pronunciadas en las zonas anteriores. Durante el período de control, esta región del arco maxilar normalmente se veía movida horizontalmente con un movimiento mínimo pero variable en el sentido vertical. Al final del período experimental el implante premaxilar se vio desplazado hacia arriba en todos los grupos de edad y en mayor grado que el implante maxilar (tabla 3; Figs. 6 y 7). El desplazamiento resultante diferencial acentuaba la rotación normal contraria a las agujas del reloj del complejo maxilar y consecuentemente el plano palatino se vio inclinado hacia arriba en su zona anterior.

Las condiciones experimentales afectaron la **traslación horizontal** del complejo maxilar en todos los animales, excepto en el animal **IV C**, pero la expresión de este efecto era variable entre todos los animales. Cinco monos demostraron un desplazamiento hacia adelante disminuido. En seis animales se observó un desplazamiento aumentado. Esta variación puede ser relacionada con la naturaleza específica del esfuerzo funcional a que se vio sometido el arco maxilar en cada uno de los animales.

Cambios dentales maxilares.—El aparato tuvo poco efecto sobre los segmentos bucales de los animales adolescentes y adultos por la migración mínima que ocurre en estos animales en los dientes posteriores a estos niveles de edad y también a causa de la cantidad de superficie radicular que se veía envuelta en el experimento. De todas formas, se observaron adaptaciones dentales evidentes en el grupo más joven de animales. En los tres animales juveniles se vio una reducción en la migración hacia abajo de los segmentos

ADAPTACION OROFACIAL.

bucales en relación con los implantes maxilares. Por otra parte, se observó una migración mesial reducida de los segmentos bucales en tres monos del grupo infantil y uno juvenil. Esta inhibición de movimiento dentario era consistente con el resultado que se esperaba del experimento.

También se observaron adaptaciones en los dientes anteriores en todos los grupos de edad. La migración hacia abajo de los incisivos se observó aumentada, así como la migración hacia adelante de éstos se vio disminuida. Este movimiento dentario compensatorio, que era similar al de los incisivos inferiores, se puede considerar de nuevo como un intento de reestablecer el plano oclusal.

Aspecto general

No se puede considerar la existencia de ningún proceso adaptativo por sí solo que pudiese ser aislado e identificado como la causa única de cualquier alteración efectiva en la relación maxilo-mandibular en ninguna de las distintas edades. Podemos afirmar con más propiedad que cada una de las relaciones resultantes estaba compuesta por las adaptaciones complementarias (y ocasionalmente antagonistas), que existen en el complejo craneofacial.

La naturaleza y la extensión de las adaptaciones varían con la edad y también entre los animales del mismo grupo de edad. Las adaptaciones mandibulares pueden considerarse primariamente de tipo esquelético en naturaleza en los animales más jóvenes (grupos I y II), mientras que los movimientos dentarios compensadores se hicieron más significativos conforme la maduración de estos animales iba aumentando. El efecto primario de las condiciones experimentales en la parte media de la cara se observó en la cantidad y la dirección del crecimiento de los componentes esqueléticos del arco maxilar. Esto se observó que ocurría en todos los niveles de edad. Los cambios dentales en el maxilar fueron limitados primariamente a los animales jóvenes, puesto que los segmentos bucales de los grupos adolescentes y adultos fueron, por norma general, estables.

3. CRECIMIENTO MICROSCOPICO Y ADAPTACION

El aspecto histológico de la articulación temporomandibular de dos animales experimentales en cada grupo fue analizado y comparado con los animales de control de esta misma edad. Los ocho animales experimentales fueron sacrificados trece semanas después del comienzo del período experimental.

Grupo I

Se observó una deposición generalizada de hueso a lo largo del borde anterior de la espina postglenoidea y dentro de la propia fosa glenoidea.

El borde posterior de la espina, que normalmente presenta deposición, presentó una evidencia de poseer una deposición en el animal **II B**, pero presentaba una reabsorción en el animal **I C**. Se pudieron identificar también áreas de reabsorción a lo largo de los dos tercios inferiores del borde posterior. También se notó actividad reabsortiva en la eminencia articular en ambos animales; en uno, a nivel de la cresta de la eminencia, y en el otro, a lo largo de la vertiente posterior.

No se observó ninguna desviación clara en la estructura histológica en el cóndilo mandibular. El cartílago condilar era de tipo proliferativo en carácter, pero no en cantidad, y presentaba un ligero aumento de espesor cuando se comparaba con los animales de control de la misma edad. La reabsorción perióstica y la deposición endóstica también fueron observadas en la inserción del músculo pterigoideo lateral en la cabeza condilar, hecho que también se había observado en los animales de control.

Grupo II

La deposición de hueso ocurrió a lo largo de los bordes posterior y superior de la espina postglenoidea, mientras que las respuestas reabsortivas fueron evidentes en el propio extremo de esta espina. La superficie de la fosa en general era de tipo de deposición, así como también la eminencia articular contigua presentaba las mismas características. En el animal **II C** se observó una área de reabsorción periosteal de superficie localizada en la porción lateral de la vertiente posterior de la eminencia. Esta área también fue observada en uno de los animales de control.

De particular interés fue la aparición de condrocitos en la cresta de la eminencia articular situados profundamente con respecto a la superficie fibrosa articular. Estas células habitualmente tienen aspecto de fibroblastos en este grupo de edad. Los condrocitos se observaron en esta región en uno de los animales experimentales y también en mayor cantidad en dos de los monos de control.

La morfología de las estructuras condilares en los animales experimentales no pudo tampoco ser diferenciada de la que presentaban los animales de control. La reabsorción perióstica y la deposición fue evidente en la área de la inserción del pterigoideo lateral.

ADAPTACION OROFACIAL

Grupo III

Si bien los condrocitos sobre la cresta de la eminencia articular presentaban una hipertrofia en el animal **III B**, en cuatro de los seis animales de control también apareció una serie de condrocitos hipertróficos del mismo aspecto histológico (Fig. 8). El animal **III C** presentaba una proliferación de fibrocar-

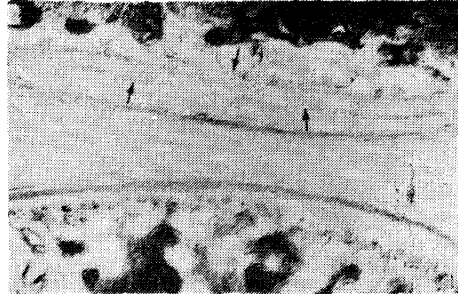


Fig. 8.—Condrocitos hipertróficos en la cresta de la eminencia articular (ver flechas) en un animal experimental adolescente (**III b**). Una ocurrencia similar se vio en varios animales de control del mismo nivel de edad. Hematoxilina y eosina (16x).

tílago pequeña a la altura de la eminencia. La espina postglenoidea presentaba una deposición ósea tanto anterior como posteriormente, excepto en la área del propio extremo de la espina que presentaba una reabsorción. No se observaron áreas de reabsorción dentro de la fosa o a lo largo de la eminencia. Los diversos componentes de la articulación en este intervalo de tiempo no pudieron ser diferenciados en este grupo de los del grupo de especímenes no tratados.

Grupo IV

Los dos animales experimentales (**IV B** y **IV C**) y el animal de control sacrificado (**IV F**) eran monos jóvenes adultos, y sus zonas de cartílago condilar aún eran identificables. El tejido fibroso articular aún no había reemplazado

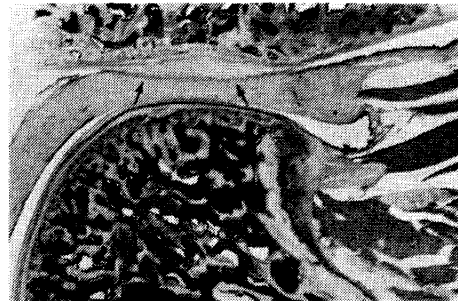


Fig. 9.—Articulación temporomandibular de un animal experimental adulto. Nótese el aumento en el grosor de la cubierta fibrosa en la eminencia articular (ver flechas). Un aumento en el grosor similar de esta superficie se observó también en un animal de control. Hematoxilina y eosina (8x).

al cartílago, cosa que ya estaba ocurriendo en dos de los otros animales de control más viejos.

La característica histológica más remarcable en el grupo IV fue la aparición de células de cartílago en las capas más profundas de la eminencia articular y también un espesamiento de la cubierta fibrosa articular sobre la eminencia (Fig. 9). Esto se presentó particularmente aparente en el animal **IV C**, pero también fue igualmente evidente en uno de los animales de control. En ninguno de los animales experimentales se observó ninguna evidencia patológica.

DISCUSION

Los estudios experimentales que hasta el momento presente se habían efectuado sobre monos han demostrado que la producción de desproporciones experimentales controladas, las cuales alteran el panorama orofacial, pueden dar como resultado cambios esqueléticos específicos. Häupl y Psansky³, Derichsweiler⁵ y Joho⁸, entre otros, creen que las adaptaciones producidas experimentalmente en los diferentes elementos esqueléticos se hallaban afectados, eran debidas a las alteraciones que se producían al mismo tiempo en la musculatura asociada. Por lo tanto, la denominada «naturaleza funcional» de las adaptaciones orofaciales se puede considerar aún esencialmente poco conocida y se puede decir que se han hecho muy pocos estudios que consideren simultáneamente las adaptaciones que ocurren con el sistema neuromuscular.

En el estudio presente se han descrito las adaptaciones neuromusculares y esqueléticas resultantes de la modificación experimental del ambiente oral en los monos Rhesus («Macaca Mulatta»), que se hallaban en distintos niveles de maduración. Para ello se diseñó un aparato oclusal que alteraba los estímulos sensorios orales, induciendo subsecuentemente una posición anterior de la mandíbula durante los movimientos funcionales de ésta. Mientras los procesos adaptativos y las respuestas mencionadas anteriormente son de un tipo bastante complicado, se han podido, en cambio, reconocer dos tipos generales de respuestas adaptativas: Adaptaciones en el sentido anteroposterior de la parte media de la cara y de las dimensiones mandibulares y adaptaciones en sus dimensiones verticales.

ADAPTACIONES ANTEROPOSTERIORES

El cierre de la mandíbula después de que había cambiado la configuración oclusal inicialmente alteraba los estímulos exteroceptivos y propioceptivos

ADAPTACION OROFACIAL

de las áreas orofaciales afectadas (Fig. 10). El aparato fue diseñado de forma que el mono tenía que aprender a posicionar su mandíbula anteriormente para conseguir un cierre de ésta que fuese efectivo. De esta forma se inte-

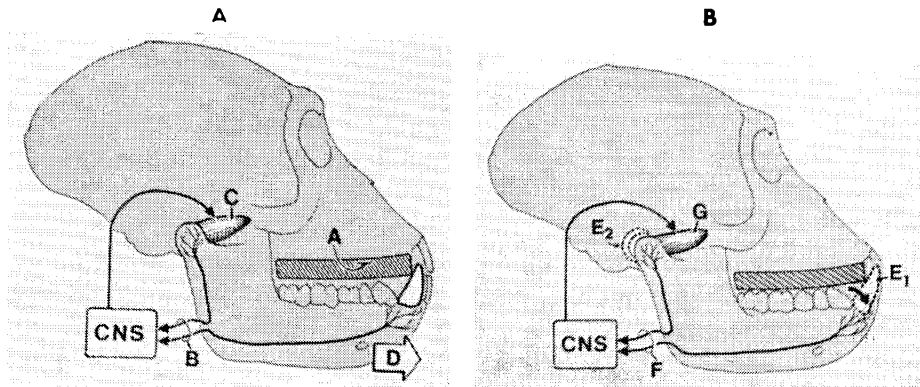


Fig. 10.—Adaptaciones anteroposteriores. **(A)** Colocación del aparato. **(B)** Alteraciones en estímulos exteroceptivo y propioceptivo, representados por receptores en la dentición y en la articulación temporomandibular, se transmite al sistema nervioso central (CNS). **(C)** Este cambio en los estímulos sensoriales finalmente resulta en un patrón complejo de una función neuromuscular alterada, representada esquemáticamente por la contracción de la cabeza superior del músculo lateral pterigoideo. **(D)** Esto resulta en una posterior posición funcional de la mandíbula. La naturaleza de las adaptaciones esqueléticas depende del nivel de maduración del animal. **(E₁)** Una de las adaptaciones de dentición observadas en animales maduros. **(E₂)** Uno de los cambios esqueléticos que ocurren en animales más jóvenes. **(F)** Alteraciones en estímulos sensoriales orales ocurren también y dan como resultado **(G)** una renuncia en las correspondientes compensaciones neuromusculares y el desarrollo de patrones musculares más eficientes.

rrumpieron los patrones existentes de la actividad funcional musculoesquelética y oclusal y se condicionaron modificaciones en la actividad neuromuscular.

Desarrollo de los patrones funcionales modificados

Se identificaron modificaciones específicas en la actividad funcional. En primer lugar se detectó electromiográficamente un cambio en la función que manifestaba un aumento de actividad en la cabeza superficial del músculo masetero. El masetero en el «Macaca Mulatta», de la misma forma que en el hombre, está biomecánicamente dispuesto para efectuar un movimiento protrusivo de tipo moderado¹⁹. También se observó una participación disminuida de la porción posterior del músculo temporal. Esta alteración en la

JAMES A. McNAMARA

actividad muscular facilitaba el deslizamiento del patrón de cierre de la mandíbula, cosa que se observó durante la primera parte del período experimental.

Gradualmente la mandíbula se observó que se colocaba de una forma refleja en una postura más adelantada de forma que evitase en el momento de cerrar la interferencia con el aparato y en consecuencia el trauma oclusal. Concurrentemente, la cabeza superior del pterigoideo lateral aumentó gradualmente en actividad, con descargas que se hicieron evidentes en los movimientos funcionales y durante el mantenimiento de la posición postural de la mandíbula (Fig. 10). La frecuencia de las descargas tónicas aumentaron en los registros sucesivos y habitualmente conseguían un máximo a partir de la cuarta hasta la octava semana.

La cabeza inferior del pterigoideo lateral no se estudió específicamente durante la fase experimental de este proyecto. De todas formas, se efectuaron registros ocasionales de la cabeza inferior que no revelaron ninguna evidencia de hiperactividad o función alterada en la cabeza inferior de este músculo. Los patrones distintos de actividad fueron registrados separadamente de ambas cabezas, lo cual indicaba que probablemente no ocurría un desdoblamiento de actividad entre una cabeza y la otra durante los registros electromiográficos.

McNamara¹⁷, en un estudio efectuado sobre la función normal del pterigoideo lateral en el «Macaca Mulatta», sugiere que las dos cabezas de este músculo son funcionalmente independientes. La cabeza superior del pterigoideo lateral en el mono Rhesus es la única porción de este músculo que se halla activa eléctricamente durante los movimientos de cierre, mientras que la cabeza inferior, con una orientación hacia abajo, es activa durante los movimientos de apertura. La cabeza posterior presumiblemente asiste en la traslación de la cabeza del cóndilo en el sentido anterior, hacia abajo y contralateralmente durante los movimientos en los cuales la cabeza condilar se ve movida libremente con relación a la eminencia articular.

McNamara postula que existe una ligera contracción de la cabeza superior durante los movimientos de cierre que puede estabilizar la cabeza condilar y el disco articular, conservándolos a ellos sincronizados el uno con el otro durante el movimiento contra la eminencia articular especialmente durante movimientos determinados, como son la masticación o la deglución. Sugiere además que una contracción aumentada de la cabeza superior puede mover el disco articular, la cabeza articular y la cápsula articular anteriormente y ligeramente hacia arriba, probablemente contra superficies posterior e inferior de la eminencia articular.

ADAPTACION OROFACIAL

En este estudio la cabeza superior del pterigoideo lateral parecía asumir un papel activo en la determinación de la posición en el sentido anteroposterior de la mandíbula. La posición adelantada que se observó en la mandíbula podría ser el resultado de las contracciones de esta cabeza superior. Esas contracciones podrían haber posicionado (o rotado) anteriormente y estabilizado el disco articular y la cabeza del cóndilo a lo largo de la eminencia articular.

Los hallazgos de otros experimentos en nuestro laboratorio tienden a mantener la creencia de que la cabeza superior del pterigoideo lateral puede ser el determinante principal de la posición mandibular anteroposterior. En un estudio no publicado de la función retrusiva de la mandíbula inducida experimentalmente en los monos aumentaba la actividad en la cabeza superior del pterigoideo lateral. Presumiblemente, esta actividad aumentada reflejaba un intento de este músculo para prevenir el desplazamiento posterior del cóndilo mandibular y del disco articular durante los movimientos funcionales. De todas formas, en otro estudio llevado a cabo con un aumento de la dimensión vertical en monos²⁰, no se observó una hiperactividad en la cabeza superior durante los movimientos funcionales después de que la mandíbula había sido rotada inferiormente de dos a quince milímetros con muy poca alteración anteroposterior en la posición del cóndilo. Finalmente, en un estudio publicado sobre monos a los cuales se les había extraído todos los dientes experimentalmente, la cabeza superior del pterigoideo lateral se hizo altamente activa. En este caso, la cabeza superior presumiblemente funcionaba como estabilizador de los elementos condilares, quizá en un intento de regular y mantener la posición y orientación anteroposterior y mediolateral de la mandíbula. Este aumento de actividad de la cabeza superior del pterigoideo lateral puede ser necesaria en los animales desdentados para compensar la pérdida de los estímulos exteroceptivos que normalmente proceden de la dentición.

En los citados experimentados y en el estudio presente el aumento de actividad de la cabeza superior del pterigoideo lateral fue asociado con un cierto cambio en la posición horizontal de la mandíbula, pero no se observó en ninguna de las alteraciones rotacionales o verticales de su posición funcional. Esta actividad diferencial puede indicar que en la cabeza superior del pterigoideo lateral no estabiliza únicamente el disco articular y la cabeza del cóndilo durante los movimientos normales de cierre, sino que también puede actuar como **posicionador** del cóndilo y del disco articular a lo largo de la superficie articular del hueso temporal asistiendo, de esta forma en la regulación y mantenimiento de la orientación anteroposterior de la mandíbula.

Mecanismos de la función modificada

El establecimiento y mantenimiento de la relación mandibular anteroposterior y mediolateral no sólo dependen de los receptores de la articulación temporomandibular y de la mandíbula, sino también de los receptores del ligamento periodontal, de la lengua, del paladar y de otras estructuras orofaciales. Moyers¹⁸ dice que la relación céntrica y otras relaciones mandibulares son definidas únicamente con carácter de precisión después de la erupción completa de los dientes. Los impulsos sensitivos que proceden de los receptores periodontales pasan a través del tracto mesencefálico del nervio trigeminal hasta niveles subcorticales o corticales, donde juntamente con estímulos procedentes de la articulación, de la musculatura y de otros receptores orales pueden influenciar las respuesta motora de los músculos masticatorios.

En el estudio presente, cuando la mandíbula fue elevada en posición de cierre, los caninos mandibulares inicialmente contactaban con la oclusión elevada por el aparato en una inclinación angular con respecto al eje longitudinal del diente. Seguidamente la mandíbula se veía guiada anteriormente durante el cierre ayudada por los caninos que se deslizaban a lo largo de los planos inclinados del aparato. Se ha demostrado que los receptores periodontales son más sensibles al esfuerzo lateral que al axial²¹⁻²². Probablemente, para evitar las interferencias oclusales, los estímulos procedentes de los mecanorreceptores periodontales y también de los receptores articulares y musculares pueden haber precipitado el desplazamiento anterior de la mandíbula. El aumento de actividad en la cabeza superior del pterigoideo lateral puede ser una manifestación de un reflejo (primero, no condicionado, y después, condicionado) que ayudaba al animal a adaptarse a los cambios experimentales que se le habían efectuado en su ambiente intraoral.

La posición adelantada de la mandíbula puede ser también una respuesta secundaria a las alteraciones en el volumen oral causadas por el aparato y la subsiguiente alteración en la posición de la lengua²³⁻²⁴. Durante los primeros días del experimento la mandíbula se veía descendida, probablemente para permitir el mantenimiento del paso aéreo para la respiración, alterando con ello la posición de la lengua. Conforme iban ocurriendo cambios adaptativos funcionales, la lengua, así como también la mandíbula, se fueron posicionando anteriormente, no únicamente para establecer una posición funcional más eficiente para los movimientos mandibulares, sino también para mantener un volumen adecuado para la función lingual.

ADAPTACION OROFACIAL

Correlación de las adaptaciones esqueléticas y neuromusculares

La desaparición progresiva de los patrones neuromusculares modificados, como los que se observaron en el pterigoideo lateral, también deben ser considerados. La cantidad de actividad en la cabeza superior de este músculo puede ser directa o indirectamente correlacionada con las adaptaciones graduales esqueléticas que resultaron de los procedimientos experimentales (Fig. 10).

Sin embargo, al final de los experimentos parece como si la mayoría de los animales se hubiesen adaptado esqueléticamente a los cambios experimentales. Cefalométricamente, los cóndilos mandibulares consiguieron su relación anatómica original de orientación en la fosa glenoidea del hueso temporal. El ajuste estructural que permitió el restablecimiento de esta relación no fue únicamente localizada en una área de la cara, sino que podía considerarse un conjunto de los muchos ajustes esqueléticos y dentales precedentes del complejo craneofacial. La naturaleza específica de estas adaptaciones esqueléticas puede considerarse directamente relacionada con el nivel de maduración del animal. Por ejemplo en la mandíbula, se observó un movimiento dentario compensatorio en los grupos de animales adolescentes y adultos, mientras que en los dos grupos de edad más joven se observaban alteraciones en la cantidad y/o la dirección del crecimiento condilar (Fig. 10). En este estudio pareció que conforme se iban presentando adaptaciones esqueléticas, prescindiendo de su naturaleza específica, la necesidad de la función compensatoria por parte del músculo se vio reducida.

Esta interrelación entre la función muscular y las adaptaciones estructurales puede ser investigada más adelante interrelacionando los hallazgos del presente estudio con los que se han conseguido en otros estudios efectuados sobre esta materia. Correlacionado estos hallazgos, en **tiempo** de la aparición y desaparición de los patrones funcionales alterados puede ser relacionada con la cantidad y la extensión de las adaptaciones esqueléticas y dentales. En nuestro estudio inicial protrusivo¹⁰, en el cual el estudio presente está parcialmente basado, seis monos juveniles presentaron una alteración similar en la posición mandibular funcional durante un período de cinco meses. Se midieron los incrementos de crecimiento mensuales y, como en el presente estudio, se notó un significativo aumento, estadísticamente hablando, en la cantidad de crecimiento del cóndilo mandibular. De todas formas, la cantidad de crecimiento variaba con la longitud del intervalo de tiempo que existía después de la cementación del aparato. La proporción de aumento de creci-

miento en los animales experimentales tenía una cierta tendencia de presentarse durante los tres primeros meses con un máximo que se presentaba en el segundo mes. A los cuatro meses, de todas formas, la proporción de crecimiento de los animales experimentales no presentaban diferencias significativas con la de los animales de control.

Comparando los resultados mencionados anteriormente con los del presente estudio, es importante notar que la cantidad máxima de crecimiento esquelético en estos animales se presentó durante el segundo mes. Puede decirse que la actividad neuromuscular adaptativa máxima en el presente estudio se presentó inmediatamente antes o después de este período. El descenso en la proporción de adaptación en el crecimiento esquelético puede suponerse como una indicación de la restauración del equilibrio estructural después del cuarto mes. La actividad de la cabeza superior del pterigoideo lateral también se vio reducida en este período. De todas formas, el hecho de que la actividad inducida del pterigoideo lateral no hubiese desaparecido en todos los animales al final del período experimental, también indica que el crecimiento esquelético compensatorio aún no se hallaba completo en alguno de estos animales.

Correlación de los hallazgos neuromusculares y microscópicos

Charlier ²⁵ y Petrovic y Stutzmann ²⁶ sugieren que el crecimiento condilar puede depender de una estimulación funcional, especialmente procedente del músculo pterigoideo lateral. Charlier ²⁵ ha notado que el crecimiento direccional del cóndilo mandibular en el hombre coincide con la tracción del pterigoideo lateral, cuya inserción posterior se halla adyacente al cartílago condilar. Charlier y Petrovic ²⁷ han reportado que el cartílago condilar en las ratas no parece tener un crecimiento independiente cuando se halla aislada de las estructuras que habitualmente la rodean. De todas formas, Vogel y Pignanelli ²⁸, Charlier ²⁵ y Charlier y asociados ²⁹ han reportado que el cartílago condilar puede reaccionar a fuerzas que lo estimulen funcionalmente con un crecimiento aumentado de este crecimiento mandibular. La posición adelantada de la mandíbula lleva como consecuencia un crecimiento aumentado de las células de la capa proliferativa del cartílago condilar.

Stockli y Willert ⁹, en un estudio histológico de la posición funcional protrusiva en monos jóvenes, notaron la evidencia de ciertas adaptaciones estructurales en la cabeza del cóndilo con intervalos de tiempo específicamente determinados. La proliferación aumentada del cartílago condilar y la osificación endocondral aumentada también se observó a la tercera semana y me-

ADAPTACION OROFACIAL

día y a la séptima semana, respectivamente. De todas formas, no se observó evidencia de alteraciones en la respuesta tisular ni a partir de la diecisiete semana o cualquiera de los intervalos de tiempo después de esta fecha. Stockli y Willert sugieren la hipótesis de que todos los animales experimentales presentaban la misma secuencia de respuesta tisular, pero toda la evidencia de las adaptaciones ocurridas desapareció por medio de procesos de remodelación interna que habitualmente ocurren.

En el presente estudio las articulaciones temporomandibulares del grupo juvenil de animales experimentales no presentaba ninguna evidencia de respuesta tisular inducida experimentalmente. De todas formas, el período experimental fue de suficiente duración como para presentar un proceso de remodelación interna similar al que describen Stockli y Willert en su investigación, de forma que esto podría enmascarar cualquier evidencia de respuestas adaptativas transitorias. También es posible que los procesos adaptativos fuesen de tal naturaleza que en ningún período hubiesen podido ser diferenciados de cualquiera de los procesos de crecimiento normal. Enlow³⁰ ha demostrado que en las relaciones alteradas estructuralmente pueden presentarse pequeños cambios vectoriales durante el crecimiento. También, los procesos adaptativos no es necesario que incluyan aumentos diferenciales en la proliferación del cartílago en la osificación endocondral y en el remodelado interno. Si todos estos procesos ocurren a una proporción relativamente igual, sería difícil diferenciar entre los mecanismos normales del crecimiento y los adaptativos, en el caso que dichas diferencias existan realmente.

De todas formas, si Stockli y Willert han identificado un mecanismo adaptativo específico en un nivel microscópico, esto de nuevo presenta una correlación cronológica con las proporciones de crecimiento esquelético descritos por Elgoyhen y colaboradores¹⁰ y con la aparición y desaparición de la función posicionadora de la cabeza superior del músculo pterigoideo lateral registrado en el presente estudio. La alteración inicial en la función muscular pareció estar asociada directamente con los cambios experimentales inducidos en el ambiente oral. La función neuromuscular se vio interrumpida y seguidamente se reorganizó para compensar la alteración en la estructura. Seguidamente, conforme el equilibrio esquelético se iba recuperando a través de las adaptaciones estructurales específicas, la neuromusculatura comenzó a reestablecer patrones funcionales más eficientes.

En los ejemplos arriba citados el aumento en el crecimiento condilar en los animales jóvenes fue relacionado con la posición adelantada de la mandíbula. Desde luego, ésta es únicamente una de las formas de adaptación esquelética. La naturaleza específica y la localización de las adaptaciones es-

queléticas y dentales variaban de acuerdo con el **nivel de maduración** del animal experimental.

En un estudio similar sobre el desplazamiento mandibular en el mono «macacus», Hiniker y Ramfjord⁷ concluyen que las articulaciones temporomandibulares del mono adulto eran muy estables y muy resistentes al cambio de las relaciones oclusales y al traumatismo. Ambos confirman que las adaptaciones microscópicas en la articulación eran «insignificantes, no progresivas y posiblemente reversibles sin tratamiento». También se notaron hallazgos similares en los animales experimentales adultos en el estudio presente. No se observó una evidencia en alteraciones en los patrones de remodelación y tampoco se registraron hallazgos histopatológicos.

Los resultados de la porción microscópica en la presente investigación tienen consistencia con los estudios anteriores y sugieren que la estructura histológica de la articulación temporomandibular es **estable** y resistente a los cambios en la función. Estos resultados, de todas formas, están de acuerdo con estudios que sugieren que la articulación temporomandibular **responde** a las alteraciones funcionales. El principal factor, y a ello le damos mucha importancia, es el nivel de **edad** del animal experimental en cuestión. En otras palabras, un estímulo que puede conducir a cambios adaptativos en un tiempo determinado puede ser totalmente ineficaz en un período más posterior del desarrollo.

ADAPTACIONES VERTICALES

La colocación del aparato sobre la dentición maxilar no causó únicamente una alteración en el equilibrio horizontal, sino que también resultó en un

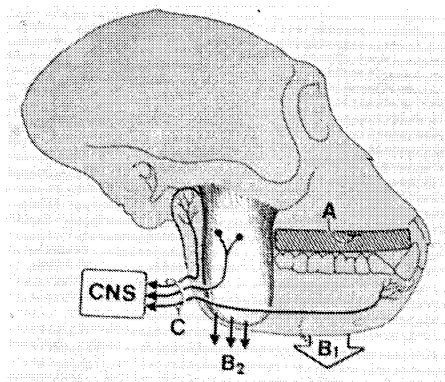


Fig. 11.—Adaptaciones verticales. Colocación del aparato (A) resulta en (B₁) una rotación hacia abajo y un poco hacia atrás de la mandíbula y (B₂) una elongación de la musculatura asociada. La sensación oral es nuevamente alterada (C) representada por los receptores sensoriales en la dentición, la musculatura y la articulación temporomandibular.

ADAPTACION OROFACIAL

aumento inmediato y efectivo en la altura estructural del complejo maxilar (figura 11). Esto alteraba la relación vertical maxilomandibular, por cuanto necesitaba un movimiento hacia abajo y una rotación posterior de la mandíbula. La rotación mandibular resultaba en una elongación o alargamiento de parte del tejido blando insertado entre la mandíbula y las estructuras superiores craneofaciales y también resultaba en un acortamiento efectivo de otras. A esta reposición de los elementos óseos se pueden anticipar dos respuestas a cargo de los tejidos blandos; un «remodelamiento» del tejido conjuntivo asociado y alteraciones en la función neuromuscular.

Alteraciones en la función neuromuscular

El efecto del desequilibrio vertical en la neuromusculatura se expresó en dos sentidos. Inicialmente, el esfuerzo funcional que se colocó sobre las estructuras orofaciales se vio reducida por hipo e hiperactividad en grupos selectos de ciertos músculos.

Por ejemplo, la hiperactividad observada en el grupo muscular suprahióideo probablemente tuviese una acción depresora de la mandíbula. Este cambio en la posición mandibular no permitía únicamente una posición adecuada de la lengua, sino que también tenía un efecto de reducir el traumatismo oclusal previniendo que los dientes inferiores contactasen con el suplemento oclusal del aparato en el maxilar superior. Es importante notar, de todas formas, que estas respuestas protectoras eran de una duración relativamente corta, dado que desaparecían dentro de la primera semana conforme la función se iba restableciendo.

De forma concurrente con la emergencia rápida de estas respuestas, las cuales disminuían el esfuerzo oclusal, se presentaban otros patrones caracterizados por un aumento en la actividad muscular y presumiblemente una sobrecarga oclusal aumentada. Por ejemplo, se observaba una actividad elevadora aumentada en funciones tales como deglución y en movimientos mandibulares diversos. Antes de cualquier función oral particular también se observó que el maxilar inferior con gran frecuencia estaba estabilizado contra el aparato. En contraste con las respuestas de protección, que desaparecían pronto en el experimento, este aumento en la frecuencia y la duración de la función elevadora persistía en cierto grado a lo largo de la duración del período experimental.

El efecto neto del desequilibrio esquelético vertical en la neuromusculatura era sensiblemente distinto del efecto que se ejercía horizontalmente. En la dimensión anteroposterior, los reflejos posicionales se veían aprendidos **gra-**

dualmente, resultando primariamente en una **contracción** condicionada a propósito de la cabeza superior del músculo pterigoideo lateral. En contraste, el aumento efectivo en altura del arco maxilar causaba una separación **inmediata** de las inserciones óseas de los músculos elevadores, los cuales, para la mayoría de ellos, presentaban una **elongación** de sus longitudes de situación en reposo (Fig. 11).

Mecanismos de la adaptación neuromuscular

Boos ³¹, entre otros, afirma que cualquier músculo o grupo de músculos que ha sido elongado más allá de los límites fisiológicos buscará o tenderá a reestablecer su homeostasis funcional. Tal mecanismo adaptativo implica:

1. Elongación de las propias fibras musculares ³².
2. Establecimiento de un mecanismo de retroalimentación neuromuscular alterado ¹.
3. Migración de las inserciones musculares a lo largo de las superficies óseas ³³⁻³⁴.
4. Presentación de dimensiones musculares cambiadas debidas al desplazamiento y rotaciones de los elementos óseos.

Este mecanismo fue específicamente estudiado en el presente estudio y se analizó el crecimiento resultante y el remodelamiento de los elementos óseos implicados. A causa de la localización de las inserciones de la musculatura elevadora, las adaptaciones esqueléticas resultantes se podían presentar en la mandíbula, el maxilar, la base craneal y en las áreas asociadas craneales. En este estudio, las dos áreas primeras fueron analizadas en detalle. El crecimiento del complejo maxilar (registrado sobre los implantes en la base craneal anterior) se vio muy afectada por las condiciones experimentales conforme el desplazamiento hacia abajo del maxilar se veía reducida o inhibida en el 75 por 100 de los animales. El deslizamiento hacia arriba de los molares mandibulares también se vio ligeramente reducida, mientras que la expresión del efecto del experimento sobre la dentición del maxilar superior fue variable. Las adaptaciones verticales eran menos evidentes en las zonas posteriores. En cuatro de los seis animales más jóvenes se observó un descenso en la proporción del crecimiento superior del cóndilo, pero este hallazgo puede ser relacionado con los cambios funcionales en la dimensión anteroposterior.

ADAPTACION OROFACIAL

Por lo tanto, se observó una evidencia de un **descenso** en la dimensión vertical como secuela de las respuestas esqueléticas relacionadas con el aparato. Mientras que un descenso de este tipo puede ser relacionado con la función muscular, el efecto sobre otros tejidos blandos también debe ser considerada. Conforme los elementos óseos iban siendo separados se iba también presentando un estiramiento de determinadas porciones del tejido conectivo asociado. Si estas sobrecargas fuesen creadas dentro de este tejido conectivo, este estiramiento pasivo del tejido conectivo también se puede considerar implicado en el complejo de retroalimentaciones de las adaptaciones esqueléticas, especialmente desde que la actividad muscular elevadora no era tan hiperactiva en los animales experimentales del presente estudio como en los animales en los cuales la alteración en la dimensión vertical era mayor en cantidad²⁰. Se puede considerar que ambas, función muscular y alteración pasiva de otros tipos de tejidos blandos, pueden ser asociadas directa o indirectamente, con adaptaciones esqueléticas en determinadas distancias en que ocurra una alteración o meostasis de los tejidos blandos.

CONSIDERACIONES GENERALES

La división en componentes verticales y anteroposteriores de las adaptaciones neuromusculares y esqueléticas observadas en este estudio es artificial, dado que tales cambios funcionales se presentaron en una forma interdependiente. Los cambios en altura facial, profundidad y anchura están altamente interrelacionados y las alteraciones en una dimensión o región del complejo craneofacial requieren necesariamente una cadena de cambios concomitantes en otras áreas.

Se han observado correlaciones en el **tiempo de presentación** de las respuestas esqueléticas y neuromusculares, si bien en este estudio no se pueden establecer relaciones directas de causa y efecto entre la función muscular y el crecimiento del hueso. De todas formas, se puede postular una secuencia general de adaptaciones (Fig. 10). Primero, los estímulos eteroceptivos y propioceptivos procedentes de la área orofacial se vieron alterados con la introducción del aparato. Los patrones funcionales existentes se vieron interrumpidos y reorganizados. Esto, en cambio, causó una alteración en la relación funcional maxilomandibular. Este cambio en el patrón funcional alteraba el ambiente orofacial de forma que se presentaron adaptaciones estructurales del tejido y eventualmente se recuperó un equilibrio anatómico. Conforme esto se presentaba, la función compensadora neuromuscular correspondiente

descendía y se iban desarrollando poco a poco otros patrones más eficientes funcionalmente.

Una interrelación de este tipo puede presentarse no sólo en una situación experimental, sino también durante el crecimiento normal. Pequeñas alteraciones en el equilibrio, en la estructura o función pueden dar como resultado procesos adaptativos compensatorios. Podemos suponer que existe un complejo mecanismo de retroalimentación en varios de los componentes esqueléticos y tejidos blandos del complejo craneofacial que tienen como misión regular y equilibrar la interacción del músculo y del hueso.

SUMARIO

El propósito de este estudio era investigar la naturaleza de las adaptaciones extrínsecas resultantes de la alteración experimental del ambiente orofacial. Se construyó una nueva configuración oclusal que modificaba los estímulos sensorios orales, y condicionaban una posición adelantada de la mandíbula de los monos Rhesus («Macaca Mulatta») durante los movimientos funcionales mandibulares en cuatro estadios definidos de su maduración. Se estudiaron las adaptaciones específicas, esqueléticas, dentales y neuromusculares y fueron interrelacionadas por medio de la electromiografía, radiografía cefalométrica seriada con implantes metálicos y análisis microscópico.

El estudio se dividió en dos períodos de tiempo. Durante el período de control de trece semanas se recogieron datos de crecimiento normal de los cuatro grupos de edad de la clasificación. Durante el período experimental de trece semanas fueron identificadas las alteraciones específicas neuromusculares y esqueléticas causadas por las condiciones experimentales. La actividad postural de los músculos masticatorios y probablemente la posición postural de la mandíbula también fueron alteradas por los cambios inducidos en el ambiente intraoral. La cabeza superior del pterigoideo lateral se vio que gradualmente iba descendiendo en actividad, primero durante los movimientos funcionales y más tarde durante el mantenimiento de la posición postural mandibular. La cabeza superior parecía funcionar como posicionador principal de la mandíbula en sus movimientos hacia mesial. Esta actividad descendía o desaparecía al final del experimento.

Al final del período experimental diez de los doce monos experimentales demostraron una alteración anteroposterior en la relación de los molares. No se pudo aislar ningún adaptativo, único, que pudiese ser identificado como la sola causa de cualquier alteración efectiva en la relación maxilomandibular en cualquiera de los niveles de edad. Más bien, cada relación resultante se podría

ADAPTACION OROFACIAL

considerar como compuesta de las adaptaciones complementarias específicas (y ocasionalmente antagonistas) del complejo craneofacial. Las adaptaciones esqueléticas mandibulares ocurrían principalmente en el grupo de monos infantiles y juveniles en los cuales la cantidad y dirección del crecimiento del cóndilo se vio alterada. Los ajustes dentales en la mandíbula se vieron más marcados en el grupo de animales adolescentes y adultos. En la área nasomaxilar se observó un descenso en el desplazamiento vertical del complejo maxilar y en todos, excepto tres de los animales experimentales. También se vio afectado el desplazamiento horizontal del complejo maxilar y del patrón de migración de la dentición maxilar, pero la expresión de este efecto se podía considerar variable.

Después de trece semanas se observó poca evidencia histológica o fisiológica o respuestas patológicas a la función protrusiva inducida en los animales que más tarde fueron sacrificados. Estos hallazgos histológicos tenían consistencia con los estudios anteriores, que sugieren que la articulación temporomandibular adulta es estable y resistente mientras que la articulación en crecimiento responde a los cambios funcionales.

Los resultados de este estudio indican además que existe una **correlación cronológica** entre la presentación y desaparición de la función neuromuscular alterada y el restablecimiento del equilibrio esquelético. Conforme el equilibrio esquelético se iba restableciendo a través de las adaptaciones estructurales específicas, la necesidad de la función muscular compensadora se veía reducida. Además la naturaleza y la extensión de las adaptaciones específicas, esqueléticas y dentales dependían del **nivel de maduración del animal**.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer la ayuda e información de los doctores Donald H. Enlow, Robert E. Moyers y Takayuki Kuroda.

La asistencia técnica fue proporcionada por Ms. M. Christine McBride y la asistencia editorial por Ms. Ruth Bigio, Mr. Gerald G. Davenport y Mr. Edward E. Sayer.

«Center for Human Growth and Development»
Department of Anatomy. The University of Michigan
Ann Arbor, Michigan 48104

BIBLIOGRAFIA

1. **McNamara, J. A., Jr.:** «Neuromuscular and skeletal adaptations to altered orofacial function», Monograph # 1, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 180 pages, 1972.
2. **Breitner, C.:** «Experimentelle Veränderung der mesiodistalen Beziehungen der oberen und unteren Zahnreihen». Ztschr. f. Stomatol., **28** : 343-356, 1930.
3. **Häupl, K. and R. Psansky:** «Experimentelle Untersuchungen über Gelenktransformation bei Verwendung der Methoden der Funktionskieferorthopaedie», Dtsche Zahn-, Mund- und Kieferheilk, **6** : 439-448, 1939.
4. **Hoffer, O. and G. L. Colico:** «Le modificazioni dell'A.T.M. conseguenti a spostamento mesiale della mandibola», Rass. Int. Stomatol. Prat., **9** : 27-40, suppl. # 4, 1958.
5. **Derichsweiler, H.:** «Experimentelle Tieruntersuchungen über Veränderungen des Kiefergelenkes bei Bisslageveränderung», Fortschr. Kieferorthop., **19** : 30-44, 1958.
6. **Baume, L. J. and H. Derichsweiler:** «Is the condylar growth center responsive to orthodontic therapy? An experimental study in "Macaca mulatta"», Oral Surg., Oral Med., Oral Pathol., **14** : 347-362, 1961.
7. **Hiniker, J. J. and S. P. Ramfjord:** «Anterior displacement of the mandible in adult rhesus monkeys», J. Prosth. Dent., **16** : 503-512, 1966.
8. **Joho, J.-P.:** «Changes in form and size of the mandible in the orthopaedically treated "Macaca irus" (an experimental study)», Trans. Europ. Orthod., **44** : 161-173, 1968.
9. **Stöckli, P. W. and H. G. Willert:** «Tissue reactions in the temporomandibular joint resulting from anterior displacement of the mandible in the monkey», Amer. J. Orthod., **60** : 142-155, Anthropol., **36** : 369-376, 1972.
10. **Elgoyhen, J. C.; R. E. Moyers, J. A. McNamara, Jr., and M. L. Riolo:** «Craniofacial adaptation to protrusive function in young rhesus monkeys», Amer. J. Orthod., **62** : 469-480, 1972.
11. **Ramfjord, S. P. and R. D. Enlow:** «Anterior displacement of the mandible in adult rhesus monkeys: long-term observations», J. Prosth. Dent., **26** : 517-531, 1971.
12. **Hurme, V. O. and G. Van Wagenen:** «Basic data on the emergence of permanent teeth in the rhesus monkey» ("Macaca mulatta"), Proc. Amer. Philo. Soc., **105** : 105-140, 1961.
13. **Björk, A.:** «The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application», Amer. J. Phys. Anthropol., **29** : 243-254, 1968.
14. **Elgoyhen, J. C.; M. L. Riolo, L. W. Graber, R. E. Moyers and J. A. McNamara, Jr.:** «Craniofacial growth in juvenile "Macaca mulatta": a cephalometric study», Amer. J. Phys. 1971.
15. **Kuroda, T. and J. A. McNamara, Jr.:** «The effect of ketamine and phencyclidine on muscle activity in non-human primates», Anesth. & Analg., **51** : 710-716, 1972.
16. **McNamara, J. A., Jr.:** «Restraint of monkeys for craniofacial research», J. Dent. Res., **52** : 183, 1973.
17. **McNamara, J. A., Jr.:** «The independent functions of the two heads of the lateral pterygoid muscle», Amer. J. Anat., in press.

JAMES A. McNAMARA

18. **Moyers, R. E.:** «Some physiologic considerations of centric and other jaw relations», *J. Prosth. Dent.*, **6** : 183-194. 1956.
19. **Grant, P. G.:** «Biomechanical analyses of the masticatory muscles of the rhesus macaque ("Macaca mulatta")», Doctoral Dissertation, University of California, Berkeley, 1972.
20. **McNamara, J. A., Jr.:** «Increasing vertical dimension in the growing face: an experimental study», *Amer. J. Orthodont.*, in press.
21. **Adler, P.:** «Sensibility of teeth to loads applied in different directions», *J. Dent. Res.*, **26** : 279-290, 1947.
22. **Ness, A. R.:** «The mechanoreceptors of the rabbit mandibular incisor», *J. Physiol.*, **126** : 475-493, 1954.
23. **Fish, S. F.:** «The respiratory associations of the rest position of the mandible», *Brit. Dent. J.*, **116** : 149-159, 1964.
24. **Bosma, J. F.:** «Human infant oral function». In: «Symposium on Oral Sensation and Proprioception», ed. J. F. Bosma. Charles C. Thomas, Springfield, 111, 1967.
25. **Charlier, J.-P.:** «Les facteurs mécaniques dans la croissance de l'arc basal mandibulaire à la lumière de l'analyse des caractères structuraux et des propriétés biologiques de cartilage condylien», *Orthod. Franç.*, **38** : 177-186, 1967.
26. **Petrovic, M. A. and J. Stutzmann:** «Le muscle ptérygoïdien externe et la croissance du condyle mandibulaire. Recherches expérimentales chez le jeune rat», *Orthodont. Franç.*, **43** : 271-285, 1962.
27. **Charlier, J.-P. and A. Petrovic:** «Recherches sur la mandibule de rat en culture d'organs: le cartilage condylien a-t-il un potentiel de croissance indépendant?», *Orthod. Franç.*, **38** : 165-175, 1967.
28. **Vogel, G. and M. Pignanelli:** «Indagini istochimiche sull'articolazione T. M. del Macacus rhesus in corso di trattamento gnato-ortopedico», *Rass. Int. Stomatol. Prat.*, **9** : 46-50, suppl. # 4, 1958.
29. **Charlier, J.-P.; A. Petrovic and J. Herrmann-Stutzmann:** «Effects of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of young rat condyle», *Amer. J. Orthodont.*, **55** : 71-74, 1969.
30. **Enlow, D. H.:** «The Human Face», Hoeber Medical Division, Harper and Row. New York, 1968.
31. **Boos, R. H.:** «Intermaxillary relation established by biting power», *J. Amer. Dent. Assoc.*, **27** : 1192-1199, 1940.
32. **Crawford, G. N. C.:** «An experimental study of muscle growth in the rabbit», *J. Bone & Joint Surg.*, **36 B** : 294-303, 1954.
33. **Enlow, D. H.:** «Functions of the Haversian system», *Amer. J. Anat.*, **110** : 269-306, 1962.
34. **Hoyte, D. A. N. and D. H. Enlow:** «Wolff's law and the problem of muscle attachment on resorptive surfaces of bone», *Amer. J. Phys. Anthrop.*, **24** : 205-214. 1966.

TABLE 1

Crecimiento esquelético mandibular de animales experimentales durante Período I (período de control) y Período II (período experimental). Estadísticas compiladas para tres animales por grupo.

MEASURES

	GROUP I						t stat	Signifi- cance
	Period I		Period II		Mean Difference			
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Condylion	3.24 mm	.44 mm	3.61 mm	.99 mm	0.37 mm	.59 mm	1.087	
Sup. Cond.	2.35	.79	1.95	1.06	-0.40	.89	-0.778	
Post. Cond.	2.29	.13	3.06	.37	0.77	.35	3.887	.03***
Ant. Border	-0.68	.24	-0.54	.29	-0.14	.11	-2.167	
Post. Border	2.28	.53	2.34	.84	0.06	.32	0.363	
C. R. O. Angle	-3.1°	4.4°	2.4°	3.1°	5.5°	1.0°	6.995	.01*

	GROUP II						t stat	Signifi- cance
	Period I		Period II		Mean Difference			
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	X	S. D.		
Condylion	1.94 mm	.51 mm	2.94 mm	.51 mm	1.00 mm	.11 mm	16.455	.002*
Sup. Cond.	1.15	.39	1.56	.29	0.41	.11	6.556	.01
Post. Cond.	1.81	.37	2.24	.38	0.43	.30	2.469	.07*
Ant. Border	-0.72	.31	-0.87	.22	-0.15	.51	-0.489	
Post. Border	1.48	.60	1.74	.15	0.26	.46	0.985	
C. R. O. Angle	-1.1°	1.6°	1.5°	1.5°	2.6°	.3°	1.579	

	GROUP III						t stat	Signifi- cance
	Period I		Period II		Mean Difference			
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Condylion	1.33 mm	.16 mm	0.92 mm	.93 mm	-0.41 mm	.77 mm	-0.445	
Sup. Cond.	0.88	.46	0.51	.70	-0.37	1.35	-0.681	
Post. Cond.	1.21	.85	0.87	.47	-0.34	.53	-0.383	
Ant. Border	-0.41	.40	-0.40	.36	0.01	.69	0.980	
Post. Border	0.62	.63	0.50	.41	-0.12	.24	-0.480	
C. R. O. Angle	0.6°	1.4°	0.8°	1.0°	0.2°	.1°	0.745	

	GROUP IV						t stat	Signifi- cance
	Period I		Period II		Mean Difference			
	X	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Condylion	0.24 mm	.41 mm	0.38 mm	.45 mm	0.14 mm	.04 mm	5.735	.01
Sup. Cond.	0.20	.35	0.28	.28	0.08	.17	0.829	
Post. Cond.	0.44	.38	0.23	.28	-0.21	.11	-3.295	
Ant. Border	-0.07	.07	-0.29	.27	.22	.20	1.889	
Post. Border	0.21	.12	0.12	.27	-0.09	.37	-0.419	
C. R. O. Angle	0.6°	.1°	0.1°	.6°	-0.5°	.1°	-0.762	

* also statistically significant from control group at .05 level
 ** also statistically significant from control group at .01 level
 *** also statistically significant from control group at .005 level

TABLE 2

Cambios dentales mandibulares en los animales experimentales durante el Período I y Período II.
Estadísticas compiladas para tres animales por grupo.

MEASURES

	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
	GROUP I							
Incisor Horiz.	1.03 mm	.29 mm	0.22 mm	.29 mm	0.81 mm	.59 mm	24.000	.001
Incisor Vert.	0.34	.28	0.71	.44	0.37	.54	1.184	
Cuspid Horiz.	0.79	.18	0.68	.36	-0.11	.20	-0.985	
Cuspid Vert.	0.41	.25	-0.14	.35	-0.55	.59	-1.592	**
Dec. Molar Horiz.	0.47	.20	0.60	.32	0.13	.15	1.511	
Dec. Molar Vert.	0.72	.48	0.23	.20	-0.49	.67	-1.276	*
GROUP II								
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Incisor Horiz.	0.68 mm	.58 mm	0.33 mm	.37 mm	-0.35 mm	.79 mm	-0.755	
Incisor Vert.	0.09	.05	0.87	.16	0.76	.21	6.506	.01*
Cuspid Horiz.	0.50	.23	0.52	.21	0.02	.33	0.869	*
Cuspid Vert.	0.27	.09	0.04	.24	-0.23	.32	-1.118	
1st Molar Horiz.	0.33	.15	0.48	.35	.15	.41	0.635	
1st Molar Vert.	0.27	.23	0.32	.37	.05	.30	0.327	
GROUP III								
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Incisor Horiz.	0.55 mm	.04 mm	0.39 mm	1.26 mm	-0.16 mm	1.24 mm	-0.225	
Incisor Vert.	0.00	.00	0.74	.54	0.74	.54	2.369	.07*
Cuspid Horiz.	0.92	.30	1.17	.06	0.25	.34	1.236	
Cuspid Vert.	0.97	1.20	-0.44	.30	-1.41	1.37	-1.782	
1st Molar Horiz.	0.09	.13	0.44	.28	-0.35	.19	3.228	.04**
1st Molar Vert.	0.07	.12	-0.03	.17	-0.10	.11	-1.686	**
2nd Molar Horiz.	0.18	.17	0.38	.22	0.20	.42	8.488	.02**
2nd Molar Vert.	0.08	.13	-0.19	.17	-0.27	.58	8.000	.01**
GROUP IV								
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Incisor Horiz.	0.14 mm	.20 mm	-0.26 mm	.27 mm	-0.40 mm	.36 mm	-1.939	.10
Incisor Vert.	0.00	.00	0.63	.04	0.63	.10	10.539	.005**
Cuspid Horiz.	0.07	.06	0.62	.40	0.55	.45	2.120	.08*
Cuspid Vert.	0.00	.00	-1.07	.34	-1.07	.34	5.461	.02***
1st Molar Horiz.	0.00	.00	0.17	.29	0.17	.29	1.000	
1st Molar Vert.	0.01	.02	0.12	.32	0.11	.31	0.589	
2nd Molar Horiz.	0.00	.00	0.16	.34	0.16	.34	0.825	
2nd Molar Vert.	0.00	.00	0.11	.44	0.11	.44	0.433	
3rd Molar Horiz.	0.00	.00	0.09	.22	0.09	.22	0.730	
3rd Molar Vert.	-0.04	.03	-0.11	.10	-0.07	.67	-1.857	

* also statistically significant from control group at .05 level
 ** also statistically significant from control group at .01 level
 *** also statistically significant from control group at .005 level

TABLE 3

Desplazamiento del complejo maxilar en los animales experimentales durante el Período I y el Período II. Estadísticas compiladas para tres animales por grupo.

MEASURES

	GROUP I							
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Premax. Imp. Horiz.	1.68 mm	.40 mm	1.54 mm	.38 mm	-0.14 mm	.31 mm	-0.787	
Premax. Imp. Vert.	0.28	.43	-0.04	.52	-0.32	.56	-0.360	
Max. Imp. Horiz.	1.28	.49	2.06	.63	0.78	1.16	1.163	
Max. Imp. Vert.	0.83	.44	0.41	.71	-0.42	.41	-1.531	
Palatal Descent	0.43	.20	0.50	.71	0.07	.81	0.072	

	GROUP II							
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Premax. Imp. Horiz.	1.40 mm	.38 mm	1.09 mm	.88 mm	-0.31 mm	.51 mm	-0.860	
Premax. Imp. Vert.	0.05	.07	-0.56	.13	-0.61	.59	-14.600	.02**
Max. Imp. Horiz.	1.61	.22	1.44	.97	-0.17	1.07	-0.269	
Max. Imp. Vert.	0.22	.23	0.07	.21	-0.15	.43	-0.619	
Palatal Descent	0.37	.16	-0.35	.18	-0.72	.24	-5.127	.02***

	GROUP III							
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Premax. Imp. Horiz.	0.68 mm	.59 mm	0.80 mm	.55 mm	0.12 mm	.72 mm	0.293	
Premax. Imp. Vert.	-0.13	.26	-0.79	.17	-0.66	.25	-4.567	.02***
Max. Imp. Horiz.	0.53	.69	0.82	.77	0.29	1.07	0.457	
Max. Imp. Vert.	0.45	.42	-0.37	.76	-0.82	1.18	-1.211	
Palatal Descent	0.02	.02	-0.41	.37	-0.43	.35	-2.137	.08*

	GROUP IV							
	Period I		Period II		Mean Difference		t stat	Signifi- cance
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.		
Premax. Imp. Horiz.	0.24 mm	.41 mm	0.47 mm	.47 mm	0.23 mm	.73 mm	0.541	
Premax. Imp. Vert.	0.24	.23	-0.22	.20	-0.46	.43	-1.859	*
Max. Imp. Horiz.	0.56	.79	0.81	.32	0.25	1.10	0.319	
Max. Imp. Vert.	0.30	.02	-0.29	.41	-0.59			
Palatal Descent	0.09	.15	-0.17	.15	-0.26	.27	-1.655	

* also statistically significant from control group at .05 level
 ** also statistically significant from control group at .01 level
 *** also statistically significant from control group at .005 level

TIP R OUILS - VALENCIA - G-ESTEVE, 19

Depósito Legal: V. 1.864 - 1971 S.