

ANÁLISIS DE LAS FUERZAS GENERADAS POR LOS MUSCULOS
MASTICADORES HUMANOS DURANTE LA MORDIDA

por

Luis Briceño Ayala¹

RESUMEN. Para determinar la fuerza generada por cada uno de estos músculos, se han empleado las proyecciones en el plano sagital, de sus líneas de acción y los electro-miogramas procesados, mediante rectificación e integración (EMGP).

Utilizando como centros de rotaciones al centro del cóndilo (CC) y a un punto virtual (centro de rotación instantáneo CRI), se procedió a calcular los torques musculares individuales (τ_i), en función de los correspondientes EMGP cuya sumatoria es proporcional al torque total medido por medio de un transductor intraoral (τ_T). La constante de proporcionalidad (K) que relaciona los torques totales, fue empleada para calcular el módulo aproximado de la fuerza de cada músculo.

Los resultados fueron comprobados, calculando en el plano sagital, el torque equivalente (τ_{eq}), en función de la suma vectorial de todas las fuerzas musculares, respecto de ambos centros de rotaciones (CC y CRI).

INTRODUCCION

Para el cálculo de las fuerzas generadas por los músculos que actúan en los sistemas articulares del organismo humano, distintos métodos han sido empleado, utilizando otros parámetros relacionados con la tensión neuromuscular.

Lippold (1952) fue uno de los primeros en establecer la relación entre actividad electromiográfica y tensión muscular en contracción isométrica.

Barbenel (1972) analizó la acción de las fuerzas en la Articulación Temporomandibular (ATM), solucionando una ecuación para el cálculo de tensiones o cargas mínimas en la mandíbula, así mismo como cargas oclusales, por medio de técnicas de programación lineal.

Philip (1973) estudió las implicaciones del centro de rotación (CRI) en la ATM. Demostró que los efectos del CRI respecto del centro del cóndilo (CC), son significativamente diferentes en los cálculos de los momentos musculares, relacionando sus fuerzas con respecto a sus áreas de sección transversal.

¹Profesor Titular, Asignatura de Física Médica, Facultad de Odontología, Universidad de Chile. Miraflores 579 - Casilla 1903. Santiago-Chile.

Yemm (1977) estudió la actividad eléctrica de unidades motoras simples en músculos maseteros y temporales, registrados por medio de microelectrodos, obteniendo altos grados de correlación entre tensiones en contracción isométrica y sus biopotenciales.

Pruim y colab. (1978) determinaron un método para el estudio de la relación entre EMG integrado y la fuerza mandibular, medida por medio de transductores electromecánicos, para contracciones isométricas de los músculos masetero, temporal anterior y temporal posterior.

Baron y colab. (1979) realizaron un estudio biomecánico de la ATM, determinando la línea de acción de los músculos masticadores, los cuales fueron proyectados en los tres planos del espacio, sin calcular las tensiones desarrolladas por dichos músculos.

Briceño y colab. (1983) diseñaron un sistema estereométrico para calcular la correlación entre coordenadas de los puntos de origen e inserción de los músculos masticadores, cuyas líneas de acción fueron proyectadas en los tres planos del espacio. Dada la alta correlación obtenida entre puntos derechos e izquierdos (simetría), se consideraron solamente las proyecciones en el plano sagital.

El trabajo que se presenta, tiene por objeto cuantificar en forma aproximada, el módulo de las tensiones musculares a partir del registro electromiográfico rectificado e integrado (EMGP), de cada músculo masticador.

MATERIAL Y METODO

Torques.

Para calcular el torque total (τ_T) generado en la ATM durante la mordida, para contracciones isométricas de los músculos masticadores, la fuerza total fue medida por medio de un transductor intraoral (Briceño 1981, 1984).

Este torque está definido por:

$$|\tau_T| = d_T F_T \quad (1)$$

siendo

F_T : Fuerza Total, medida por el transductor

d_T : Brazo de momento (desde CC ó CRI).

El torque total es generado por la acción conjunta de todos los músculos masticadores, por lo tanto:

$$|\tau_T| = \sum \tau_i \quad (2)$$

En que τ_i es el torque relativo a cada músculo que actúa, el cual se ha definido por:

$$|\tau_i| = d_i F_i \quad (3)$$

con

F_i : Tensión de cada músculo

d_i : Brazo de momento del músculo i respecto al centro de rotación (CC ó CRI: C.Cóndilo ó C. Apófisis Mastoides)

Considerando que la actividad electromiográfica procesada (EMGP) mediante rectificación e integración es proporcional con la tensión que desarrolla, esto es:

$$|F_i| \propto \text{emgp}_i \quad (4)$$

Se cumple que:

$$|F_i| = K \text{emgp}_i \quad (5)$$

Tal que

K : Constante de proporcionalidad

emgp_i : Actividad electromiográfica procesada del músculo i

La constante de proporcionalidad (K), la cual depende de la naturaleza de los electrodos de registro, del factor de amplificación, impedancia etc., puede ser determinada a partir del torque total (τ_T) y del torque proporcional (τ_p), del siguiente modo:

$$K = |\tau_T| / |\tau_p| \quad (6)$$

en que

$$|\tau_p| = \sum d_i (\text{emgp})_i \quad (7)$$

Un método para verificar los valores de las tensiones musculares, consiste en calcular el torque equivalente (τ_{eq}) el cual está en función de la suma vectorial de todas las fuerzas musculares, proyectadas en el plano sagital ($\sum \vec{F}_i$):

$$\vec{\tau}_{eq} = d^* \sum \vec{F}_i \quad (8)$$

Siendo d^* : Brazo de momento respecto a CC ó CRI.

Debiendo cumplirse que:

$$|\tau_{eq}| = |\tau_T| \quad (9)$$

Los registros tanto electromiográficos como de fuerzas mandibulares, se obtuvieron a partir de 5 personas normales, seleccionadas previo examen clínico, además de comprobarse una alta correlación entre la sumatoria de los EMGP derechos e izquierdos, captados por medio de un amplificador sumador de EMG (Briceño 1983). Los electrodos utilizados para los registros electromiográficos, fueron del tipo ECG de superficie, con pasta de electrodo tipo cardio cream N. Kohden. Los EMG de los músculos pterigoideos solamente fueron estimados, considerándose que durante la mordida (cierre mandibular), no debe existir movimiento de protrusión ni retrusión, de acuerdo al modelo teórico expresado por Briceño (1984).

TABLA N°1. Resumen de Datos

Centro de Rotación: Centro del Cóndilo (CC)

MEDIC.	MASET.-	TEM.ANT.-	TEM.MED.-	TEM.POST.-	PT.INT.-	PT.EXT.
emgp (V)	1.3	0.8	0.5	0.2	1.2 *	0.2 *
d _i (cm)	2.9	3.0	2.3	0.65	2.3	0.2
emgp*d (Vcm)	3.77	2.4	1.15	0.13	2.76	0.04
Torque (Ncm)	625	398	190	21.5	458	6.6
F _i (N)	215.5	132.6	82.9	33.2	199	33.2
D.S.	3.8	4.5	6.5	7.4	5.1	7.6
Porcentaje	36%	23.4%	11.2%	1.3%	27%	0.5%
Torque						

*:Valores estimados

TABLA N°2. Resumen de Datos

Centro de Rotación: Centro de Rotación Instantáneo (CRI).

MEDIC.	MASET.-	TEM.ANT.-	TEM.MED.-	TEM.POST.-	PT.INT.-	PT.EXT.
emgp (V)	1.3	0.8	0.5	0.2	1.2 *	0.2 *
d _i (cm)	5.7	5.7	5.2	2.5	4.8	1.3
emgp*d (Vcm)	7.41	4.56	2.6	0.5	5.76	0.26
Torque (Ncm)	811.3	499.3	284.7	54.8	630.7	28.47
F _i (N)	142.4	87.6	54.8	21.9	131.4	21.9
D.S.	3.3	5.4	4.2	6.5	5.6	7.0
Porcentaje	35%	21.6%	12.3%	2.3%	27%	1.2%
Torque						

*:Valores estimados

RESULTADOS

Las tablas N°1 y N°2 representan los resultados obtenidos, considerando los torques respecto de un centro de rotación, el centro del cóndilo (CC) y el centro de rotación instantáneo (CRI) respectivamente.

La fuerza promedio medida con el transductor intraoral, ubicado en la zona incisiva central, fue de 200 N, para cada persona. Los torques totales fueron de 1700 N-cm (CC) y de 2300 N-cm (CRI), para brazos de momentos de 8,5 cm. y 11,5 cm. en cada caso. (Figura N°1)

Las constantes de proporcionalidad fueron de 167 N/V (CC) y 109,5 N/V (CRI).

Las fuerzas totales equivalentes a la suma vectorial de las fuerzas musculares, fueron de 630 N (CC) y 403 N (CRI), para brazos de momentos (d^*) de 2,7 cm (CC) y 5,7 cm (CRI).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tablas 1 y 2), para centros de rotaciones diferentes, se mantiene la proporción de las fuerzas generadas por cada músculo, las cuales están condicionadas por sus EMG_s . En ambos casos, tanto la fuerza como el torque, conservan el mismo orden de mayor a menor (Masetero hasta Pterigoideo externo). Los valores de las fuerzas obtenidas en contracción isométrica para cada músculo, son similares a las encontradas por Pruim (1978).

Las fuerzas resultante de la acción conjunta de todos los músculos, fueron diferentes, por estar referidas a brazos diferentes, sin embargo, en ambos casos, esta resultante actúa en la misma línea de acción, perpendicular al plano oclusal, con módulos de 400 N (CRI) y 630 N (CC), para una misma fuerza de mordida en la zona incisal de 200 N.

Estos resultados permiten suponer que durante la mordida, la resultante de la acción conjunta de todos los músculos elevadores de la mandíbula en contracción isométrica de personas normales, actuaría en el plano sagital, perpendicular al plano oclusal en la proyección entre el 2^a y 3^a molar, no existiendo zonas de inserción de estos músculos, más anteriores al primer molar.

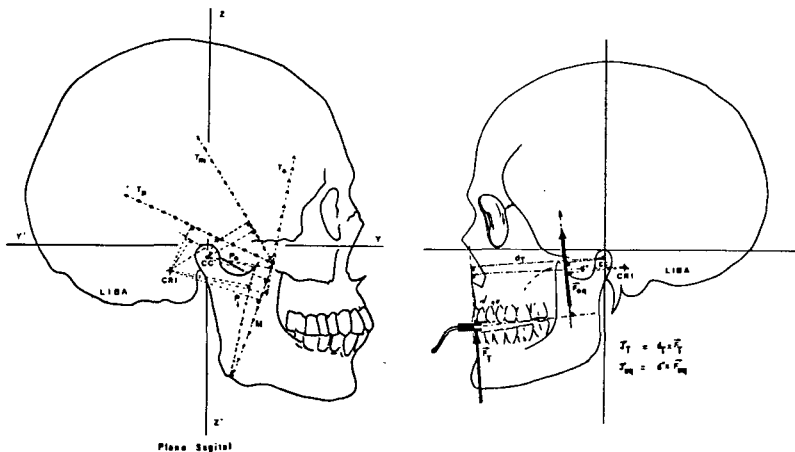


Figura N°1: Proyecciones de las fuerzas musculares en el plano sagital.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo financiero del Depto. de Desarrollo de la Investigación (Proyecto: M 1861-8544) y Facultad de Odontología, ambos de la Universidad de Chile.

REFERENCIAS

- BARBENEL J.C. (1972), "The Biomechanics of the Temporomandibular Joint: A theoretical study", J. Biomechanics, Volumen 5, páginas 251-256.
- BARON P., DEBUSSY T. (1979), "A Biomechanical Functional Analysis of the Masticatory muscles in Man", Archs. Oral Biol., Volumen 24, páginas 547-553.
- BRICENO A.L., STRAUSS C.R. (1981), "Desarrollo de Instrumentación para el estudio de la correlación entre fuerza mandibular y actividad electromiográfica del músculo masetero". VII Congreso Brasileiro de Eng. Biomédica, Páginas 195-199 R.J. Brasil.
- BRICENO A.L., ORELLANA R.H., BUTRON L.C., (1983), "Diseño de un sistema estereométrico para estudios biomecánicos de la articulación temporomandibular". VIII Congreso Brasileiro de Eng. Biomédica, páginas 45-49, S.C. Florianópolis. Brasil.
- BRICENO A.L. (1983), "Amplificador para captación simultánea de Señales Mioeléctricas en Sistemas Articulares. VIII Congreso Brasileiro de Eng. Biomédica, página 73, S.C. Florianópolis. Brasil.
- BRICENO A.L. (1984), "Diseño de un transductor para medición de Fuerzas Mandibulares Interoclusales. LATINCON 84, IEEE, páginas 561-565. México.
- BRICENO A.L. (1984), "Modelo Teórico para determinar la fuerza individual de los músculos masticadores". Conferencia Iberoamericana de Bioingeniería. Página 80, Gijón, Asturias. España.
- LIPPOLD O.C. (1952), "The relation between integrated action potential and human muscle and its isometric tension". J. Physiol., Volumen 117, páginas 492-499.
- PHILIP G.G. (1973), "Biomechanical significance of the instantaneous center of rotation: The human temporomandibular Joint". J. Biomechanics, Volumen 6, páginas 109-113.
- PRUIM G.J., Ten Bosch J.J., De Jongh H.J. (1978), "Jaw Muscle EMG-Activity and Static Loading of the mandible", J. Biomechanics, Volumen 11, páginas 389-395.
- YEMM R. (1977), "The representation of motor-unit action-potentials on skin-surface Electromyograms of the masseter and Temporal Muscles in man", Arch. Oral Biol., Volumen 22, páginas 201-205.

ANALYSIS OF THE FORCES GENERATED BY THE HUMAN MASTICATORY
MUSCLES DURING THE CHEWING

ABSTRACT-- To determine the force generated by each of these muscles it is employed the projection on the saggital plane of its action lines and the electromyograms (EMGP) processed by means of rectification and integration. Using the temporomandibular joint and a virtual point (instantaneous center of rotation CRI) as centers of rotation, the individual muscle torques (τ_i) were calculated, as a function of the related EMGP which summation¹ is proportional to the total torque (τ_T) measured by means of a intraoral transducer. The constant of proportionality (K) that relates the total torques was used to calculate the approximate force magnitude of each muscle. The results are confirmed calculating, on the saggital plane, the equivalent torque (τ_{eq}) in terms of a vector summation of all muscle forces with respect of both centers of rotation (cc and CRI).

[N.E. - This work was presented at the IX Brazilian Congress of Biomedical Engineering, Campinas 3-6, Sept., 1985 - Abstract translated by the Editorial Committee].