

Biomecánica de Músculos Masticadores

1. Introducción

Los músculos que ponen en movimiento de traslación y rotación a la mandíbula están constituidos por dos grupos, a saber, los músculos masticadores y los músculos suprahioideos. En este estudio consideraremos los músculos masticadores bajo la condición de fuentes generadoras de fuerzas que ocasionan o modifican el movimiento de la masa móvil del aparato dentario, induciendo a éste movimientos de traslación y rotación. Los movimientos inducidos por los músculos suprahioideos a la mandíbula, no serán motivo de este estudio.

Conocida las inserciones de los músculos y sus peculiaridades anatómicas, es fácil determinar la línea de acción de las fuerzas musculares. Sin embargo no ocurre lo mismo con la intensidad de dichas fuerzas, la cual varía debido a diversos factores relacionados con los esfuerzos musculares, los cuales son muy difíciles de estimar en forma individual para cada músculo.

Es necesario desde ya tener presente que algunos músculos, desarrollan acciones distintas, según sea la parte del mismo

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

que se contraiga, de donde resultan tantas fuerzas como contracciones diferentes ejecuten.

Si bien analizaremos las fuerzas y momentos que desarrollan algunos de cada músculo masticador, no podemos dejar de en cuenta el hecho de que los movimientos de traslación y rotación de la mandíbula, son el resultado de las acciones coordinadas de distintos músculos.

2. Interacción Temporo-Mandibular

El músculo temporal se inserta en la mandíbula mediante dos porciones tendinosas, una superficial y otra profunda, desde este origen las fibras musculares divergen pasando por la luz del arco cigomático y se insertan en el cráneo formando un amplio abanico en toda la fosa temporal. La inserción tendinosa superficial tiene lugar en el borde de la apófisis coronoides y la profunda en la cara interna de dicha apófisis. De acuerdo a estas particularidades anatómicas este músculo puede interaccionar con la mandíbula provocando cambios en su estado de movimiento, los cuales se concretan en traslación e inclinaciones alrededor de definidas direcciones del espacio.

¿Qué movimientos provoca a la mandíbula la contracción de las fibras anteriores del músculo temporal derecho?

Sí dicha contracción genera una fuerza sobre la inserción mandibular de éste músculo, entonces la mandíbula tendría que experimentar movimientos de traslación e inclinaciones alrededor de definidas direcciones del espacio, siempre y

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

cuándo el resto de la musculatura elevadora de la mandíbula permanezca relajada.

Para validar esta respuesta supongamos un sistema de referencia con origen en el centro de resistencia de una mandíbula humana, supongamos también que la magnitud de la fuerza generada por la contracción de las fibras anteriores del músculo temporal derecho es de 10 N y consideremos las direcciones promedios de dichas fibras, a saber 25 grados con la dirección caudo-craneal (ver figura2)

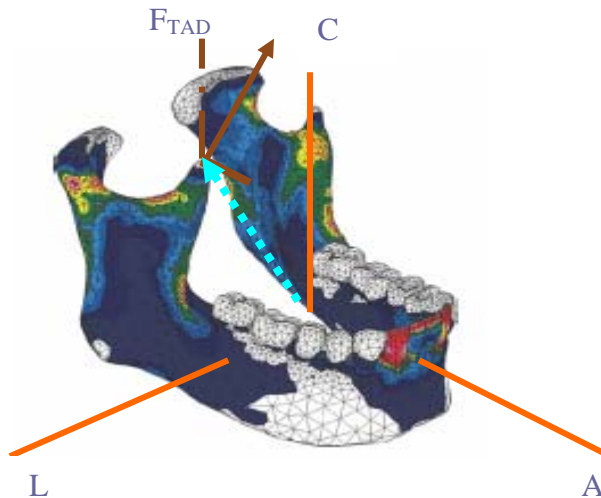


Figura 2. Fuerza ejercida por el temporal anterior derecho

En la figura 2 se observa la matriz fuerza, F_{TAD} , ejercida por la porción de fibras anteriores del músculo temporal derecho con origen en la apófisis coronoides y sus proyecciones ántero y craneal, referidas al centro de resistencia de la mandíbula (CRM) mediante la matriz posición R_{TAD} en

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

color turquesa. Ambas matrices se pueden escribir como sigue:

$$F_{TAD} = 10 \begin{pmatrix} 0 \\ \cos(65) \\ \cos(25) \end{pmatrix} \text{N} \quad R_{TAD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

las proyecciones de la matriz posición R_{TAD} indican lo que dista hacia afuera, atrás y arriba, la apofisis coronoides del centro de resistencia de la mandíbula .

i. Movimiento de traslación mandibular

La línea de acción de la fuerza determina el movimiento de traslación de la mandíbula, en efecto:

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} + \alpha \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,1 \end{pmatrix}$$

esto significa que la mandíbula se traslada hacia ántero craneal en dirección 65 grados con respecto al eje ántero-posterior

ii. Movimientos de inclinación mandibular

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Los movimientos de inclinación que la mandíbula realiza alrededor de los tres ejes de afinidad , lateral anterior y craneal, quedan determinados por el producto entre la matriz de las rotaciones $U(R_{TAD})$ que transforma la fuerza en momento y la matriz fuerza F_{TAD} , en efecto:

$$M_{CRM}(F_{TAD}) = U(R_{TAD})F_{TAD} ,$$

donde,

$$R_{TAD} = \begin{pmatrix} r_l \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix} \text{ y } F_{TAD} = \begin{pmatrix} f_l \\ f_a \\ f_c \end{pmatrix} ,$$

es decir,

$$\begin{pmatrix} m_l \\ m_a \\ m_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -r_c & r_a \\ r_c & 0 & -r_l \\ -r_a & r_l & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_l \\ f_a \\ f_c \end{pmatrix} ,$$

específicamente,

$$\begin{pmatrix} m_l \\ m_a \\ m_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3,0 \\ 3,6 & 0 & -3,5 \\ 3,0 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} 10^{-2} \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,1 \end{pmatrix} mN ,$$

esto es,

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M_{CRM}(F_{TAD}) = \begin{pmatrix} -42,42 \\ -31,85 \\ 15,75 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

Podemos observar, como resultado del producto anterior, que cada una de las filas de la matriz momento de la fuerza ejercida por el sector anterior del músculo temporal derecho, tiene valores distintos de cero, negativos para las dos primeras filas y positivos para la última y que las dimensiones corresponden a unidades de energía.

Como discusión podemos agregar que los resultados de la primera fila de la matriz momento de la fuerza indican que la mandíbula realiza, alrededor del eje lateral, una inclinación ántero caudal con una energía de rotación de 42,42 joule, que al mismo tiempo, alrededor del eje ántero posterior, la mandíbula se inclina en el sentido látero craneal, con una energía de rotación menos intensa que la que experimenta alrededor del eje de lateralidad.

Finalmente alrededor del eje caudo-craneal ésta realiza un giro versión látero anterior con una energía de rotación bastante menos intensa que alrededor de los otros ejes del espacio, en este caso la energía fue 15,75 joule.

En cada uno de los ejes afines de la figura 3 se indican el sentido de las rotaciones experimentados por la mandíbula como consecuencia de la contracción del sector anterior del músculo temporal derecho, en ausencia de contracción alguna del resto de la musculatura elevadora de la mandíbula

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

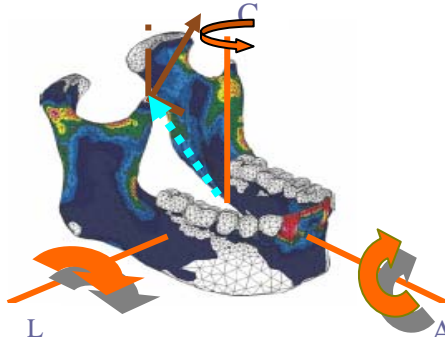


Figura 3 .Sentido de las rotaciones de la mandíbula

Por otro lado y a modo de discusión decimos que la línea de acción de la fuerza nos indica que la mandíbula se traslada en la dirección ántero craneal, esto es hacia arriba y adelante.

Para terminar, digamos que mediante las expresiones analíticas para la línea de acción de la fuerza y el momento de la fuerza respecto del centro de resistencia de la mandíbula humana, hemos podido validar la hipótesis planteada.

¿Qué movimientos realiza la mandíbula cuándo se contraen simultáneamente las porciones anteriores del músculo temporal derecho e izquierdo?

Si consideramos los mismos supuestos bajo los cuales formulamos la hipótesis anterior y además agregamos simetría de la posición de las correspondientes apófisis coronoides e iguales intensidades de contracción de ambos músculos podemos afirmar que:

La mandíbula realizará movimiento de inclinación ántero caudal y traslación ántero craneal.

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

El método que nos permite contrastar esta hipótesis, consiste en referir el origen de las fuerzas musculares al centro de resistencia de la mandíbula, mediante las matrices posición R_{TAD} y R_{TAB} , las cuales se vinculan con las fuerzas F_{TAD} y F_{TAI} respectivamente. Una vez establecidas las matrices anteriores, procedemos a calcular el momento resultante de dichas fuerzas respecto del centro de resistencia de la mandíbula. El momento resultante permite determinar la existencia de los movimientos de inclinación mandibular. La traslación, se determinará mediante la línea portadora de la fuerza resultante, siempre y cuándo ésta exista.

a) Momento resultante de las fuerzas musculares

Como ya lo hemos señalado, calcularemos el momento resultante, para determinar los movimientos de inclinación establecidos en la mandíbula por las fuerzas musculares. Para tal efecto, consideremos fuerzas iguales generadas por las fibras anteriores del músculo temporal derecho e izquierdo, con orígenes en las correspondientes apófisis coronoides y referidos al centro de resistencia de la mandíbula. Así dichas fuerzas y sus correspondientes puntos de aplicación se indican en las siguientes matrices columnas:

$$F_{TAD} = \begin{pmatrix} f_l \\ f_a \\ f_c \end{pmatrix} \text{ y } R_{TAD} = \begin{pmatrix} r_l \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix}, \text{ es decir,}$$

$$F_{TAD} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} \text{ N y } R_{TAD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} \text{ m}$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Ahora la fuerza aplicada por el temporal anterior izquierdo:

$$F_{TAI} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} \text{N} \text{ y } R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} \text{m}$$

esto es porque hemos impuesto condiciones de total simetría .
La representación geométrica de estas fuerzas se pueden observar en la figura siguiente:

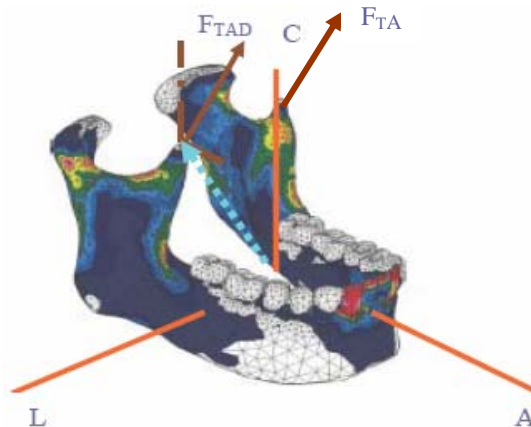


Figura 4. Fuerzas que actúan sobre la mandíbula

El momento resultante, $M(R)$, está determinado por la suma de los momentos de las fuerzas que actúan sobre el sistema, esto es,

$$M(R) = M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI}),$$

es decir,

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M(R) = \left[\begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3,0 \\ 3,6 & 0 & -3,5 \\ 3,0 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3,0 \\ 3,6 & 0 & 3,5 \\ 3,0 & -3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} \right] 10^{-2} mN$$

$$M(R) = \begin{pmatrix} -21 \\ -16 \\ 7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -21 \\ 16 \\ -7 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

$$M(R) = \begin{pmatrix} -42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

En la última matriz del momento resultante de la acción conjunta de las fibras anteriores de los músculos temporales derecho e izquierdo, podemos observar que solamente la primera fila tiene un valor distinto de cero, sin embargo en la penúltima expresión las matrices sumandos son todas distintas de cero.

De los resultados del momento concebido por las fuerzas musculares en estudio, afirmamos que el movimiento de inclinación mandibular que ocurre alrededor del eje lateral que pasa por el centro de resistencia de la mandíbula se potencia, bajo la acción conjunta de ambos sectores de fibras musculares, esto se puede verificar en las primeras filas de las matrices sumandos en comparación con la primera fila de la última expresión para la matriz resultante, dicha inclinación mandibular se expresa en una caudo inclinación. Que por el contrario los movimientos de inclinación, alrededor de las direcciones ántero-posterior y caudo-craneal, generados en la mandíbula por las fuerzas musculares en estudio se

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

neutralizan, lo cual se verifica en la segunda y tercera fila de la matriz momento resultante.

Resta por validar el movimiento de traslación en el sentido ántero-craneal. Hemos dicho que si la fuerza resultante existe, la línea portadora de ella nos permite asegurar hacia donde ocurre el movimiento de traslación, debemos investigar la existencia de dicha resultante:

b) Fuerza resultante de la acción conjunta del temporal anterior derecho e izquierdo.

El método que nos permite indagar la existencia de la fuerza resultante de los sectores de las fibras musculares en estudio, consiste en inspeccionar si el momento resultante puede ser identificado con al momento de la fuerza resultante. Para tal efecto supongamos que la fuerza resultante existe, la cual deberá generar un momento idéntico al momento resultante, esto es,

$$M_{CRM}(F_{TAD} + F_{TAI}) = M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI}),$$

En otras palabras el momento de la suma de las fuerzas, respecto del centro de resistencia de la mandíbula, debe ser igual a la suma de los momentos de las fuerzas respecto del centro de resistencia de ésta.

Entonces,

$$M_{CRM}(F_{TAD} + F_{TAI}) = \begin{pmatrix} -0,42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{joule},$$

La definición de momento exige que:

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$\langle (F_{TAD} + F_{TAI}), M_{CRM}(F_{TAD} + F_{TAI}) \rangle = 0,$$

es decir perpendicularidad entre el momento y la fuerza, específicamente:

$$\left\langle \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\rangle = 0 + 0 + 0$$

Esto nos asegura que la fuerza resultante existe y es:

$$F_{TAD} + F_{TAI} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,5 \end{pmatrix} N,$$

Con origen en algún punto de su línea de acción, que pasaremos a determinar.

Supongamos un punto cualquiera de la línea portadora de la fuerza resultante, representado por la matriz:

$$R = \begin{pmatrix} r_l \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix}, \text{ y construyamos la matriz } U(R) \text{ que transforma la}$$

fuerza en momento, esto es,

$$U(R) = \begin{pmatrix} 0 & -r_c & r_a \\ r_c & 0 & -r_l \\ -r_a & r_l & 0 \end{pmatrix}$$

Ahora el momento de la fuerza resultante ($F(R) = F_{TAD} + F_{TAI}$)

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M_{CRM}(F_R) = \begin{pmatrix} -42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

es decir,

$$\begin{pmatrix} 0 & -r_c & r_a \\ r_c & 0 & -r_1 \\ -r_a & r_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

Esto es,

$$\begin{pmatrix} -4,2r_c + 9,0r_a \\ -9,0r_1 \\ 4,2r_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

De donde, la línea portadora de la fuerza resultante, en función de r_a está dada por:

$$R(r_a) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{42}{4,2} \end{pmatrix} 10^{-2} + r_a \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \frac{9}{4,2} \end{pmatrix}$$

Con r_a en metros.

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Los resultados, de la expresión para la línea portadora de la fuerza resultante, de la acción conjunta de los músculos temporales anteriores, nos indican que ésta está contenida en el plano sagital como puede verificarse en la matriz deslizante de la ecuación anterior, ya que ésta sólo tiene proyecciones las direcciones ántero y craneal. Estos resultados confirman que el movimiento de traslación de la mandíbula ocurre en la dirección ántero-craneal, como lo habíamos afirmado en la hipótesis de trabajo. El movimiento de traslación de la mandíbula tiene una dirección de 65° respecto de la dirección ántero-posterior, lo que puede verificarse calculándolo en la línea de acción de la fuerza resultante.

Por último podemos decir que la metodología propuesta nos ha permitido validar completamente nuestra hipótesis de trabajo

3. Interacción Tempero-Mandibular bajo condiciones de asimetría

¿Qué movimientos realiza la mandíbula cuando los músculos temporales anteriores actúan en condiciones de asimetría?

La interacción músculo mandibular puede ocurrir, entre otras, bajo las siguientes condiciones de asimetría: asimetría originada en la intensidad de la contracción muscular, en las inserciones musculares y en ambas.

Ahora bien si la asimetría tiene sus orígenes en la intensidad de la contracción muscular, afirmamos que:

La mandíbula realiza traslación ántero-craneal e inclinaciones en las tres direcciones del espacio

i. Validación de los movimientos de inclinación mandibular

En la contrastación de estos movimientos haremos uso del mismo método de validación usado en el contraste de las hipótesis anteriores, en este caso, acudiremos a la determinación del momento resultante generado por las fuerzas asimétricas por intensidad. En efecto, supongamos que el músculo temporal anterior derecho se contrae con una intensidad que genera proyecciones de 2 y 4 newton en las direcciones ántero y craneal respectivamente y que el músculo temporal anterior izquierdo se contrae con intensidad distinta, de modo que sus proyecciones en las direcciones ántero y craneal son 3 y 6 newton respectivamente. Las posiciones de las apófisis coronoides guardan relación de total simetría y estarán representadas por las mismas matrices posiciones usadas en las validaciones de las hipótesis precedentes.

Formalmente:

$$F_{TAD} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3,1 \\ 6,7 \end{pmatrix} N \text{ con origen en } R_{TAD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

$$F_{TAI} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6,2 \\ 13,4 \end{pmatrix} N \text{ aplicada en } R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,0 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

Ver figura 5.

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

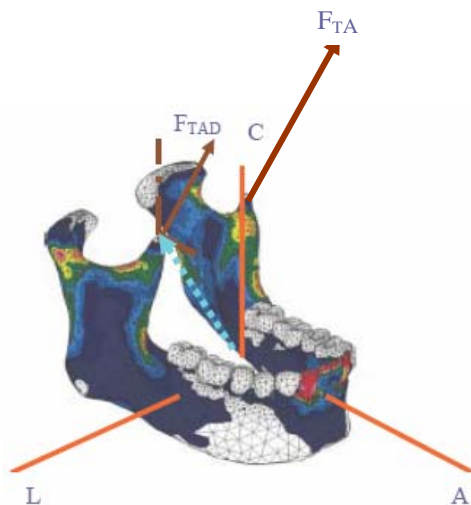


Figura 5. Fuerzas ejercida por el temporal anterior derecho e izquierdo

Ahora el momento resultante respecto del centro de resistencia de la mandíbula, esto es, la suma de los momentos concebidos por ambas fuerzas, es decir,

$$M(R) = M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI})$$

$$M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI}) = U(R_{TAD})F_{TAD} + U(R_{TAI})F_{TAI}$$

$$M(R) = \begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3,0 \\ 3,6 & 0 & -3,5 \\ 3,0 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} 10^{-2} \begin{pmatrix} 0 \\ 3,1 \\ 6,7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3,0 \\ 3,6 & 0 & 3,5 \\ 3,0 & -3,5 & 0 \end{pmatrix} 10^{-2} \begin{pmatrix} 0 \\ 6,2 \\ 13,4 \end{pmatrix}$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M(R) = \begin{pmatrix} -31,26 \\ -23,45 \\ 10,88 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -62,52 \\ 46,9 \\ -21,7 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

$$M(R) = \begin{pmatrix} -93,78 \\ 23,45 \\ -10,88 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

En la matriz del momento resultante, respecto del centro de resistencia de la mandíbula, compuesta por la suma de los momentos de las fuerzas ejercidas por los músculos en estudio, se puede observar que todas sus proyecciones son distintas de cero y que dos de ellas, la primera y la tercera, son negativas.

Estos resultados indican:

Que la mandíbula realiza movimiento de inclinación ántero-caudal alrededor del eje lateral, lo cual se verifica en la primera fila de la matriz momento resultante. Además la energía con que ocurre dicha inclinación es 0,9378 mN.

Que alrededor del eje ántero-posterior, la mandíbula se inclina en el sentido cráneo-lateral derecho con una energía de rotación de 0,2345 mN.

Que, finalmente, en el eje caudo-craneal, la mandíbula realiza una giro versión ántero-lateral, lo que se puede verificar en la tercera fila de la matriz del momento resultante. Y que la inclinación mandibular que ocurre alrededor del eje lateral es la más intensa de todas.

Los resultados que hemos discutido, confirman la veracidad de la hipótesis en relación con los movimientos de inclinación de la mandíbula, los cuales tienen su origen en la

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

asimetría de las fuerzas ejercidas por las fibras anteriores de los músculos temporales derecho e izquierdo.

Para terminar con el procedimiento de validación de la respuesta a la pregunta planteada precedentemente, recabaremos información relacionada con la factibilidad de que exista una fuerza resultante proveniente de la acción de los sectores de las fibras musculares en estudio.

ii. Validación de los movimientos de traslación mandibular

Hemos señalado que mediante la expresión analítica de la línea de acción de la fuerza resultante, podemos verificar que la afirmación sostenida para el movimiento de traslación de la mandíbula es verdadera. Este procedimiento que ya fue usado en el contraste de las hipótesis anteriores, el cual exige establecer la existencia de la fuerza resultante. Para que la fuerza resultante exista debe confirmarse la condición que el producto interior entre el momento resultante y la fuerza resultante sea nulo. En efecto averigüemos si dicho producto interior es realmente nulo.

Supongamos que la fuerza resultante existe, la cual debería resultar de la combinación de cada una de las fuerzas que actúa sobre el sistema, esto es,

$$F(R) = F_{TAD} + F_{TAI}$$

Aplicada en cualquier punto dado por:

$$R = \begin{pmatrix} r_l \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix} m$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Entonces

$$F(R) = \begin{pmatrix} 0 \\ 3,1 \\ 6,7 \end{pmatrix} N + \begin{pmatrix} 0 \\ 6,2 \\ 13,4 \end{pmatrix} N, \text{ con origen en, } R = \begin{pmatrix} r_l \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix} m$$

Ahora la exigencia:

$$\left\langle \begin{pmatrix} 0 \\ 9,3 \\ 20,1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -93,78 \\ 23,45 \\ -10,88 \end{pmatrix} 10^{-2} \right\rangle = [0 + 218 - 218] 10^{-2} \text{ }_8$$

Por lo tanto la fuerza resultante existe. Estableceremos la ecuación de su línea de acción, la cual nos permitirá verificar el sentido del movimiento de traslación de la mandíbula.

La existencia de la línea de acción de la fuerza, compromete la siguiente expresión para el momento de la fuerza resultante respecto del centro de resistencia de la mandíbula:

$$M_{CRM} (F_{TAD} + F_{TAI}) = \begin{pmatrix} -93,78 \\ 23,45 \\ -10,88 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

Esto es,

$$\begin{pmatrix} 0 & -r_c & r_a \\ r_c & 0 & -r_l \\ -r_a & r_l & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 9,3 \\ 20,1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -93,78 \\ 23,45 \\ -10,88 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$\begin{pmatrix} -9,3r_c + 20,1r_a \\ -20,1r_l \\ 9,3r_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -93,78 \\ 23,45 \\ -10,88 \end{pmatrix} 10^{-2} mN$$

De la tercera fila de esta ecuación podemos escribir:

$$r_l = -\frac{10,88}{9,3} 10^{-2} m$$

Ahora de la primera fila de la ecuación del momento de la fuerza resultante escribimos

$$r_c = \left[\frac{93,78}{9,3} 10^{-2} + \frac{20,1}{9,3} r_a \right] m$$

Entonces la ecuación de la línea de acción de la fuerza resultante en función de r_a es:

$$R(r_a) = \frac{1}{9,3} \begin{pmatrix} 10,88 \\ 0 \\ 93,78 \end{pmatrix} 10^{-2} + r_a \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2,16 \end{pmatrix}$$

Con r_a expresado en metros (m)

Podemos trazar esta línea, en la representación de la mandíbula, ver figura 6

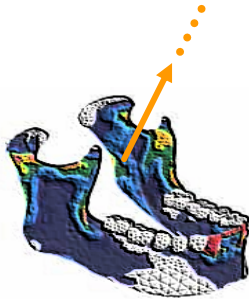


Figura 6. Línea portadora de la fuerza resultante

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

El resultado, para la ecuación de la línea portadora de la suma de fuerzas, revela en su parte deslizante, proyecciones distintas de cero, sólo en las direcciones ántero- craneal y en su parte afín sólo en las direcciones látero-craneal. De estos resultados podemos señalar:

Que la traslación de la mandíbula ocurre en el sentido ántero-craneal como puede confirmarse en la parte deslizante de la ecuación de línea de acción de la fuerza resultante, lo que valida la parte de la hipótesis de trabajo relacionada con la traslación de la mandíbula

Que el valor cero, del resultado entre el producto interior de la suma de las fuerzas con la suma de los momentos, asegura que los movimientos de inclinación de la mandíbula originados en el momento de la suma de las fuerzas es idéntico a los movimiento de inclinación de la mandíbula suscitados en la suma de los momentos de las fuerzas musculares en estudio.

Finalmente, la metodología mediante la cual hemos examinado, las expresiones analíticas del momento de las fuerzas que actúan sobre el sistema en estudio y la fuerza resultante que actúa sobre éste, nos permitió validar la hipótesis relacionada con los movimientos realizados por la mandíbula, bajo la acción de fuerzas asimétricas ocasionadas en contracciones de los sectores anteriores de los músculos temporales.

iii. Movimientos de la mandibular bajo condiciones de asimetría de las inserciones de los músculos temporales

¿Qué movimientos realiza la mandíbula cuando los músculos temporales anteriores actúan en condiciones de asimetría ocasionadas en las inserciones de éstos?

Si la contracción de las fibras musculares de las porciones anteriores de los músculos temporales, provoca fuerzas de igual intensidad, pero con asimetrías originadas en las inserciones mandibulares o craneales y todo el resto de la musculatura elevadora del sistema permanece relajada, entonces:

La mandíbula realiza solamente movimientos de inclinación alrededor de los tres ejes del espacio, no existiendo desplazamiento de esta estructura.

Naturalmente que los procedimientos, mediante los cuales someteremos a prueba esta hipótesis serán los mismos usados primariamente, esto es, determinar el momento resultante de las fuerzas que actúan sobre la mandíbula y verificar que no existe una fuerza resultante de la acción conjunta del sector de fibras anteriores de los músculos temporales. Para aplicar los procedimientos señalados, supongamos que la contracción de las fibras anteriores de los músculos en estudio, generan fuerzas iguales en intensidad, las cuales están dadas por las siguientes matrices columnas:

$$F_{TAD} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,1 \end{pmatrix} N \quad \text{Con origen en la apófisis coronoides}$$

derecha, la cual dista del centro de resistencia de la

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

mandíbula 3,5 cm. hacia afuera (L), 3cm.hacia atrás (-L) y 3,6cm, hacia arriba (C). Ubicación espacial representada por la siguiente matriz posición respecto del centro de resistencia de la mandíbula:

$$R_{TAD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} m .$$

El sector de fibras anteriores del músculo temporal izquierdo se contrae de modo que establece una fuerza de intensidad igual a la forjada por el sector anterior del temporal derecho, esto es, 10 newton(N). La inserción craneal posee relación de simetría con las correspondientes inserciones del sector de fibras anteriores del temporal derecho, pero la inserción en la apófisis coronoides no conserva relación de simétrica con su correspondiente homóloga, ésta se ubica 0,1cm.mas a posterior y 0,2 cm. mas hacia craneal. Así la matriz posición de esta apófisis respecto del centro de resistencia de la mandíbula está dada por el siguiente vector columna:

$$R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,1 \\ 3,8 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

La fuerza que se genera en esta apófisis tiene proyecciones espaciales que dependen de la inserción craneal de este grupo de fibras musculares, dicha inserción se puede establecer a partir de la línea de acción de la fuerza que ejerce el temporal anterior derecho. En efecto, escribamos la ecuación de la línea de acción de esta fuerza:

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$\begin{pmatrix} r_i \\ r_a \\ r_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} + \alpha \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,1 \end{pmatrix}$$

Supongamos que la inserción está ubicada 1 cm. hacia posterior del centro de resistencia de la mandíbula, esto significa que en la ecuación de la línea de acción de la fuerza, la tercera fila es 0,01 m, entonces:

$$-0,01 = 0,03 + 4,2\alpha$$

Así

$$\frac{0,02}{4,2} = \alpha$$

$$\alpha = 0,476$$

Ahora

$$R(0,476) = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -3 \\ 3,6 \end{pmatrix} 10^{-2} + 0,476 \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix} 10^{-2}$$

$$R(0,476) = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -1 \\ 7,93 \end{pmatrix} 10^{-2} \text{ m.}$$

Por simetría de la inserción craneal de los músculos en estudio, podemos escribir la matriz (R_{TAC}) posición de la inserción en la fosa temporal del sector de fibras anteriores del músculo temporal izquierdo. En efecto:

$$R_{TAC} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -1 \\ 7,93 \end{pmatrix} 10^{-2}$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

La matriz relativa de este punto, respecto de la matriz posición de la apófisis coronoides izquierda, $R_{TAC} - R_{TAI}$, contiene un infinito conjunto de puntos de la línea de acción de la fuerza ejercida por el sector anterior de fibras del músculo temporal izquierdo, esto nos permite determinar los ángulos de proyección de la fuerza ejercida por este sector de fibras musculares, en efecto:

$$R_{TAC} - R_{TADI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -1 \\ 7,93 \end{pmatrix} 10^{-2} - \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,1 \\ 3,8 \end{pmatrix} 10^{-2}$$
$$R_{TADI} - R_{TAC} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,1 \\ 4,13 \end{pmatrix} 10^{-2}$$

De donde el ángulo de proyección de la fuerza con la dirección ántero-posterior está dado por:

$$\arccos \frac{2,1}{\sqrt{(2,45)^2 + (3,2)^2}} = 63,05^\circ$$

Ahora la fuerza ejercida por las fibras anteriores del músculo temporal izquierdo, en condiciones de asimetría proporcionada por la posición de su correspondiente apófisis

$$F_{TAI} = 10 \begin{pmatrix} \cos(90) \\ \cos(63,05) \\ \cos(26,95) \end{pmatrix} \text{ Aplicada en } R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,1 \\ 3,8 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$F_{TAI} = 10 \begin{pmatrix} 0 \\ 0,4532 \\ 0,8914 \end{pmatrix} N \quad \text{Aplicada en } R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,1 \\ 3,8 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

$$F_{TAI} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4,53 \\ 8,91 \end{pmatrix} N \quad \text{Aplicada en } R_{TAI} = \begin{pmatrix} -3,5 \\ -3,1 \\ 3,8 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

a) Momento resultante.

El momento resultante, respecto del centro de resistencia de la mandíbula (M(S)), se obtiene de la suma de los momentos que cada fuerza ejerce sobre el sistema, esto es,

$$M(S) = M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI})$$

$$M(S) = U(R_{TAD})F_{TAD} + U(R_{TAI})F_{TAI}$$

$$M(S) = \left[\begin{pmatrix} 0 & -3,6 & -3 \\ 3,6 & 0 & -3,5 \\ 3 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 4,2 \\ 9,1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -3,8 & -3,1 \\ 3,8 & 0 & 3,5 \\ 3,1 & -3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 4,53 \\ 8,91 \end{pmatrix} \right] 10^{-2} Nm$$

$$M(S) = \left[\begin{pmatrix} -42,42 \\ -31,88 \\ 14,7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -44,835 \\ 31,185 \\ -15,855 \end{pmatrix} \right] 10^{-2} Nm$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M(S) = \begin{pmatrix} -87,255 \\ -0,695 \\ -1,155 \end{pmatrix} 10^{-2} Nm$$

b) Producto interior entre la suma de las fuerzas y la suma de los momentos

La fuerza resultante existe siempre que genere un momento igual a la suma de los momentos creados por las fuerzas que actúan sobre el sistema, esto exige que:

$$\langle [F_{TAD} + F_{TAI}], [M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI})] \rangle = 0$$

$$\langle [F_{TAD} + F_{TAI}], [M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI})] \rangle = \left\langle \begin{pmatrix} 0 \\ 8,73 \\ 18,01 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -87,255 \\ -0,695 \\ -1,155 \end{pmatrix} \right\rangle$$

$$\langle [F_{TAD} + F_{TAI}], [M_{CRM}(F_{TAD}) + M_{CRM}(F_{TAI})] \rangle = -14,73$$

Los resultados de la suma de los momentos indican valores distintos de cero y negativos en cada una de las filas de la matriz momento resultante. Por otro lado el resultado del producto interior entre la suma de las fuerzas y la suma de los momentos de dicha fuerza reflejó un valor distinto de cero.

De la matriz del momento resultante podemos observar:

Que la mandíbula efectúa alrededor del eje de lateral una inclinación ántero-caudal con una energía de rotación de 0,87255 newton por metro, lo que se puede verificar en la primera fila de la referida matriz resultante, $M(S)$.

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Que alrededor del eje ántero-posterior el movimiento de inclinación mandibular ocurre en el sentido cráneo-lateral con una energía menos intensa que la energía de rotación alrededor del eje lateral.

Que la inclinación que la mandíbula ejecuta alrededor del eje caudo-craneal tiene el sentido latero-posterior

La asimetría de la apófisis coronoides puede tener orígenes en una resorción condílea y que como consecuencia de dicha asimetría la línea de acción de la fuerza ejercida por el músculo temporal anterior izquierdo, está incluida en un plano distinto del plano que contiene a la línea de acción de la fuerza ejercida por el músculo temporal derecho, lo cual puede verificarse comparando los ángulos de proyección de ambas fuerzas musculares.

De los resultados del producto interior entre la suma de las fuerzas y la suma de los momentos podemos verificar que la mandíbula no experimenta movimiento de traslación, lo cual se verifica por el resultado distinto de cero del citado producto.

Terminamos diciendo que la metodología de contraste de hipótesis que hemos estado usando nuevamente nos ha permitido la validación de nuestra respuesta a la pregunta planteada precedentemente.

Queda como trabajo personal del lector, plantear preguntas relacionadas con la función biomecánica de las fibras posteriores y medias del músculo temporal, formular hipótesis y someterlas a procedimientos, que permitan validarlas. El autor de este libro, sugiere hacer uso de la metodología usada previamente en este capítulo.

4. Interacción Masetero-Mandibular

Este músculo se inserta por un extremo en el arco cigomático y por el otro en la superficie externa del ángulo mandibular. Está constituido por dos fascículos uno superficial y otro profundo.

El fascículo superficial tiene su origen en los dos tercios anteriores del borde inferior del arco cigomático y desde allí se dirige hacia adentro, atrás y abajo, terminando en el ángulo de la mandíbula y regiones próximas de la cara externa de la rama mandibular.

El fascículo profundo tiene su inicio craneal en el tercio posterior del arco cigomático, en la cara profunda y borde inferior de éste y desde allí se orienta hacia adentro, adelante y abajo, para terminar en la cara externa de la rama mandibular.

En la figura 7 se muestra el músculo masetero superficial derecho



Figura 7. Fascículo superficial del masetero superficial

De acuerdo a estas características anatómicas, cada uno de los haces de este músculo crea fuerzas de distintas particulares.

¿Qué movimientos induce a la mandíbula la contracción del músculo masetero superficial derecho?

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

Si la contracción de los fascículos superficiales del músculo masetero derecho genera fuerzas en la inserción mandibular, y todo el resto de musculatura permanece relajada, entonces:

La cara externa de la rama mandibular se traslada hacia afuera, adelante y arriba y la mandíbula realiza movimientos de inclinación alrededor de los tres ejes del espacio (lateral, anterior y craneal).

Nos corresponde contrastar esta hipótesis, los procedimientos a través de cuales realizaremos la validación siguen siendo los mismos usados en los contrastes anteriores.

i. Validación de los movimientos mandibulares bajo la acción del masetero superficial derecho.

El procedimiento de la validación de los movimientos de inclinación de la mandíbula, engendrados por la acción de la fuerza ejercida por los fascículos superficiales del músculo masetero, exige conocer las proyecciones de la fuerza que actúa sobre la mandíbula y el origen de ésta respecto del centro de resistencia. Una vez determinada la fuerza y sus proyecciones en las tres direcciones del espacio, la matriz posición del origen de ésta respecto del centro de resistencia de la mandíbula, procedemos a calcular el momento de esta fuerza referido al centro de resistencia. El conocimiento del momento de la fuerza, nos permitirá saber cuales son los movimientos de inclinación experimentados por la mandíbula. La expresión analítica de la línea de acción de la fuerza nos proporcionará la dirección del movimiento de traslación de la mandíbula.

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

a) Momento de la fuerza ejercida por el músculo masetero superficial

Supongamos que los fascículos superficiales del músculo masetero se contraen de modo que ejercen una fuerza sobre el ángulo mandibular de intensidad 5 newton. Los ángulos de proyección de esta fuerza están dentro del promedio, esto es, 70° con la dirección lateral, 65° con la dirección ántero-posterior y $32,93^\circ$ con la dirección caudo-craneal. El origen de esta fuerza dista del centro de resistencia de la mandíbula 3,5 cm. hacia afuera (L), 4 cm. hacia atrás (-A) y 0,5 cm. hacia abajo (-C). Esto nos permite escribir la fuerza realizada por el músculo masetero superficial (F_{MSD})

$$F_{MSD} = 5 \begin{pmatrix} \cos(70^\circ) \\ \cos(65^\circ) \\ \cos(32,93) \end{pmatrix} N \text{ con origen en } R_{MSD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -4 \\ -0,5 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

$$F_{MSD} = 5 \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} N \text{ con origen en } R_{MSD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -4 \\ -0,5 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

Ahora el momento de esta fuerza

$$M_{CRM}(F_{MSD}) = U(R_{MSD})F_{MSD}$$

$$U(R_{MSD})F_{MSD} = 10^{-2} \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & -4 \\ -0,5 & 0 & -3,5 \\ 4 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} Nm$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

$$M_{CRM}(F_{MSD}) = \begin{pmatrix} -17,875 \\ -15,55 \\ 14,325 \end{pmatrix} 10^{-2} Nm$$

b) Línea de acción de la fuerza ejecutada por el masetero superficial.

La línea portadora de la fuerza ejercida por el fascículo superficial del músculo masetero derecho está dada por la siguiente ecuación vectorial:

$$R(\alpha) = R_o + \alpha F$$

Esto es,

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -4 \\ -0,5 \end{pmatrix} + \alpha \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} 5$$

En la figura 8, se puede observar esta línea portadora de la fuerza .

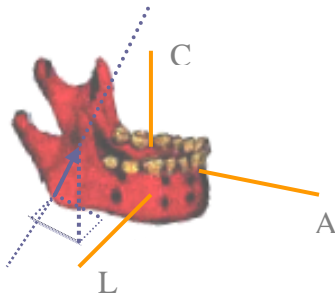


Figura 8. Línea portadora la fuerza del masetero superficial derecho

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

En el resultado de la matriz del momento de la fuerza ejercida por el fascículo superficial del músculo masetero podemos observar que la primera y segunda fila tiene valores negativos y distintos de cero, en la tercera fila de esta matriz se observa un valor también distinto de cero pero positivo. Además se observa que las dimensiones de esta matriz estan dadas en unidades MKS de energía.

De la ecuación de la línea portadora de la fuerza realizada por el músculo masetero superficial, en la parte deslizante, observamos proyecciones positivas en las tres direcciones del espacio, en la parte afín en dos de las direcciones del espacio las proyecciones son negativas, la segunda y tercera dirección y la primera positiva.

El movimiento de traslación que la mandíbula realiza bajo la acción de la fuerza en estudio ocurre hacia afuera adelante y arriba en la dirección 70° con la dirección lateral, 65° con la dirección anterior y $32,93^\circ$ con la dirección craneal, lo que puede comprobarse en la matriz deslizante de la línea portadora de la fuerza ejecutada por el músculo masetero superficial.

El resultado del matriz momento de la fuerza en estudio nos ha permitido verificar los movimientos de inclinación de la mandíbula, es así como la primera fila de esta matriz nos permite señalar que el movimiento de inclinación de la mandíbula alrededor del eje lateral acontece en el sentido ántero-caudal. El movimiento de inclinación alrededor del eje anterior, ocurre en el sentido cráneo-medial, como puede verificarse en la segunda fila de la matriz momento de la fuerza ejecutada por el músculo masetero superficial. Alrededor del eje craneal la mandíbula realiza una inclinación desde lateral hacia anterior, lo que se verifica en la tercera fila de la matriz momento de la fuerza en estudio.

Claramente análisis de las matrices momento y fuerza nos ha permitido validar la hipótesis propuesta para los movimientos de la mandíbula causado por la acción del fascículo superficial del músculo masetero.

Ahora podemos plantearnos la siguiente pregunta:

¿Qué movimientos induce a la mandíbula la contracción del músculo masetero superficial izquierdo?

El autor propone al lector que formule la respuesta a esta pregunta y que establezca todas las consideraciones necesarias para aplicar un procedimiento apropiado de contraste de la hipótesis propuesta

ii. Validación de los movimientos mandibulares bajo la acción del masetero superficial izquierdo.

Queda como trabajo para el lector establecer la metodología de validación de la hipótesis, señalar los resultados y realizar una adecuada discusión de estos resultados.

Una vez que el lector haya contrastado la respuesta a la pregunta propuesta precedentemente, deberá plantearse problemas relacionados con la interacción conjunta de los músculos masetero superficial derecho e izquierdo con la mandíbula. Por supuesto que tendrá que formular hipótesis y realizar los correspondientes contrastes, analizar y discutir sus resultados.

5. Interacción conjunta del los músculos masetero y temporal con la mandíbula.

Nos parece interesante formular problemas relacionados con la interacción simultánea de los músculos temporal y masetero con la mandíbula. Empezaremos por preguntarnos: ¿Que clase de movimientos ejecuta la mandíbula en una eventual interacción conjunta del músculo temporal derecho y masetero derecho con la mandíbula?

La respuesta a esta pregunta exige establecer algunas consideraciones previas. En efecto, supongamos que los músculos en estudio se contraen de tal modo que ejercen fuerzas en sus correspondientes inserciones mandibulares y consideremos que el resto de la musculatura elevadora de la mandíbula permanece relajada. Además no podemos dejar de considerar que las líneas que unen las correspondientes inserciones musculares están contenidas en planos distintos y no paralelos.

Bajo las consideraciones anteriores afirmamos que:

La mandíbula experimenta sólo movimientos de inclinación alrededor de los tres ejes del espacio y no ejecutará movimiento de traslación.

i. Validación de los movimientos mandibulares bajo la acción conjunta del masetero superficial derecho y temporal dercho

La metodología mediante la cual someteremos a prueba de hipótesis la respuesta a la pregunta planteada, consiste fundamentalmente en determinar la expresión analítica, para el momento resultante de las fuerzas que actúan sobre el sistema, referido al centro de resistencia de la mandíbula

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

humana y demostrar que la suma de las fuerzas que actúan sobre la mandíbula son incompatibles con la suma de los momento de dichas fuerza y por lo tanto el movimiento de traslación de la mandíbula no existe. Esta metodología de prueba de hipótesis, demanda establecer el modo como cada uno de los músculos en estudio actúa sobre la mandíbula y conocer el origen de estas acciones respecto del centro de resistencia de la mandíbula. Entonces supongamos que el masetero superficial derecho actúa en iguales condiciones con las que fue analizado en la tesis precedente, esto es con una fuerza dada por:

$$F_{MSD} = 5 \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} N \text{ con origen en } R_{MSD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -4 \\ -0,5 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

Y que el músculo temporal derecho lo hace con una fuerza de intensidad 5 newton hacia arriba y atrás en dirección 45° respecto del eje craneal, es decir,

$$F_{TD} = 5 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,707 \\ 0,707 \end{pmatrix} N \text{ con origen en } R_{TD} = \begin{pmatrix} 3,5 \\ -4 \\ 4 \end{pmatrix} 10^{-2} m$$

Ver Fig.9

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

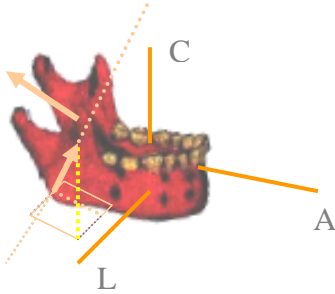


Figura 9. Fuerza ejercida por del masetero superficial derecho y el temporal derecho

a) Momento resultante de las fuerzas ejercidas por los músculos masetero superficial y el temporal derecho

La acción conjunta de los músculos masetero superficial y temporal derecho, induce a la mandíbula movimientos de inclinación, los cuales se pueden determinar mediante la suma de los momentos de dichas fuerzas, respecto del centro de resistencia de la mandíbula. En este caso:

$$U(R_{MSD})F_{MSD} + U(R_{TD})F_{TD} = 10^{-2} \left[\begin{pmatrix} 0 & 0,5 & -4 \\ -0,5 & 0 & -3,5 \\ 4 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -4 & -4 \\ 4 & 0 & -3,5 \\ 4 & 3,5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,707 \\ 0,707 \end{pmatrix} \right]$$

$$U(R_{MSD})F_{MSD} + U(R_{TD})F_{TD} = \left[\begin{pmatrix} -17,875 \\ -15,55 \\ 14,325 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -12,3725 \\ -12,3725 \end{pmatrix} \right] 10^{-2} Nm$$

$$U(R_{MSD})F_{MSD} + U(R_{TD})F_{TD} = \begin{pmatrix} -17,875 \\ -27,9225 \\ 1,9525 \end{pmatrix} 10^{-2} Nm$$

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

b) Producto interior entre la suma de las fuerzas y la suma de los momentos

Para analizar la compatibilidad entre la suma de las fuerzas y la suma de los momentos procedemos a calcular el producto interior entre el vector suma de los momentos de las fuerzas musculares en estudio y el vector suma de dichas fuerzas, esto es,

$$\left\langle \begin{pmatrix} -17,875 \\ -27,9225 \\ 1,9525 \end{pmatrix}, \left[5 \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,43 \\ 0,84 \end{pmatrix} + 5 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,707 \\ 0,707 \end{pmatrix} \right] \right\rangle \neq 0$$

c) Resultados y Discusión.

Del resultado de la suma de los momentos de las fuerzas que actúan sobre la mandíbula, se puede observar:

Que en cada una de las filas de la matriz momento los valores son distintos de cero, en dos de ellas negativos, primera y segunda fila y en la última positivo.

También observamos:

Que el resultado del producto interior entre la suma de los momentos y la suma de las fuerzas, es un valor numérico distinto de cero. Esto nos permite señalar que no existe una fuerza resultante, proveniente de la interacción de los músculos en estudio con la mandíbula, pero también quiere decir que no ocurre movimiento de traslación mandibular.

Que la matriz resultado de la suma de los momentos de las fuerzas que actúan sobre la mandíbula, tenga valores distintos de cero en cada una de sus filas, significa que ésta experimenta movimientos de inclinación en cada uno de los ejes del espacio. Así se puede verificar, en la primera fila de

Fuerzas y Momentos generados por Músculos Masticadores

esta matriz, que la mandíbula realiza una caudo inclinación. Al mismo tiempo alrededor del eje anterior, ejecuta una inclinación látero-craneal. Finalmente alrededor del eje craneal, ocurre una giro versión látero-anterior, lo que se puede verificar, en la tercera fila de la matriz suma de los momentos de las fuerzas que actúan sobre la mandíbula.

Los resultados, relacionados con la suma de los momentos de las fuerzas desarrolladas por los músculos masetero superficial y temporal derecho y el resultado del producto interior entre la suma de las fuerza y la suma de los momentos, discutidos en los párrafos precedentes, deja en evidencia el valor de verdad de la hipótesis planteada.

ii. Movimientos mandibulares bajo la acción de los músculos masetero superficial y temporal

No obstante que el autor está convencido que después de todos los procedimientos de contrastes de hipótesis realizados hasta este momento, el lector ha adquirido competencias para plantear problemas relacionados con la biomecánica de los músculos masticadores, resolver dichos problemas y modelar soluciones relacionados con estos problemas Plantearemos la última pregunta de este capítulo:

¿Que movimientos provoca a la mandíbula la contracción simultánea de todos los músculos masticadores?