

Capítulo 2

Anatomía funcional de la mandíbula

2.1. Introducción

En este capítulo se hace una somera descripción anatómica de la mandíbula humana. No se pretende alcanzar el detalle con el que lo haría un anatomista, ya que el interés no se centra en la descripción misma de la mandíbula, sino en los músculos, huesos, órganos, etc. que intervienen en la masticación. Sin sacrificio del rigor, se describe de una forma sencilla cómo se produce la masticación. De ahí el nombre que recibe el capítulo.

El objetivo último de este interés por entender la función de la mandíbula es la construcción de un modelo de elementos finitos de la misma. Con dicho modelo se intentará estimar el estado de tensiones que se produce en el hueso que la forma y para ello es necesario conocer su geometría, las cargas y las condiciones de contorno del problema mecánico asociado. A estos tres aspectos del problema pretende dar respuesta este capítulo. La geometría está directamente relacionada con la forma del hueso maxilar inferior o mandíbula; las cargas, con los músculos masticatorios y las condiciones de apoyo, con los movimientos masticatorios y con la articulación que une la mandíbula al hueso temporal, llamada articulación temporomandibular (ATM).

En primer lugar, se hace una descripción general de los huesos de la cabeza, necesaria para situar posteriormente las inserciones de algunos músculos masticatorios. Entre este grupo de huesos se dedica un apartado especial al maxilar inferior y la arcada dentaria, que aunque no es propiamente un hueso se describe junto a la mandíbula. A continuación, y siguiendo con los huesos, se describe la ATM: los cuerpos que se articulan y los ligamentos que controlan los movimientos relativos dentro de la articulación. Sigue un apartado dedicado a la descripción de los músculos que se insertan en la

mandíbula, de los cuáles reciben un tratamiento más extenso los llamados músculos masticatorios. Por último se habla de la acción de estos músculos en los movimientos libres de la mandíbula y en los movimientos masticatorios: cómo son estos movimientos, qué músculos entran en juego en cada uno de ellos y qué fuerzas ejercen.

2.2. Huesos del cráneo

El cráneo constituye el esqueleto óseo de la cabeza, alberga el encéfalo y los órganos de los sentidos, da soporte estructural a la cara y contiene los tramos iniciales de los tractos gastrointestinal y respiratorio.

El cráneo puede dividirse en neurocráneo y viscerocráneo. El primero, protege al encéfalo y se representa de color naranja en la figura 2.1. Comprende los siguientes huesos: el occipital (1), los esfenoides (2), porción escamosa (3) y porción petrosa o mastoidea (4) de los temporales, los parietales (5) y el frontal (6). El viscerocráneo, de color gris en la misma figura, corresponde al esqueleto facial y comprende: los cornetes inferiores, el vómer, el hueso incisivo y los palatinos, que no aparecen en la vista lateral del cráneo; el etmoides (7), el lacrimal (8), el nasal (9), los maxilares superiores (10), los cigomáticos (11), la porción timpánica (12) y la apófisis estiloide (13) de los temporales y por fin el maxilar inferior o mandíbula (14). Existe otro hueso en la cabeza, el hioides, que no pertenece a ninguna de las dos partes comentadas. De hecho es el único hueso del esqueleto que no se une a otro hueso y tan sólo sirve como inserción de diversos músculos que en su mayoría se insertan también en la mandíbula.

Existen fundamentalmente dos mecanismos de desarrollo del cráneo que dan lugar al condrocraqueo, en azul en la figura 2.2 y al desmocráneo, en amarillo en dicha figura. En el primer caso se produce una sustitución de tejido cartilaginoso por tejido óseo, mientras que en el segundo caso se producen condensaciones de tejido conjuntivo que se osifican directamente. El maxilar inferior o mandíbula pertenece al desmocráneo y es por tanto un hueso de origen membranoso.

2.3. Mandíbula

La mandíbula está unida al resto del cráneo únicamente por un par de articulaciones sinoviales. Se origina a partir de un esbozo de tejido conectivo y en ella se distinguen un cuerpo (1) (ver figura 2.3) y una rama ascendente (2) a cada lado. En el cuerpo de la mandíbula del adulto puede apreciarse el proceso alveolar (3), en el que las raíces de los dientes dan lugar a las eminencias alveolares (4).

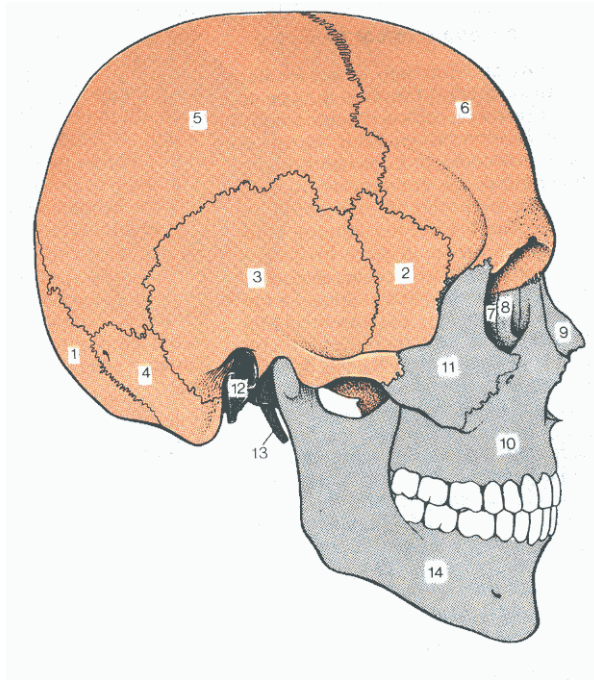


Figura 2.1: Neurocráneo (naranja) y viscerocráneo (gris). Figura tomada de Kahle et al. [83].

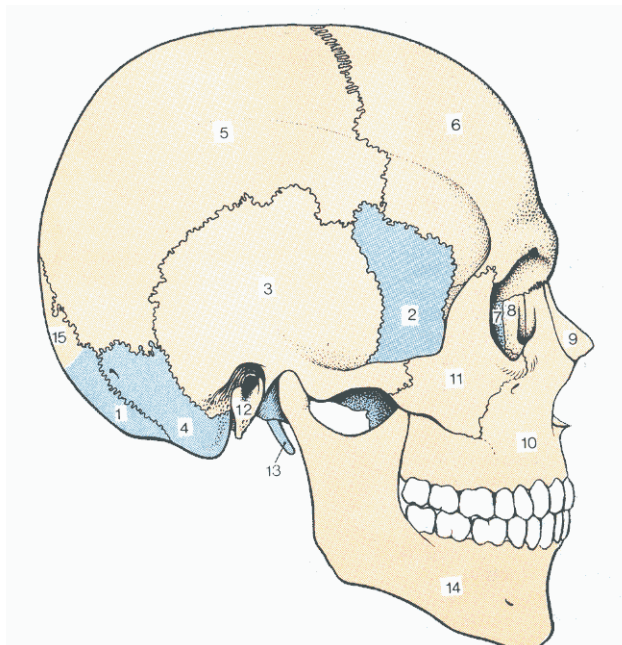


Figura 2.2: Desmocráneo (amarillo) y condrocráneo (azul). Figura tomada de Kahle et al. [83].

En la vejez, tras la pérdida de los dientes estos procesos alveolares sufren una regresión. En la parte anterior del cuerpo mandibular se encuentra la protuberancia mentoniana (5) compuesta por dos prominencias pares llamadas tubérculos mentonianos. En la cara externa, en la vertical del segundo premolar, se encuentra el agujero mentoniano (6). La línea oblicua (7) se extiende del cuerpo a la rama mandibular. El ángulo de la mandíbula (8) se forma en la unión del cuerpo con la rama.

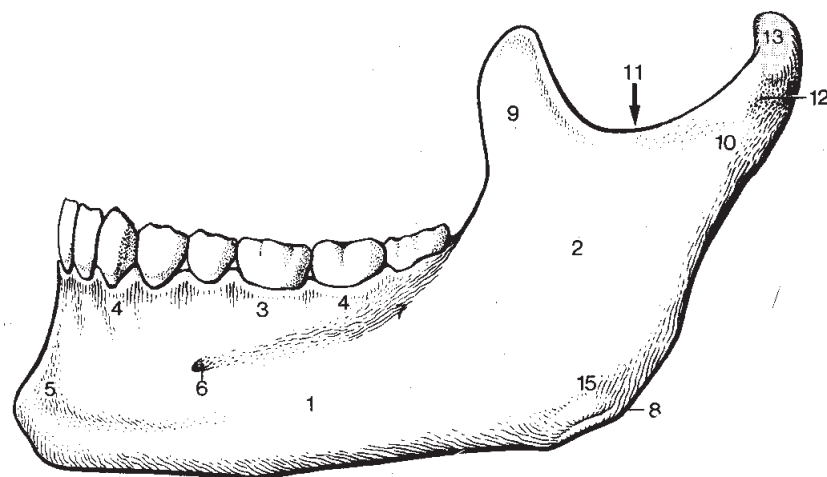


Figura 2.3: Mandíbula. Vista lateral. Figura tomada de Kahle et al. [83].

La rama de la mandíbula tiene dos apófisis: la apófisis coronoides (9) (ver figura 2.3) y la apófisis condilar o cóndilo (10). En el cóndilo se aprecia un cuello (12) y una cabeza (13) con la superficie articular. Entre ambas apófisis se extiende la incisura o escotadura mandibular (11). En la cara interna de la cabeza del cóndilo, por debajo de la superficie articular, se localiza una pequeña depresión denominada fosa pterigoidea (14), donde se inserta el músculo pterigoideo lateral. En la proximidad del ángulo se identifica una superficie rugosa conocida como tuberosidad masetérica (15) donde se inserta el músculo masetero. En la cara interna de la mandíbula, en la rama, se sitúa el orificio mandibular (16), que sirve de entrada al canal mandibular por el que discurren nervios y vasos sanguíneos. Esta entrada está parcialmente oculta por una fina espina ósea denominada lín-gula mandibular (17). El surco milohioideo (18) comienza en el agujero mandibular y se extiende oblicuamente en dirección caudal. Por debajo del surco milohioideo se halla la tuberosidad pterigoidea (19) donde se inserta el músculo pterigoideo medial.

La superficie interna del cuerpo mandibular se halla dividida por una cresta oblicua (ver figura 2.5), la línea milohioidea (20), donde se inserta el músculo milohioideo. Por debajo de esta línea

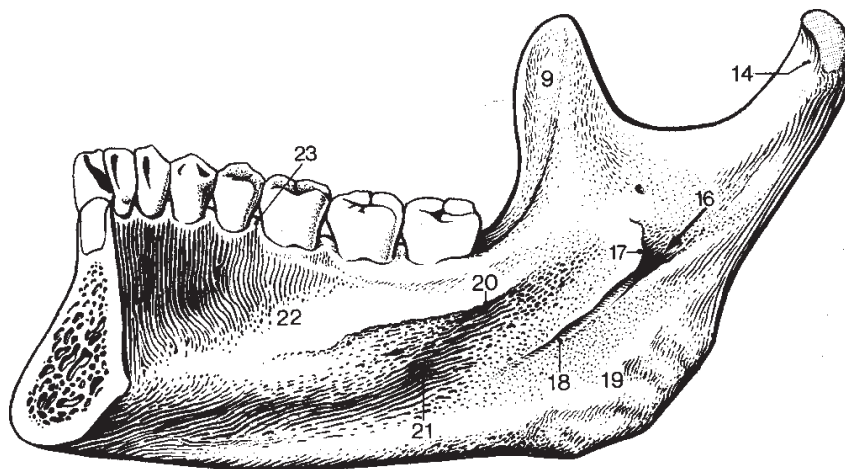


Figura 2.4: Mandíbula. Vista medial. Figura tomada de Kahle et al. [83].

milohioidea se halla la fosa submandibular (21) y por encima de ella y algo más anterior la fosa sublingual (22). Los alvéolos están separados por tabiques interalveolares (23). En la zona interna y anterior del cuerpo mandibular se ve la espina mentoniana (24), constituidas por dos eminencias llamadas apófisis genianas y, por fuera y algo por debajo de ellas, se distinguen las fosas digástricas (25), donde se insertan los músculos del mismo nombre.

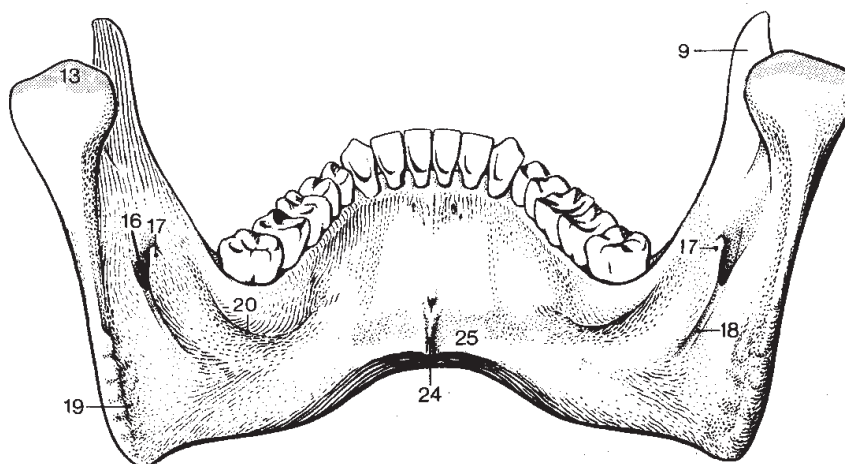


Figura 2.5: Mandíbula. Vista posterior. Figura tomada de Kahle et al. [83].

2.4. Articulación temporomandibular

La ATM es una articulación sinovial que une la mandíbula al cráneo, concretamente los cóndilos al hueso temporal. El contacto entre ambas partes óseas se produce a través de un disco articular que reparte sobre el hueso temporal las cargas que el cóndilo le transmite. Estas cargas no son otra cosa que las reacciones a las fuerzas masticatorias. Los movimientos relativos entre mandíbula y cráneo está limitados por una serie de ligamentos. Seguidamente se hará una breve descripción de las partes de la articulación.

Disco articular

La ATM se halla dividida en dos partes por un disco articular (1) (ver figura 2.6). Las superficies articulares son, de un lado la cabeza del cóndilo (2) y de otro la fosa mandibular del hueso temporal o fosa glenoidea (3) con la eminencia articular (4).

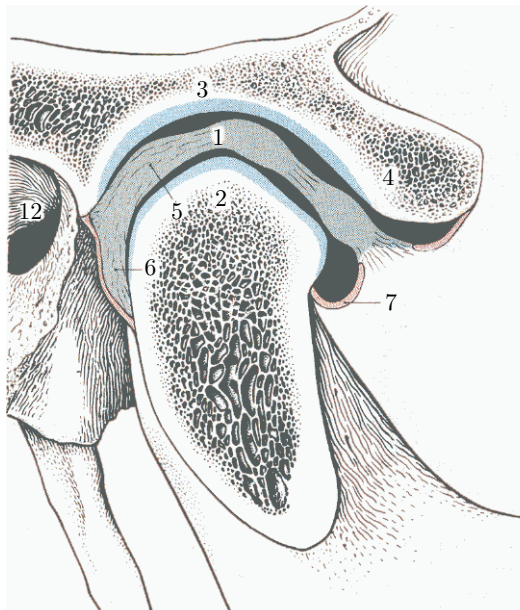


Figura 2.6: Sección sagital de la ATM. Figura tomada de Hylander [68].

El disco articular forma una envoltura móvil para la cabeza del cóndilo. Tiene forma oval, siendo su parte central considerablemente más gruesa que su periferia. Está directamente unido al cóndilo, medial y lateralmente, en los polos del cóndilo, lo que le obliga a moverse con él en la apertura y cierre de la boca.

Su porción anterior está formada por tejido fibroso con algunas células cartilaginosas dispersas

entre las fibras. La porción posterior (5) es bilaminar. En su parte superior se fija a la pared posterior de la fosa glenoidea y consiste en tejido laxo fibroelástico, mientras que en la parte inferior se une al borde posterior de la cabeza del cóndilo y está constituido por tejido fibroso muy denso. Anteriormente, el disco se halla firmemente unido a la cápsula articular y a la porción superior del músculo pterigoideo lateral en algunos individuos [114]. De esta forma la contracción de esta porción del músculo provoca un movimiento relativo del disco respecto al cóndilo, en dirección anteromedial, que ocurre durante la apertura de la boca.

La ausencia de irrigación sanguínea e inervación de la zona central del disco, así como de los tejidos que cubren las superficies articulares de la mandíbula y el hueso temporal, es buena prueba de la considerable fuerza de reacción que soporta esta zona de la articulación.

Cóndilos

La superficie articular de la mandíbula comprende las caras superior y anterior de los cóndilos. En un adulto el cóndilo tiene entre 15 y 20 mm de longitud y entre 8 y 10 mm de ancho. Su eje largo es perpendicular a la rama mandibular y debido a la inclinación de ésta, los ejes de los cóndilos izquierdo y derecho se cortan formando un ángulo comprendido entre 145 y 160 grados. La superficie articular del cóndilo es fuertemente convexa vista desde un lateral y no tanto vista desde frente y además está visiblemente inclinada hacia delante.

Fosa glenoidea y eminencia articular

La fosa glenoidea o fosa mandibular (3) es la concavidad del temporal donde se aloja el cóndilo. Su pared anterior se denomina eminencia articular (4) y su pared posterior, apófisis postglenoidea. La parte superior de la fosa glenoidea es una pared ósea muy delgada, lo cual puede indicar que no es una zona que soporte mucha carga.

La eminencia articular es la barra de hueso compacto que forma la raíz posterior del arco cigomático y la pared anterior de la fosa mandibular. Tiene la apariencia de una silla de montar: vista desde un lateral es convexa, mientras que vista de frente es ligeramente cóncava, aunque el grado de convexidad y de concavidad es altamente variable de un individuo a otro.

La pendiente anterior de la eminencia articular, denominada plano preglenoideo, desciende suavemente desde la base del hueso temporal. Durante la apertura de la boca, el cóndilo y el disco articular se mueven en dirección anterior por encima de la cresta de la eminencia articular y sobre el plano preglenoideo. Cuando la boca se cierra disco y cóndilo vuelven a alojarse en la fosa glenoidea

viéndose facilitado su movimiento por la suave pendiente del citado plano.

El tejido fibroso que cubre la eminencia articular es bastante grueso y firme. Además, dicha eminencia articular se caracteriza por la densidad del hueso que la compone. Estas características morfológicas refuerzan la hipótesis de que es en esta zona de la articulación donde se transmite la mayor parte de las reacciones entre la mandíbula y el hueso temporal.

Cápsula articular y ligamentos

La ATM está rodeada de una cápsula articular (7) (ver figura 2.7) fibrosa reforzada en algunas zonas por ligamentos. Superiormente se inserta en la región escamosa del temporal. Posteriormente se inserta en la apófisis postglenoidea y en la fisura timpanoescamosa, que une las porciones timpánica y escamosa del hueso temporal. Inferiormente se inserta en el cuello del cóndilo, cerrando de esta forma la articulación.

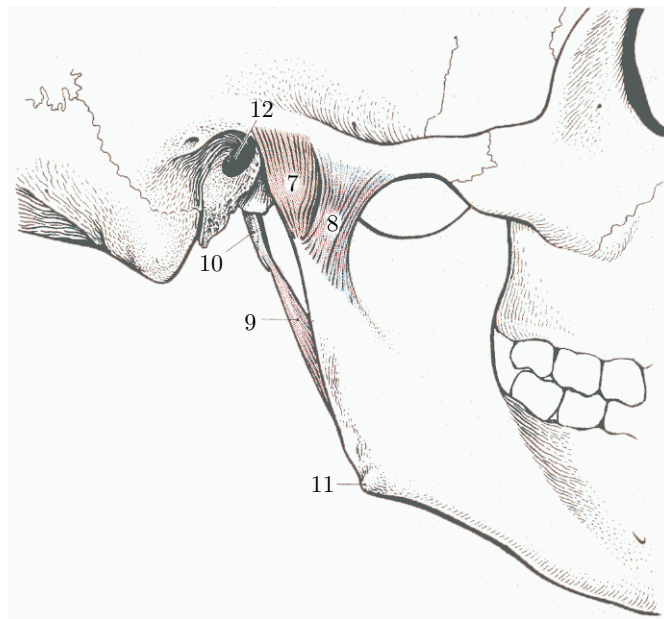


Figura 2.7: Vista lateral de la ATM. Figura tomada de Kahle et al. [83].

La cápsula articular es bastante delgada anteromedial, medial y posteriormente y más gruesa anterolateral y lateralmente. Este refuerzo fibroso se conoce como ligamento lateral externo o ligamento temporomandibular (8). De fibras oblicuas, se inserta en la parte posterior del cuello del cóndilo y en el tubérculo articular, pequeña protuberancia del hueso temporal situada lateralmente respecto a la eminencia articular. Medialmente al ligamento lateral externo se encuentra el ligamento

lateral interno, otra porción de fibras menos numerosas que las anteriores y orientadas horizontalmente. Se insertan en el polo lateral del cóndilo, en la parte posterior del disco y en el tubérculo articular.

La función principal de la cápsula articular y de los dos ligamentos laterales es limitar los movimientos de la mandíbula y evitar que el cóndilo deslice en exceso sobre el plano preglenoideo y supere la eminencia articular, produciendo una luxación temporomandibular.

El ligamento lateral externo es el principal elemento suspensorio de la mandíbula durante movimientos de apertura moderados, limitados también por las fibras anteriores de la cápsula articular. Junto con el ligamento lateral interno limita la desviación lateral. Las fibras horizontales de este último resisten el movimiento posterior del cóndilo.

Los ligamentos descritos hasta ahora son los ligamentos intrínsecos de la articulación. De entre los ligamentos extrínsecos hay que destacar, por su relación con los movimientos de la mandíbula, el ligamento esfenomandibular (13) (ver figura 2.8) y el ligamento estilomandibular (9).

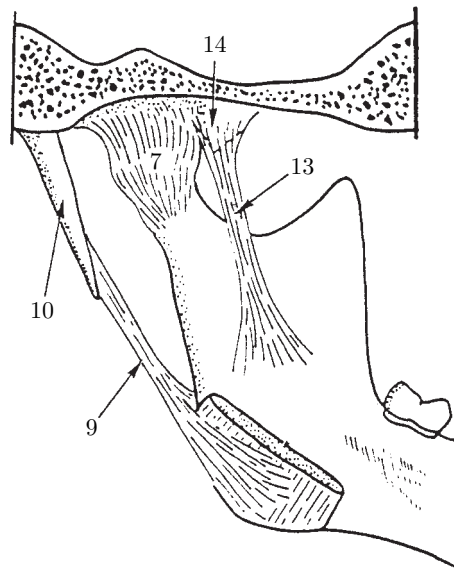


Figura 2.8: Vista medial de la ATM. Figura tomada de Hylander [68].

El ligamento estilomandibular se extiende desde la apófisis estiloide del hueso temporal (10) hasta el ángulo de la mandíbula. Sólo entra en carga con la protrusión de la mandíbula, movimiento que la lleva hacia delante, siendo su función precisamente limitar dicho movimiento.

Por último, el ligamento esfenomandibular (13) nace en la espina esfenoidal y se inserta medialmente en la rama de la mandíbula, a la altura de la línula. Por su posición y orientación parece

ayudar al ligamento estilomandibular a limitar la protrusión. Moss [120] sugirió, por el contrario, que este ligamento nada tiene que ver con la ATM y que tan sólo protege los vasos sanguíneos y nervios que pasan a través del agujero mandibular, de las tensiones de tracción que tienen lugar en la apertura y cierre de la boca.

2.5. Músculos que intervienen en la masticación

Cuatro potentes músculos se consideran responsables de la masticación: masetero, temporal, pterigoideo lateral y pterigoideo medial. Estos cuatro, llamados músculos masticatorios, junto con otros músculos de la cara, con la lengua, el paladar y el hueso hioides, funcionan de forma coordinada durante la masticación. A continuación se realiza una breve descripción de los mismos, indicando su función, zonas de inserción y orientación.

2.5.1. Músculos masticatorios

Masetero

El masetero (1) (ver figura 2.9) es el músculo más potente del cuerpo humano. Con forma de lámina rectangular, se extiende desde el arco cigomático hasta la superficie inferior del ángulo de la mandíbula. Está dividido en dos partes: una porción superficial (2) y otra profunda de menor tamaño (3).

El masetero superficial nace en el borde inferior del hueso cigomático. Las fibras anteriores parten de la esquina exterior del arco cigomático y las posteriores de la sutura cigomáticotemporal. En una vista lateral se observan sus fibras orientadas hacia abajo y hacia atrás, insertándose a lo largo de todo el ángulo de la mandíbula. Visto de frente (figura 2.10) aparece dirigido hacia abajo y en dirección medial.

La inserción de esta porción del músculo se extiende a lo largo del tercio inferior del borde posterior de la rama, el ángulo y el borde inferior del cuerpo mandibular hasta la zona del tercer molar cubriendo aproximadamente la mitad inferior de la cara exterior de la rama.

El masetero profundo y el masetero superficial se unen anteriormente si bien posteriormente se encuentran separados. Las fibras del masetero profundo surgen a lo largo del arco cigomático, prácticamente en toda su longitud; precisamente, hasta la pendiente anterior de la eminencia articular. La zona de inserción se sitúa por encima de la inserción del masetero superficial; en concreto, en la rama de la mandíbula y formando un triángulo, con la base en la parte posterior y el vértice en la anterior.

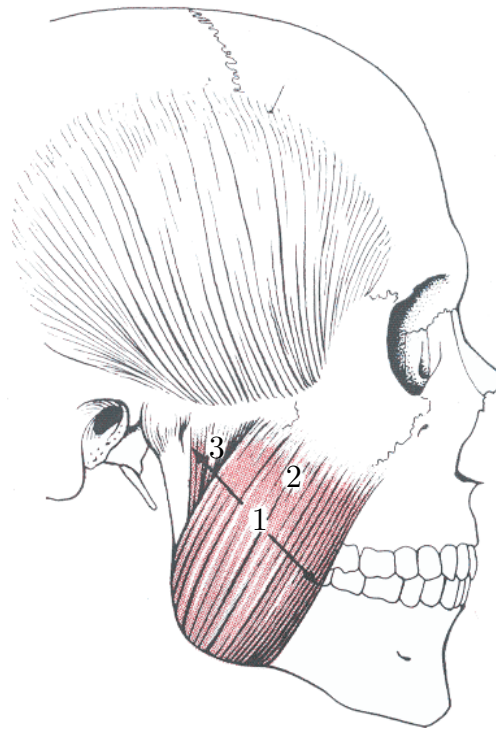


Figura 2.9: Vista lateral del masetero. Figura tomada de Kahle et al. [83].

En la vista lateral de la figura 2.9 se aprecia que sus fibras, que están alineadas casi verticalmente, se cruzan con las del masetero profundo formando un ángulo de entre 30 y 40 grados.

El masetero es un potente elevador de la mandíbula. Su porción profunda ejerce una fuerza vertical sobre ella; en cambio, la porción superficial ejerce una fuerza vertical y ligeramente anterior, que es prácticamente perpendicular al plano oclusal de los molares. La fuerza que ejerce el masetero sobre la mandíbula tiene también una componente lateral de la que son responsables las dos porciones del mismo pero especialmente la profunda.

Temporal

El músculo temporal (4) (ver figura 2.11) tiene forma de abanico en su origen, situado sobre la superficie lateral del cráneo y en la fascia temporal. La región de inserción de este amplio músculo ocupa en su mayor parte una depresión del hueso temporal, denominada fosa temporal. Abarca igualmente una estrecha banda del hueso parietal, la mayor parte del temporal escamoso, la cara temporal del hueso frontal, la cara temporal del ala mayor del hueso esfenoides y el septum postorbital.

Los haces de fibras del músculo temporal convergen hacia la abertura que deja el arco cigomático

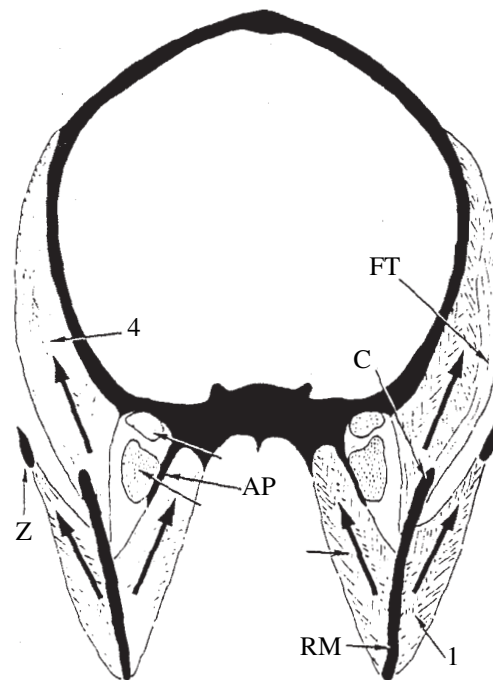


Figura 2.10: Sección coronal del cráneo. Se observan los músculos masticatorios y la dirección aproximada de las fuerzas que éstos ejercen. También se puede apreciar la sección de la rama mandibular (RM), del cóndilo (C), del arco cigomático (Z), de la fascia temporal que cubre dicho músculo (FT) y de la apófisis pterigoidea (AP). Figura tomada de Hylander [68].

y la cara lateral del cráneo (asa de la calavera), en el centro de la cual se encuentra al ápice de la apófisis coronoide. Las fibras anteriores (5), las más abundantes, son verticales y si nos acercamos al centro del músculo las fibras se van inclinando progresivamente, de tal forma que las posteriores (7) son prácticamente horizontales en su inserción en el hueso temporal; se curvan alrededor de la raíz posterior del arco cigomático a la altura de la eminencia articular y se dirigen verticalmente hacia la mandíbula.

Las porciones media (6) y posterior (7) del músculo se insertan en el ápice de la apófisis coronoide y a lo largo de la pendiente posterior hasta la zona más profunda de la escotadura mandibular. Las fibras superficiales de la porción anterior (5) se insertan en el ápice de la apófisis coronoide, en su cara anterior y en la cara anterior de la rama mandibular, mientras que las fibras interiores se insertan en la cara medial la rama. Estos dos últimos grupos de fibras envían sendos tendones que se dirigen hacia el extremo posterior del proceso alveolar. El interior, más largo y fuerte, alcanza la

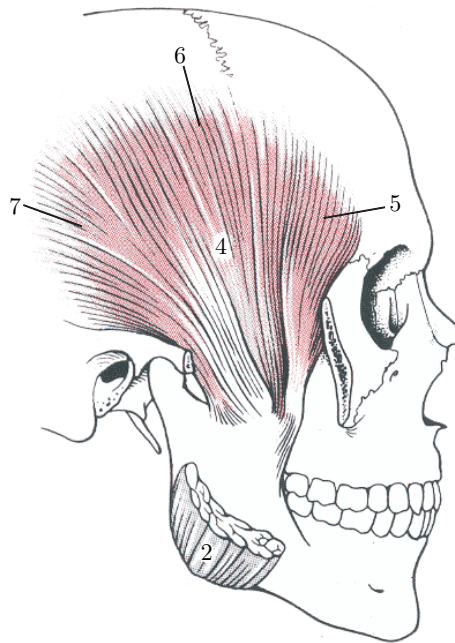


Figura 2.11: Vista lateral del músculo temporal y sus diferentes porciones. Figura tomada de Kahle et al. [83].

zona del tercer molar inferior y el superficial está unido al borde anterior de la apófisis coronoide y la cara anterior de la rama.

La función principal del músculo temporal es elevar la mandíbula. Su forma de abanico hace que la dirección de tracción varíe dependiendo de las fibras que se encuentren activas.

Parece lógico pensar que las fibras posteriores, que están alineadas horizontalmente, ayuden en el movimiento de retrusión. Sin embargo estas fibras se curvan anteriormente para insertarse en la muesca de la mandíbula en dirección vertical y es en esta dirección como actúan sobre ella. Al pasar cerca de la eminencia articular es probable que realicen una función de estabilización de la ATM. La porción media de fibras, orientadas en dirección oblicua, ejercen una fuerza que permite tanto la elevación de la mandíbula como su retrusión. La mayor parte de las fibras anteriores ejercen una tracción vertical. Las que se originan en el septum postorbital tiran de la mandíbula hacia arriba y ligeramente hacia delante. Por último, las fibras anteriores profundas tiran hacia arriba y en dirección medial.

Pterigoideo medial

Este potente músculo rectangular, (8) en la figura 2.12, está situado en la cara medial de la rama mandibular y puede considerarse homólogo del masetero a ese lado de la rama, aunque es un poco más pequeño y menos potente.

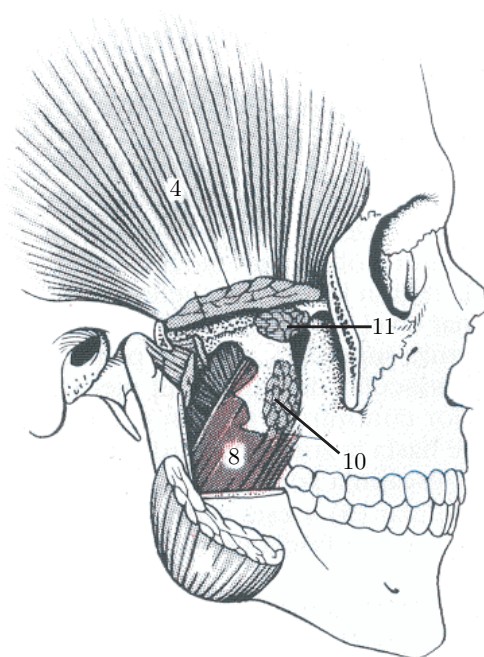


Figura 2.12: Vista lateral del pterigoideo medial. Las dos porciones del pterigoideo lateral, (10) y (11), así como el temporal, (4), aparecen seccionados por claridad. Figura tomada de Kahle et al. [83].

Tiene su origen en la fosa pterigoidea, depresión existente entre las láminas pterigoideas del hueso esfenoides. Las fibras más profundas surgen de firmes tendones en la superficie medial de la lámina pterigoide lateral. Anterior y lateralmente respecto a esta porción profunda se sitúa otro haz de fibras, que constituyen la porción superficial del músculo y que se originan en la cara lateral de la lámina pterigoide lateral y en la tuberosidad maxilar.

El pterigoideo medial discurre principalmente hacia abajo, hacia atrás y en dirección lateral para insertarse en la superficie medial del ángulo de la mandíbula, en un área aproximadamente triangular localizada entre dicho ángulo y el surco milohioideo.

En una vista lateral la orientación global de las fibras de este músculo es similar a la porción superficial del masetero y por tanto se considera un elevador de la mandíbula. Sin embargo, a diferencia de éste que desarrolla una fuerza con una pequeña componente lateral, el pterigoideo medial

ejerce una fuerza con una componente medial, importante en el movimiento de desviación lateral.

Pterigoideo lateral

Este músculo (9) tiene dos porciones, superior (10) e inferior (11), como se aprecia en la figura 2.12, en las que aparecen seccionados, y en la figura 2.13.

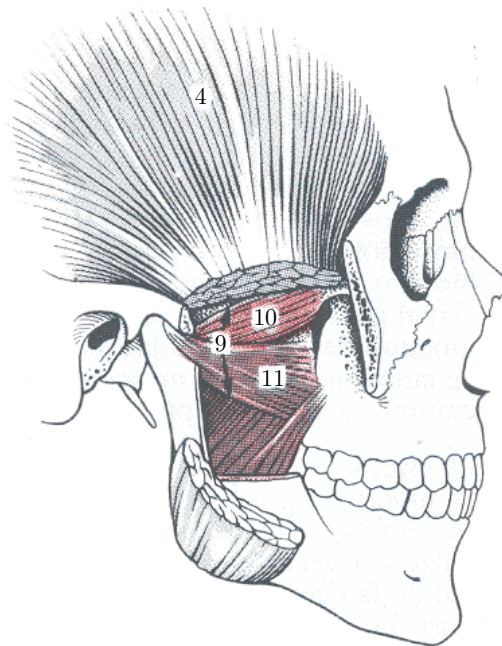


Figura 2.13: Vista lateral de las dos porciones, superior (10) e inferior (11), del pterigoideo lateral (9). También se puede apreciar el pterigoideo medial: la porción superficial, anterior, está situada lateralmente a la porción inferior del pterigoideo lateral y la porción profunda está situada medialmente a la misma. Figura tomada de Kahle et al. [83].

La porción superior tiene su origen en la superficie infratemporal del ala mayor del hueso esfenoides. A partir de su origen las fibras de esta porción se dirigen hacia atrás, horizontal y lateralmente. La porción inferior, que es aproximadamente tres veces mayor que la porción superior, surge de la superficie exterior de la lámina pterigoidea lateral. Sus fibras también se dirigen hacia atrás y lateralmente, como las de la porción superior, pero en este caso no en dirección horizontal, sino hacia arriba, formando ambas un ángulo de 45 grados aproximadamente.

Las dos porciones del pterigoideo lateral están separadas en su origen pero se unen justo enfrente de la ATM. Las fibras de la porción superior se insertan principalmente en una cavidad rugosa

situada en la superficie anteromedial del cuello del cóndilo, llamada fosita pterigoidea, pero una pequeña porción se inserta directamente en la parte anteromedial de la cápsula y el disco articular de la ATM [170, 171]. Todas las fibras de la porción inferior se insertan en la fosita pterigoidea y su periferia.

Meyenberg [114] aprecia una cierta disparidad en la morfología del músculo de unos individuos a otros. Este autor diseccionó 25 ATMs y comprobó que, tal como se acaba de decir, en todos los individuos las dos porciones del músculo se unían enfrente de la ATM, en contra de la opinión de algunos autores [60, 66]. Sin embargo, en el 40% de los casos la porción superior no se insertaba ni en el disco ni en la cápsula articular, sino que lo hacía exclusivamente en la fosita pterigoidea. Esta disparidad siembra ciertas dudas sobre el papel que juega el pterigoideo lateral durante la apertura de la boca, ya que es probable que no ayude al movimiento relativo entre cóndilo y eminencia articular sino que su misión sea otra.

La fuerza resultante que ejerce sobre el cóndilo la porción superior del músculo está dirigida hacia delante y en dirección medial. Vista de lado, es prácticamente perpendicular a la superficie posterior de la eminencia articular y a la cara del cóndilo que está enfrentada a ésta. Parece por tanto que esta porción del músculo tiene una misión de estabilización del cóndilo, al empujarlo contra la eminencia articular durante la masticación y la incisión.

La fuerza que desarrolla la porción inferior sobre el cóndilo está dirigida hacia delante, medialmente y hacia abajo. Comparado con la porción superior su dirección de tracción se aproxima más al plano tangente a la superficie articular de la ATM. La contracción bilateral de ambas porciones inferiores, derecha e izquierda, tira de los cóndilos y de los discos, que de esta forma superan la eminencia articular en el movimiento de retrusión. La contracción unilateral de dicha porción tira del cóndilo hacia abajo, hacia delante y hacia dentro, produciendo una desviación lateral.

Durante el cierre de la boca ambas porciones experimentan una contracción excéntrica (están en tensión pero se alargan), ya que el cóndilo vuelve hacia atrás. En estas condiciones, el músculo pterigoideo hace de estabilizador de la articulación controlando los movimientos del cóndilo.

2.5.2. Otros músculos que intervienen en la masticación

Aparte de los anteriores, denominados músculos masticatorios, en la masticación intervienen otros músculos que ayudan a la apertura de la boca y al movimiento de la lengua y el hueso hioides, para la deglución.

Digástrico

Tiene dos partes: vientre anterior (12) y vientre posterior (13), que se aprecian en la figura 2.14. El posterior tiene su origen en la escotadura mastoidea del hueso temporal (aparece cortado en la figura) y el anterior en la fosa digástrica de la mandíbula. Ambos se unen en el tendón intermedio (14), que se une al hueso hioides por una hoja de la fascia cervical superficial (15).

Una de las misiones del digástrico es fijar el hueso hioides, junto con otros músculos que se unen a este hueso, que sin embargo no está del todo fijo durante la masticación. Al tirar de la mandíbula hacia atrás y hacia abajo actúa durante los movimientos de apertura y de retrusión.

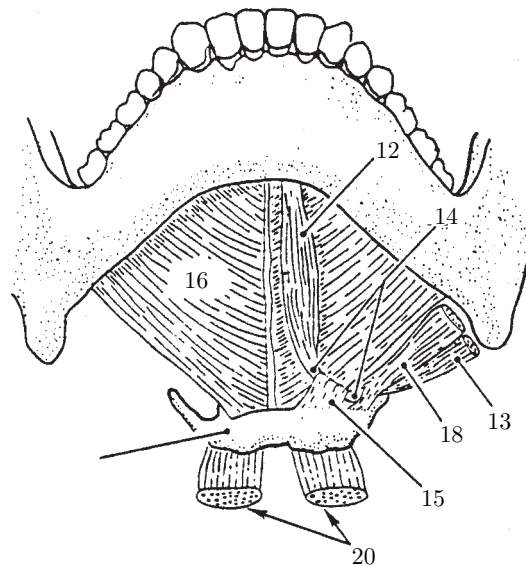


Figura 2.14: Músculos suprahioides: vientres anterior (12) y posterior (13) del digástrico, milohioideo (16) y estilohioideo (18). De este grupo muscular sólo falta el genihioides, que se representa aparte, en la figura 2.15, por claridad. Figura tomada de Hylander [68].

Milohioideo

El músculo milohioideo (16) forma un diafragma muscular que sirve de suelo de la boca. Es un músculo plano, amplio de forma trapezoidal y está localizado por debajo del vientre anterior del digástrico (ver fig. 2.14), con el que a veces se funde. La base menor del trapecio se une a la cara anterior del hueso hioides y la mayor a la mandíbula a lo largo de la línea milohioidea, hasta la sínfisis.

Su misión es elevar el hueso hioides y la lengua, ayudando así a la deglución. También puede actuar como depresor de la mandíbula.

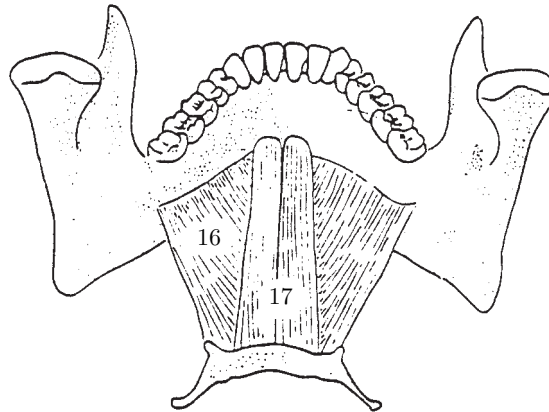


Figura 2.15: Músculos milohioideo (16) y geniioideo (17). Figura tomada de Hylander [68].

Geniioideo

El geniioideo (17) es un músculo en forma de cordón que se origina en la apófisis geniana y por abajo en el hueso hioides y se inserta en la cara lingual de la sínfisis mandibular, a uno y otro lado de la línea sinfisaria (ver fig. 2.15).

Si la mandíbula está cerrada su contracción puede levantar ligeramente el hueso hioides y la lengua llevándolas hacia delante. Por contra, si lo que está fijo es el hueso hioides o bien está situado en su posición más baja, actúa como depresor de la mandíbula.

Estilohioideo

El estilohioideo (18) es un músculo delgado y redondo que se origina en la apófisis estiloide y se inserta en el asta mayor del hueso hioides. Antes de su inserción se divide en dos, abrazando el tendón intermedio del digástrico (ver fig. 2.14).

Su función no está muy clara y parece tener poca influencia en los movimientos de la mandíbula, si acaso, podría actuar como elevador del hueso hioides.

Músculos infrahioideos

Cuatro músculos en forma de cordón forman el grupo muscular infrahioideo: el omohioideo (19), el esternohioideo (20), el esternotiroideo (21) y el tirohioideo (22), que se pueden ver en la figura 2.16.

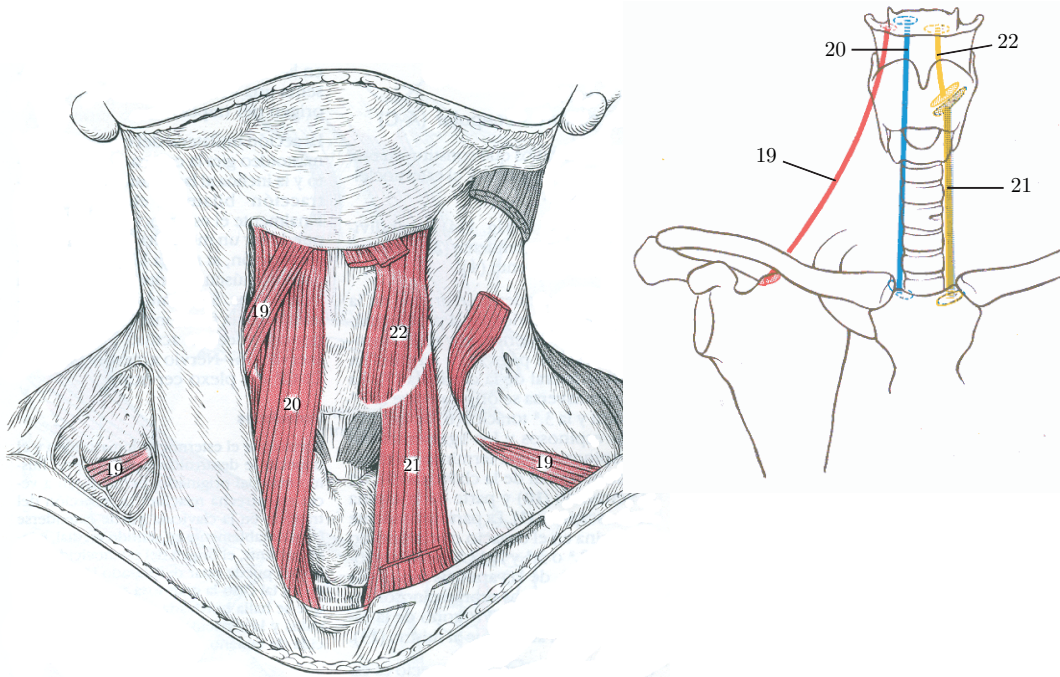


Figura 2.16: Grupo muscular infrahioideo: omohioideo (19), esternohioideo (20), esternotiroideo (21) y tirohioideo (22). Figura tomada de Kahle et al. [83].

Omohioideo

El omohioideo se origina en el borde superior de la escápula y se inserta en el asta mayor del hioides. El esternotiroideo se origina en la parte superior del manubrio esternal y se inserta en el cartílago tiroideos. De ahí surge el tirohioideo, que es continuación del esternotiroideo, insertándose en la superficie posterior del hioides. Por último, el esternohioideo, se origina en el manubrio del esternón y se inserta en la cara posterior del hioides.

Todos los músculos infrahioideos actúan de forma conjunta estabilizando y deprimiendo el hioides, cuyos movimientos ascendentes también quedan limitados por este grupo muscular. Así, junto al grupo de músculos suprahioideos (digástrico, milohioideo, genihioides y estilohioideo), controlan

la posición del hioides la lengua y la mandíbula durante la masticación.

2.6. Movimientos libres de la mandíbula

Los movimientos masticatorios de la mandíbula, que se analizan en un apartado posterior, pueden entenderse más fácilmente si antes se analizan los movimientos libres. Así se denominan a los movimientos que se producen en ausencia de comida en la cavidad oral. Los movimientos libres que se pueden realizar con la mandíbula son: cierre-apertura, protrusión-retrusión y desviación lateral.

Pero estos movimientos son combinación de dos movimientos básicos: rotación y traslación. La rotación se produce alrededor de un eje que pasa por los cóndilos y provoca un movimiento relativo entre el cóndilo y el disco articular, en el compartimento inferior de la ATM. La traslación, en cambio, se produce en el compartimento superior, por un movimiento relativo entre disco y eminencia articular. La traslación es posible tanto en dirección anteroposterior como en dirección mediolateral.

2.6.1. Cierre y apertura

Descripción del movimiento

Durante los movimientos de apertura y cierre de la boca se produce una traslación y rotación combinadas. La traslación lleva el disco y el cóndilo hacia delante y hacia abajo, a lo largo de la pendiente posterior de la eminencia articular. Puede incluso llevarlos más allá, sobre el plano preglenoideo. La rotación es amplia y permite una apertura de la boca entre 40 y 60 *mm*.

En la primera fase del movimiento de apertura predomina la rotación, que posteriormente se combina con la traslación hasta la apertura completa (ver fig. 2.17). El cierre comienza con una traslación hacia atrás, hasta que se cierra un tercio de la apertura máxima, momento en que se superponen traslación y rotación, para llevar a la mandíbula a la posición de reposo. Si se sigue cerrando la boca aún más, hasta la posición de oclusión, el movimiento predominante en esta fase es el de rotación [124].

Actividad muscular

La apertura se produce gracias a la gravedad, la relajación de los músculos elevadores de la mandíbula (masetero, temporal y pterigoideo medio) y por la acción conjunta del milohioideo, el digástrico y el genihioides. Los músculos infrahioides mantienen la estabilidad del hueso hioides.

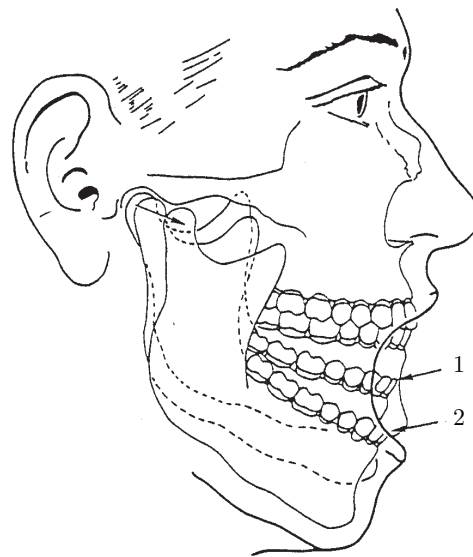


Figura 2.17: Movimiento de apertura libre. En la primera fase (1) la traslación es mucho menor que en la segunda (2). Figura tomada de Hylander [68].

Si la apertura es moderada y sin resistencia, el movimiento se produce simplemente por efecto de la gravedad y la relajación de los elevadores (sólo fase de rotación). En una apertura más amplia, la porción inferior del pterigoideo lateral tira de los condilos hacia delante, geniioideo y digástrico tiran hacia abajo y atrás del mentón, mientras que el milohioideo hace lo propio con el cuerpo mandibular.

El cierre de la boca se produce por la acción de los músculos elevadores de la mandíbula. Cuando la apertura ha sido amplia se produce primero una relajación de los músculos que abren la boca, relajación que hace que los condilos vuelvan desde el plano preglenoideo hasta la eminencia articular (fase de traslación) y entonces se contraen los elevadores que terminan el movimiento (fase de rotación-traslación).

2.6.2. Protrusión y retrusión

Descripción del movimiento

Se denominan protrusión y retrusión a los movimientos que llevan la mandíbula hacia delante y hacia atrás. Son principalmente de traslación y por lo tanto ocurren en el compartimento superior de la ATM, moviéndose el disco y el cóndilo conjuntamente.

La retrusión puede producirse desde una posición adelantada, de protrusión, y también desde la posición de reposo. En este último caso la mandíbula puede moverse hacia atrás entre 1 y 2 mm, estando limitado este movimiento por las fibras horizontales de la cápsula articular.

Actividad muscular

La protrusión se realiza, casi exclusivamente, por la contracción de la porción inferior del pterigoideo lateral, que tira del cóndilo y el disco articular hacia delante. También actúan, aunque en menor medida, el masetero, el pterigoideo medial y los depresores de la mandíbula (genihioideo, milohioideo y digástrico), que ayudan a estabilizar su posición durante el movimiento.

En la retrusión intervienen las porciones media y posterior del músculo temporal, inclinadas respecto a la vertical, y los depresores.

2.6.3. Desviación lateral

Este es el movimiento que se produce cuando se intenta mover la mandíbula hacia un lado. El movimiento, que se esquematiza en la figura 2.18, consiste en una rotación alrededor de un eje vertical, situado inmediatamente detrás del cóndilo hacia el que se mueve la mandíbula, denominado cóndilo ipsilateral.

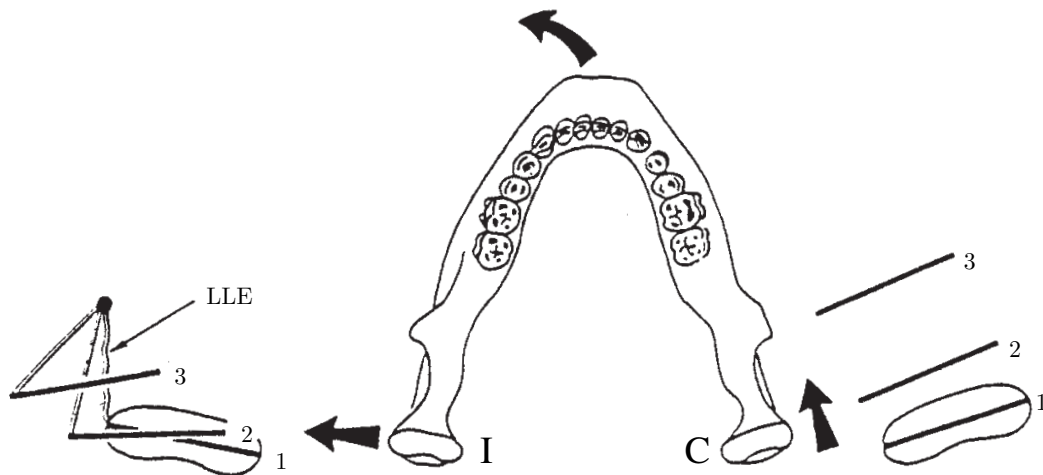


Figura 2.18: Esquema del movimiento de desviación lateral de la mandíbula. El cóndilo ipsilateral (I) comienza girando alrededor de un eje vertical que pasa por su centro hasta que el ligamento lateral externo (LLE) entra en tensión, en la posición 2. Figura tomada de Hylander [68].

El cóndilo del lado opuesto, o contralateral, se mueve hacia abajo por la eminencia articular, anterior y medialmente. El cóndilo ipsilateral gira en primer lugar alrededor de un eje que pasa por su centro. De esta forma el polo lateral de dicho cóndilo se desplaza hacia atrás, entre 1 y 2 mm, hasta que el ligamento lateral externo entra en tensión y no permite que el cóndilo siga girando. A partir de ese instante sólo se desplaza, en dirección lateral y ligeramente hacia delante, guiado por dicho ligamento.

Este movimiento se consigue por la acción combinada del pterigoideo lateral del lado contralateral, que tira del cóndilo correspondiente hacia delante, y la porción media del temporal del lado ipsilateral, que estabiliza el otro cóndilo, impidiendo que se mueva en exceso en dirección anterior.

2.7. Movimientos masticatorios de la mandíbula

Como se comentó al principio del capítulo, se analizan los movimientos masticatorios de la mandíbula con el objeto de simular las cargas y condiciones de contorno que es necesario aplicar a un modelo de EF que trate de estimar las tensiones que la actividad masticatoria produce en la mandíbula.

Aunque existe un patrón general de movimiento de la mandíbula durante la masticación, dicho movimiento puede variar con el individuo y la situación, dependiendo de numerosos factores como pueden ser: la forma y dimensiones, tanto de la mandíbula como de los dientes, la edad y el estado de la dentición, el tipo de comida, el estado del bolo alimenticio, etc.

Los movimientos masticatorios son de dos tipos: un movimiento de corte, denominado incisión, que se realiza normalmente con caninos e incisivos y un movimiento de trituración del alimento, denominado masticación, que se realiza exclusivamente con premolares y molares.

2.7.1. Incisión

Este movimiento consta de tres fases [73, 153]: apertura, cierre y fase de corte. La fase de cierre termina en el instante en el que los bordes incisales de los incisivos inferiores tocan el alimento. Sin embargo esta fase no se produce siempre, ya que si el tamaño del alimento es demasiado grande, la fase de apertura termina con los incisivos tocando dicho alimento.

Las fases de apertura y cierre son idénticas a los movimientos libres del mismo nombre, que se analizaron en el apartado anterior. Sin embargo, la fase de corte es diferente al cierre libre, aunque la boca se siga cerrando durante el corte. Durante esta fase la mandíbula se mueve hacia atrás y hacia

arriba, deslizando los bordes incisales de los incisivos inferiores sobre la cara palatina de los incisivos superiores (acción de cizalla), que se detiene cuando el elemento hace resistencia. Posteriormente se produce una elevación acompañada de oscilaciones en dirección anteroposterior hasta que el alimento se corta y la mandíbula desciende.

La actividad muscular durante las fases de apertura y cierre también es idéntica a la que tiene lugar durante la apertura y cierre libre de la boca. En la fase de corte se produce una contracción simétrica, más o menos sincronizada, de los músculos elevadores de la mandíbula, si bien sobre la actividad del temporal hay disparidad de opiniones.¹ El pterigoideo lateral también participa en la incisión, para estabilizar la ATM. Esta estabilización es necesaria para controlar posibles cambios bruscos en la dirección y magnitud de las fuerzas de masticación. Por ejemplo, cuando el alimento se rompe repentinamente, el pterigoideo lateral previene un desplazamiento brusco de los cóndilos hacia arriba y hacia atrás.

2.7.2. Masticación

El ser humano tiene diferentes patrones de masticación: unilateral, si el alimento se sitúa siempre en el mismo lado de la boca; bilateral simultáneo, si el alimento se mastica con los dientes de ambos lados, y bilateral alternante, si se mastica solo con un lado, pero alternando el lado entre masticaciones. Este último es el patrón más habitual, 75 % según Manns y Díaz [102], seguido del unilateral con un 15 % y el bilateral simultáneo, que siguen el 10 % restante. Se analiza a continuación la masticación unilateral por ser la más común (la realizan los individuos con patrón unilateral y bilateral alternante, el 90 % de la población).

El movimiento de masticación es una sucesión de ciclos denominada secuencia masticatoria. Cada ciclo masticatorio se puede dividir en tres fases [64]: apertura, cierre y fase oclusal. Las fases de apertura y cierre no son simétricas en la masticación unilateral, como se puede apreciar en la figura 2.19. En ella se representan los movimientos del punto de contacto entre los incisivos durante una masticación unilateral con el lado derecho.

Después de completarse la fase de cierre comienza la fase oclusal, en la que se produce el contacto entre la comida y las superficies oclusales de molares y/o premolares. A veces, la boca se abre nuevamente, acabando así la fase oclusal, antes de alcanzar el contacto directo entre dientes. En caso

¹MacDonald [98] entre otros, niega su participación, mientras que Hylander y Johnson [69] demuestran lo contrario. Lo que sí confirman gran cantidad de estudios [92, 118, 164] es que la actividad del temporal es nula durante un apriete con los incisivos, por lo que parece más creíble que también lo sea durante la incisión.

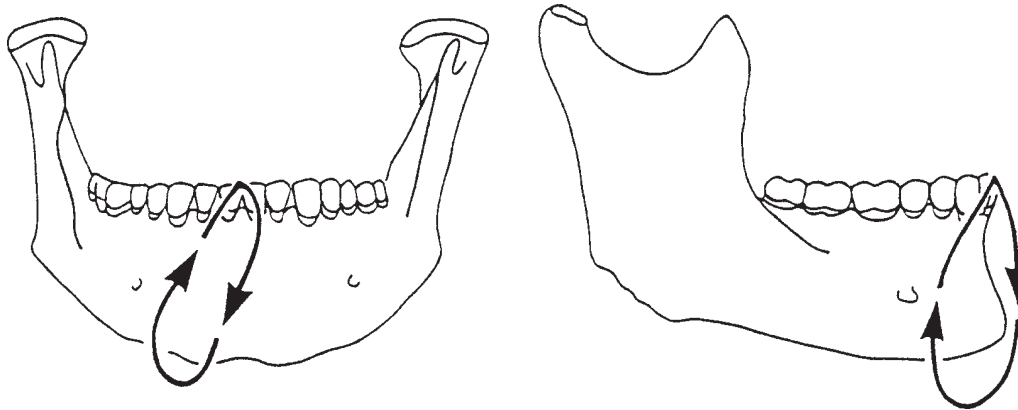


Figura 2.19: Trayectoria descrita por el punto de contacto del incisivo central inferior durante una masticación unilateral con el lado derecho. Figura tomada de Hylander [68].

contrario, la fase oclusal se denomina con contacto y se subdivide en dos fases, esquematizadas en la figura 2.20. En la fase I el movimiento de la mandíbula tiene una pequeña componente ascendente (no se aprecia en la figura) que lleva a ambos maxilares a la oclusión céntrica [84, 116]. En este instante existen dos posibilidades: o bien la boca se abre y se interrumpe la fase oclusal o bien ésta continúa en la fase II [84, 116], moviéndose la mandíbula respecto al maxilar superior en la dirección de la figura 2.20 y ligeramente hacia abajo. Si existe la fase II, antes de que ésta comience, se produce una parada en la posición de oclusión céntrica, que dura entre 50 y 200 milisegundos [54, 68].

Antes de describir la actividad muscular en los ciclos masticatorios, conviene aclarar que en la masticación unilateral los términos ipsilateral y contralateral hacen referencia al lado en el que se sitúa el alimento y al lado opuesto, respectivamente.

La actividad muscular durante la masticación unilateral no es simétrica, como tampoco lo eran los movimientos. En la figura 2.21 se observa un registro electromiográfico de la actividad de los principales músculos implicados en la masticación. Por encima de cada línea se representa la actividad del músculo ipsilateral correspondiente, por debajo la del contralateral.

En la figura 2.21 se señalan con flechas los instantes en los que se produce la oclusión céntrica, (1), se pierde el contacto, (2), y se produce la máxima apertura de la boca (3). Se observa cómo al final de la fase de cierre, cuando comienza la fase oclusal, aumenta la actividad de los elevadores, alcanzándose el máximo casi simultáneamente en todos ellos [117]. Este máximo ocurre durante la fase I, aproximadamente entre 40 y 80 milisegundos antes del instante de máxima fuerza oclusal, que

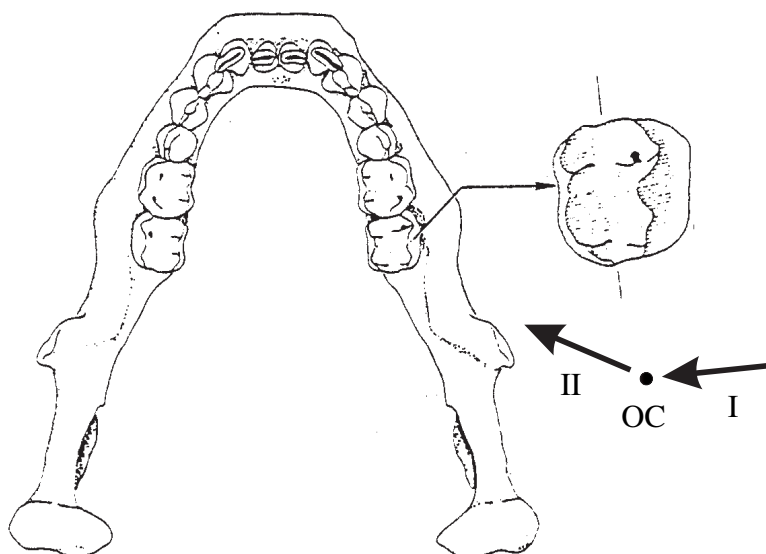


Figura 2.20: Vista paralela al plano oclusal de la mandíbula con la dirección de sus movimientos respecto al maxilar inferior durante las fases I y II, en una masticación con el segundo molar derecho. OC hace referencia a la posición de oclusión céntrica. Figura tomada de Hylander [68].

coincide con la oclusión céntrica [59, 70]. En el instante de máxima fuerza oclusal comienza también la actividad de los depresores de la mandíbula (digástrico y milohiideo son los únicos de los que se tienen datos) que entran en tensión a la vez que los elevadores se relajan y se abre rápidamente la boca [70].

La actividad del pterigoideo lateral en la masticación es un tema bastante controvertido. Según Møller [117], las dos porciones actúan de forma independiente: la porción superior (línea continua en la figura 2.21) actúa durante la apertura y la inferior (línea discontinua) en el cierre.

Otro hecho destacable es la desigual contracción de los músculos de uno y otro lado, si exceptuamos el masetero profundo¹ y el temporal. Así, el masetero superficial y el pterigoideo medio ipsilaterales son más activos que los contralaterales en la masticación unilateral [12, 117, 118].

¹La actividad de esta porción del masetero no aparece registrada en los trabajos de Møller [117, 118], a los que corresponde la figura 2.21. En [12] pueden encontrarse los valores máximos de su actividad aunque sin indicación del instante en el que ocurren.

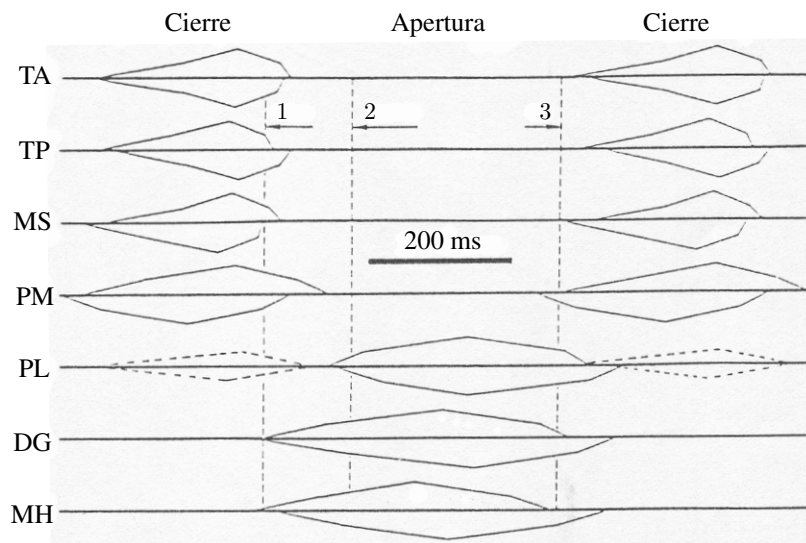


Figura 2.21: Actividad electromiográfica de los principales músculos implicados en una masticación unilateral: TA, temporal anterior; TP, temporal posterior; MS, masetero superficial; PM, pterigoideo medio; PL, pterigoideo lateral; DG, digástrico y MH, milohioideo. Se señalan los siguientes instantes: (1) oclusión céntrica, (2) pérdida de oclusión y (3) máxima apertura. Adaptado de [117].

2.8. Fuerzas desarrolladas por los músculos masticatorios

En la determinación de la fuerza que es capaz de desarrollar un músculo durante una actividad determinada se establecen dos hipótesis generalmente aceptadas:

- La fuerza desarrollada por un músculo al contraerse es proporcional a la sección del mismo, siendo la constante de proporcionalidad un parámetro fisiológico [62, 136, 140, 167].
- La contracción del músculo es variable a lo largo del tiempo que dura una determinada actividad [99, 100, 117].

De esta forma, la resultante de fuerzas que un músculo realiza en su contracción, M_{ir} se suele escribir:

$$M_{ir} = EMG_{Mi} \cdot (X_{Mi} \cdot K) \quad (2.1)$$

donde K es la referida constante fisiológica, X_{Mi} es la sección del músculo y EMG_{Mi} su actividad, medida por electromiografía y que representa la proporción entre la contracción instantánea del músculo y la contracción máxima que éste puede experimentar [136, 166].

Numerosos estudios han estimado el valor del parámetro K , existiendo mucha diferencia entre

unos y otros: $13 - 24 \text{ N/cm}^2$, según Ralston et al. [140]; 39 N/cm^2 , según Haxton [62]; 98 N/cm^2 , según Pruim et al. [136], entre otros. Nelson [123] atribuye esas diferencias a errores cometidos al medir las fuerzas y la sección de los músculos. Este mismo autor adopta el valor obtenido más recientemente por Weijs y Hillen [167]: 40 N/cm^2 , independiente de la edad, sexo y músculo. Estos mismos autores midieron la sección de los músculos que se insertan en la mandíbula mediante tomografía computerizada en 16 individuos [167]. Esta medida fue hecha en un plano perpendicular a la dirección de las fibras y en mitad del músculo aproximadamente. En la tabla 6.5 se recogen los valores medios para los músculos masticatorios, así como la sección del digástrico, medida por Pruim et al. [136].

Weijs y Hillen realizaron sus medidas sin distinguir entre las distintas porciones de los músculos. Nelson [123] hizo ese reparto (ver tabla 6.5) basándose en ciertos estudios [19, 36, 66] para algunos músculos y de forma más o menos arbitraria en otros.

Grupo muscular	Sección (cm^2)	Porción de músculo	Proporción ²	Sección (cm^2)	$X_{Mi}K$ (N)
Masetero	6.80 ¹	Superficial	0.70	4.76	190.4
		Profundo	0.30	2.04	81.60
Pterig. medio	4.37 ¹		1.00	4.37	174.8
Temporal	8.23 ¹	Anterior	0.48	3.95	158.0
		Medio	0.29	2.39	95.6
		Posterior	0.23	1.89	75.6
Pterig. lateral	2.39 ¹	Inferior	0.70	1.67	66.9
		Medio	0.30	0.72	28.7
Digástrico	1.00 ³		1.00	1.00	40.0

Cuadro 2.1: Secciones de los principales músculos masticatorios y fuerzas máximas que pueden ejercer supuesto $K = 40 \text{ N/cm}^2$. ¹ Weijs y Hillen [167], ² Nelson [123], ³ Pruim et al. [136].

Para conocer la fuerza ejercida por los músculos masticatorios sólo falta conocer la contracción de los mismos, EMG_{Mi} , durante una determinada actividad. Aunque en este proyecto solo se tendrá en cuenta la masticación molar unilateral por ser la actividad de mayor influencia sobre la remodelación ósea, se van a representar otras dos actividades a modo de ilustración: mordida con los incisivos y apriete con los caninos. Nelson [123] recoge de distintos trabajos [12, 55, 98, 101, 117, 173] la actividad electromiográfica de los músculos masticatorios en estos tres casos (ver tabla 2.2). La actividad de la porción media del temporal ha sido tradicionalmente obviada en la literatura, a pesar de que su orientación es distinta a la de las otras dos porciones. Nelson [123] le asigna, de forma

arbitraria, una actividad igual a la media de los valores de las otras dos porciones.

Las mordidas incisiva y canina medidas en estos estudios son estáticas, mientras que de la masticación molar se tiene un registro temporal [117], del que se ha seleccionado el instante de máxima actividad muscular, 50 milisegundos antes de la oclusión céntrica.

Músculo	Incisiva		Canina		Molar	
	I	C	I	C	I	C
Masetero superficial	0.40	0.40	0.46	0.58	0.56	0.20
Masetero profundo	0.26	0.26	0.46	0.58	0.56	0.20
Pterigoideo medio	0.78	0.78	0.55	0.47	0.97	0.47
Temporal anterior	0.08	0.08	0.54	0.14	0.65	0.51
Temporal medio	0.06	0.06	0.48	0.20	0.60	0.53
Temporal posterior	0.04	0.04	0.42	0.26	0.54	0.54
Pterig. lat. inferior	0.71	0.71	0.30	0.65	0.35	0.25
Pterig. lat. superior	0.50	0.50	—	—	—	—
Digástrico	0.50	0.50	—	—	0	0

Cuadro 2.2: Actividad de los músculos masticatorios en una mordida incisiva (simétrica) y una canina, ambas estáticas, así como en el instante de máxima actividad muscular durante una masticación unilateral. I: ipsilateral. C: contralateral.

Con los datos de las tablas 2.2 y 6.5 y la ecuación (6.1), se obtiene la fuerza desarrollada por los distintos músculos en las actividades antes mencionadas (ver tabla 2.3).

Músculo	Incisiva		Canina		Molar	
	I	C	I	C	I	C
Masetero superficial	76.2	76.2	87.6	110.4	106.6	38.1
Masetero profundo	21.2	21.2	37.5	47.3	45.7	16.3
Temporal anterior	12.6	12.6	85.3	22.1	102.7	80.6
Temporal medio	5.7	5.7	45.9	19.1	57.4	50.7
Temporal posterior	3.0	3.0	31.8	19.7	40.8	40.8
Pterigoideo medio	136.3	136.3	96.1	82.2	169.6	82.2
Pterigoideo lateral	61.9	61.9	28.7	62.1	33.5	23.9

Cuadro 2.3: Magnitud de las fuerzas (expresadas en N) ejercidas por los músculos masticatorios de los lados ipsilateral (I) y contralateral (C) en mordidas incisiva, canina y masticación molar unilateral.

Para finalizar el capítulo, hay que insistir en la idea de que el estudio que se llevará a cabo en este trabajo es un estudio particular para cada mandíbula y por tanto, los valores representados en

las tablas 2.2 y 2.3 no serán los usados aquí. Sin embargo, pueden servir para compararlos con los que se obtendrán en un capítulo posterior. Además, ya que el estudio electromiográfico realizado para las dos mandíbulas consideradas no contempla a los músculos pterigoideo lateral y medio, es necesario acudir a estas tablas.