

Análisis Tridimensional de Movimientos Mandibulares Bordeantes en Participantes Dentados Totales

Three-Dimensional Analysis of Mandibular Border Movements in Fully Dentate Participants

Sofía A. Vargas-Agurto¹; María Florencia Lezcano^{2,3}; Giannina Álvarez²; Pablo Navarro⁴ & Ramón Fuentes^{2,3}

VARGAS-AGURTO, S. A.; LEZCANO, M. F.; ÁLVAREZ, G.; NAVARRO, P. & FUENTES, R. Análisis tridimensional de movimientos mandibulares bordeantes en participantes dentados totales. *Int. J. Morphol.*, 38(4):983-989, 2020.

RESUMEN: Las articulaciones temporomandibulares y la musculatura asociada, permiten que la mandíbula se desplace en los tres planos del espacio (sagital, frontal y horizontal), de esta forma la mandíbula puede realizar movimientos mandibulares complejos. Hace varias décadas que los movimientos bordeantes mandibulares son estudiados, sin embargo, en un principio los estudios se realizaban en dos dimensiones (2D). En la actualidad, gracias al articulógrafo electromagnético (EMA) 3D es posible realizar el estudio de la cinemática mandibular en tres dimensiones (3D). El objetivo del siguiente estudio es analizar los movimientos mandibulares bordeantes (sagital, frontal y horizontal), por medio de la articulografía electromagnética 3D. En el estudio, participaron 11 personas de $31,9 \pm 5,7$ años en promedio (mujeres $30,2 \pm 2,9$ y hombres $34,0 \pm 7,8$) completamente dentados de primer molar a primer molar, sin trastornos temporomandibulares ni tratamiento previo de ortodoncia. Los archivos fueron procesados mediante scripts, desarrolladas en MATLAB®. Entre los resultados más relevantes, se encontró diferencia estadística entre hombres y mujeres en relación al área Frontal del polígono de Posselt, y los resultados del área del polígono sagital de todos los participantes, fue mayor que en estudios previos.

PALABRAS CLAVE: Movimientos mandibulares bordeantes; Análisis tridimensional; Dentados totales.

INTRODUCCIÓN

La mandíbula se articula con el hueso temporal mediante la articulación temporomandibular (ATM). Ésta se conforma por el cóndilo mandibular, la fosa mandibular del hueso temporal y disco articular. La articulación permite movimientos de rotación y traslación. Cuando la mandíbula realiza un desplazamiento por la parte más externa de su margen de movimiento, se denomina movimiento bordeante (Okeson, 2013) Su combinación permite a la mandíbula realizar movimientos complejos y de gran amplitud, en los tres planos: sagital, frontal y horizontal (Manns & Diaz, 1995). Al unir los movimientos bordeantes, se obtiene un volumen tridimensional de movimiento característico, representando la amplitud máxima del movimiento mandibular (Okeson). El estudio de la cinemática mandibular, facilita la comprensión de la geometría de los movimientos mandibulares. Siendo de gran ayuda para la planificación de tratamientos clínicos odontológicos, con el fin de obtener mejores resultados y ayudar directamente en la calidad de vida de las personas (Yurkstasb, 1965; Ahlers *et al.*, 2015).

Los estudios clásicos analizaban los registros de movimientos mandibulares, en término de su geometría, utilizando sistemas mecánicos (Ahlers *et al.*). Posselt (1957) diseñó un instrumento llamado gnatho-tesiómetro, el cual podía registrar movimientos bordeantes en los tres planos, obteniendo una figura conocida como "diagrama de Posselt". Luego, se utilizaron técnicas como rayos x y cineradiografía, los cuales limitaban el análisis de los movimientos a dos dimensiones (Fuentes *et al.*, 2015), los parámetros cinemáticos a medir y/o el número de participantes (Kuruvilla *et al.*, 2007; Yazdani *et al.*, 2010; Schmidt *et al.*, 2014; Sójka *et al.*, 2017).

En la actualidad, la tecnología ha permitido mejorar las técnicas de seguimiento de posición, y así poder analizar la cinemática mandibular con alta resolución espacial y temporal. Permitiendo obtener un análisis más refinado en tres dimensiones (x, y, z), para un diagnóstico más preciso y tratamientos más personalizados (Fuentes *et al.*, 2015).

¹ Programa de Magister en Odontología, Facultad de Odontología, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

² Centro de Investigación en Ciencias Odontológicas (CICO), Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

³ Departamento de Odontología Integral Adultos, Facultad de Odontología, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

⁴ Universidad Autónoma de Chile, Chile.

El Articulógrafo Electromagnético (EMA) permite realizar registros de movimientos masticatorios mandibulares o linguales en tres dimensiones de forma segura, precisa y no invasiva (Fuentes *et al.*, 2017a,b), siendo certificado por la Comisión Federal de Comunicaciones (agencia gubernamental independiente de EE. UU.) como un dispositivo de transmisión de baja potencia que utiliza campos electromagnéticos con un rango de frecuencia de 7.5 a 13.75 KHz (Yunusova *et al.*, 2009). Entre los articulógrafos actuales, la versión 3D AG501 de Carstens permite registrar en tres dimensiones movimientos mandibulares o linguales, con una resolución espacial de 0,3mm y una frecuencia de muestreo de hasta 1 KHz (Steele & Van Lieshout, 2004).

Los registros obtenidos por el EMA, pueden ser procesados digitalmente por diferentes programas de software, para obtener una representación inteligible de los datos y parámetros cinemáticos como: trayectorias, rangos de movimientos, velocidad, área delimitada por la proyección de las trayectorias en diferentes planos (frontal, sagital y horizontal). Realizando un protocolo y una metodología de grabación estandarizada, es posible individualizar diferentes tipos de mediciones como, trayectorias, distancias, áreas y velocidad mandibular (Fuentes *et al.*, 2018).

En la literatura consultada, se ha reportado el análisis de forma parcial de los polígonos de Posselt mediante la técnica de EMA 3D, sin embargo, no se han analizado los tres polígonos de Poseelt (Frontal, Sagital y Horizontal), siendo necesario realizar un análisis integral de los tres polígonos en su conjunto. El objetivo de este estudio es analizar los movimientos mandibulares de apertura, lateralidades y movimientos bordeantes, de forma tridimensional mediante articulografía electromagnética 3D, en participantes con una oclusión normal, dentados y sin patologías articulares.

MATERIAL Y MÉTODO

Participantes: Se analizó un total de 11 participantes (5 hombres y 6 mujeres), completamente dentados de primer molar a primer molar, La edad de los participantes en promedio fue 31.9 ± 5.2 años (mujeres $30,2 \pm 2,9$ y hombres $34,0 \pm 7,8$), oriundos de la ciudad de Temuco (Chile), seleccionados por conveniencia, sin trastornos temporomandibulares y que no se encuentren o hayan tenido tratamiento previo de ortodoncia (aprobación de comité de ética, protocolo 038_2016). A cada participante, previo al comienzo del estudio, se le realizó un examen intraoral y screening de signos y síntomas de TTM y DOF recomendado por la American Academy of Orofacial Pain (1993).

Procedimiento experimental: El estudio se realizó en el “Laboratorio de Fisiología Oral” del Centro de Investigación en Ciencias Odontológicas (CICO), Facultad de Odontología, Universidad de La Frontera (Temuco, Chile).

La recolección de datos de los movimientos mandibulares de cada participante, se registró utilizando un articulógrafo electromagnético 3D (AG501, Carstens Medizinelektronik, Bovenden, Alemania).

Colocación de sensores. Para el registro articulográfico, se utilizaron 4 sensores (Fig. 1): tres sensores de referencia y uno activo. Los tres sensores de referencia se colocaron sobre la superficie de la piel en los siguientes puntos: Procesos mastoideos (derecho e izquierdo), glabella. El sensor activo se colocó sobre la cara vestibular de los dientes anteroinferiores, en la línea interincisal. Todos los sensores fueron adheridos con adhesivo tisular (Epiglu®, EuroKlee S.L., Barcelona, España).

Los sensores de referencia fueron colocados con el fin de transformar las coordenadas absolutas de los sensores en coordenadas relativas. De esa forma, el sistema elimina de los registros los movimientos de la cabeza, informando solamente movimientos relativos al cráneo. Esto se logra mediante la función “Head Correction” integrada en el sistema del AG501. Los sensores fueron calibrados previamente, mediante un proceso automático propio del EMA AG501.

Luego, el participante se debe mantener sentado, mirando al frente y con la cabeza erguida (posición ortotostática).

Registro de movimientos mandibulares. Una vez colocados los sensores del EMA, se realizó el registro de cada participante, de los movimiento mandibulares de apertura y lateralidad derecha/Izquierda y de los movimientos bordeantes (polígonos de Posselt) correspondiente a los planos frontal, sagital y horizontal, descritos por Okeson.

Se registraron 3 repeticiones de los siguientes movimientos:

Movimiento de apertura máxima: El participante comienza desde Posición de máxima intercuspidadación (MIC), realizando una apertura máxima.

Movimiento de lateralidad no contactante derecha/izquierda: El participante comienza desde MIC, hacia lateralidad derecha máxima no contactante, regresado a posición postural. Desde posición postural moviliza su mandíbula hacia lateralidad izquierda máxima no contactante, y desde ese punto, regresando hacia MIC.

Movimiento bordeante frontal (Polígono de Posselt en el plano frontal): El participante comienza desde MIC, y contactando sus dientes, realiza lateralidad máxima hacia el lado derecho. Desde ese punto, realiza apertura máxima lateral derecha (Fig. 2). El mismo movimiento registra hacia el lado izquierdo.

Movimiento bordeante sagital (Polígono de Posselt en el plano sagital): Comenzando desde MIC, el participante debe llevar su mandibular a vis a vis, llegando a protrusión máxima con contacto dentario. Desde el punto de protrusión máxima se realiza apertura máxima en protrusión. Al finalizar, se vuelve a MIC, se realiza una retrusión mandibular

máxima con contacto dentario y desde ese punto, se realiza apertura máxima en retrusión (Fig. 2).

Movimiento bordeante horizontal (Polígono de Posselt en el plano Horizontal): Comenzando desde relación céntrica (RC), realiza lateralidad máxima contactante hacia la derecha, desde ese punto, la mandíbula realiza un movimiento bordeante con protrusión hacia el lado izquierdo, regresando hacia el punto medio central (Fig. 2). El mismo movimiento registra hacia el lado izquierdo.

Para realizar el cálculo del Rango, se tomó como medida las distancias lineales (R) que se muestran en la Figura 2.

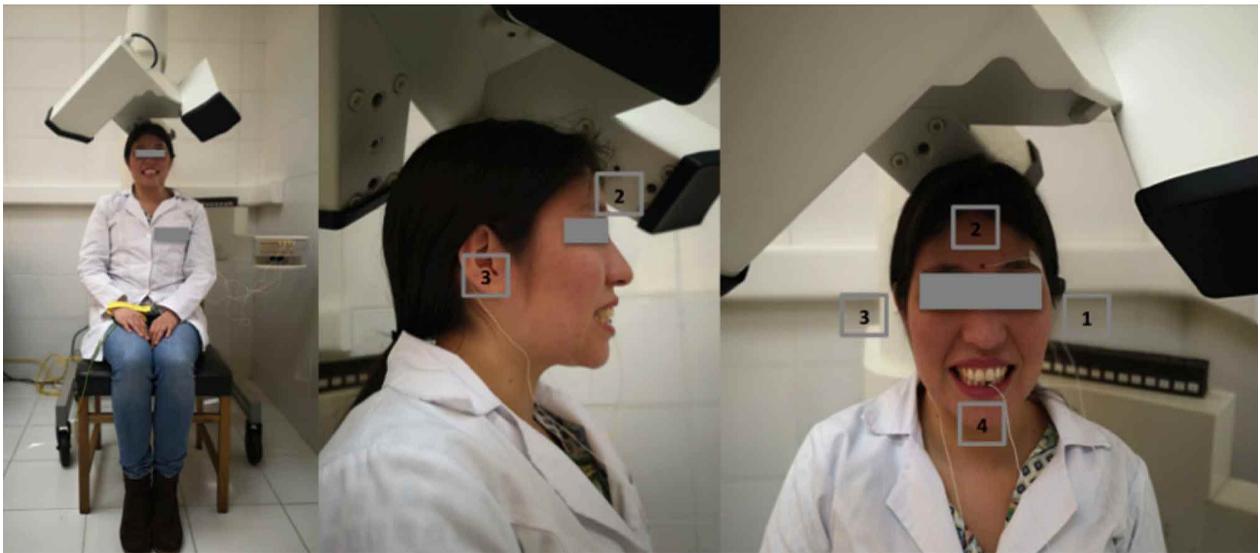


Fig. 1. Participante sentado en posición ortostática en EMA AG501. Sensores: 1 y 3 (Procesos mastoideos: derecho e izquierdo), 2 (glabella) y 4 (línea interincisal).

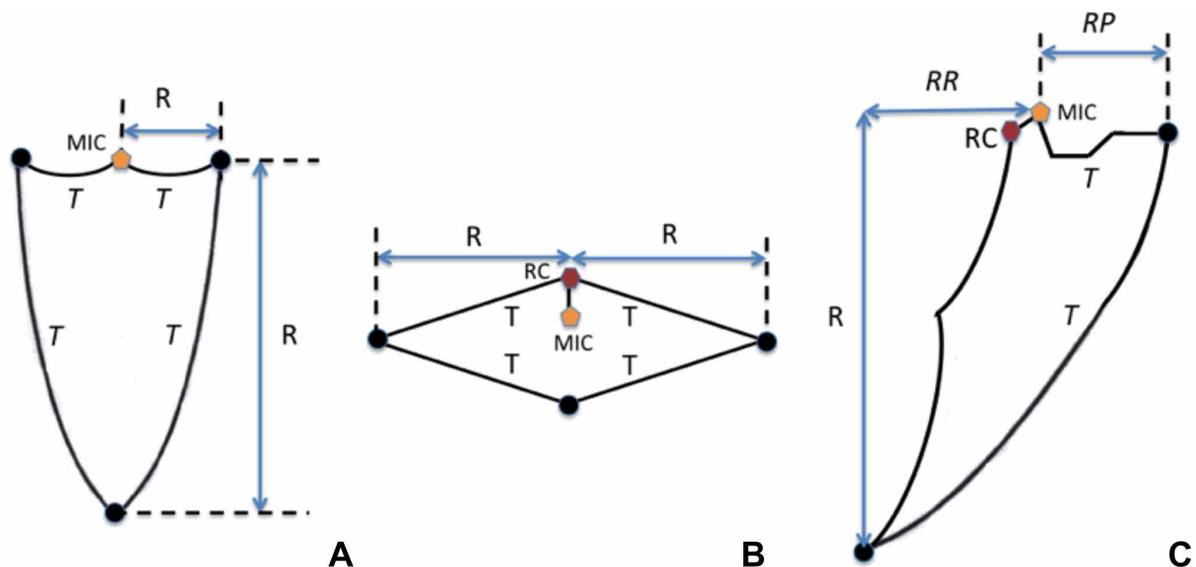


Fig. 2. Polígonos de Posselt frontal (A), horizontal (B) y sagital (C). MIC (Posición máxima intercuspidadación), RC (Relación céntrica), T (trayectoria), R (Rango), RP (Rango protrusivo) y RR (Rango retrusivo).

La trayectoria se calculó según la ecuación (1), donde X,Y,Z son las coordenadas de los puntos que componen la trayectoria (T) y n es la cantidad de puntos que tiene cada trayectoria registrada.

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2}$$

Procesamiento de los datos: Los registros obtenidos a través de EMA se almacenaron en archivos binarios. Estos archivos contienen la información de las coordenadas espaciales de los sensores con una frecuencia de muestreo de 250 Hz.

Los archivos fueron procesados mediante rutinas de cálculo (scripts) desarrolladas en la plataforma MATLAB® (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA). De esta forma fue posible individualizar los movimientos mandibulares cómo: apertura, lateralidades derecha e izquierda (Trayectoria y rango) y movimientos bordeantes como; los polígonos de Posselt (frontal, sagital y horizontal).

Análisis Estadístico. La recolección de los datos son registrados en una planilla LibreOffice Calc. Para el análisis descriptivo de los datos, se determinó la media y su respectiva desviación estándar. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; la prueba t-test para muestras pareadas; la prueba t-test para muestras independientes; la prueba de Wilcoxon. Para el análisis de los datos se utilizó el programa IBM SPSS 23.0. Un valor de significancia =0,05 fue elegido como umbral de significancia.

RESULTADOS

Movimientos de apertura y lateralidad no contactante.

En relación a los movimientos mandibulares de apertura máxima (Figs. 3a y 3b), no se encontró diferencia significativa entre hombres y mujeres. Sin embargo, se encontró diferencia significativa en relación a la lateralidad izquierda: trayectoria concéntrica mandibular izquierda (p= 0,004) y en el rango izquierdo (p=0,031), entre mujeres y hombres.

En la Tabla I, se muestran los resultados de los movimientos mandibulares bordeantes de apertura y lateralidad derecha e izquierda, por sexo y en todos los participantes.

Polígonos de Posselt. En la Tabla II, se muestran las áreas de los polígonos de Posselt realizados por los movimientos bordeantes mandibulares en mujeres y hombres. Siendo para las mujeres: en el plano frontal de $469,4 \pm 171,3 \text{ mm}^2$, en el plano sagital de $301,0 \pm 74,1 \text{ mm}^2$, en el plano horizontal de $80,6 \pm 31,4 \text{ mm}^2$. Las áreas de los polígonos de Posselt en hombres fueron: en el plano frontal de $354,3 \pm 103,8 \text{ mm}^2$, en el plano sagital de $187,4 \pm 41,3 \text{ mm}^2$, en el plano horizontal de $69,1 \pm 21,7 \text{ mm}^2$. Encontrándose diferencia significativa (p=0,001) en el área Frontal de polígono de Posselt entre sexo femenino y masculino.

En relación a los polígonos de Posselt (Tabla III) (Figs. 4 y 5), se encontró diferencia significativa (p=0,028) en la trayectoria de la apertura derecha en el polígono frontal entre hombres y mujeres. Se encontró diferencia significativa en el rango derecho del polígono frontal (p=0,009) y en el rango derecho del polígono horizontal (p=0,022) entre hombres y mujeres.

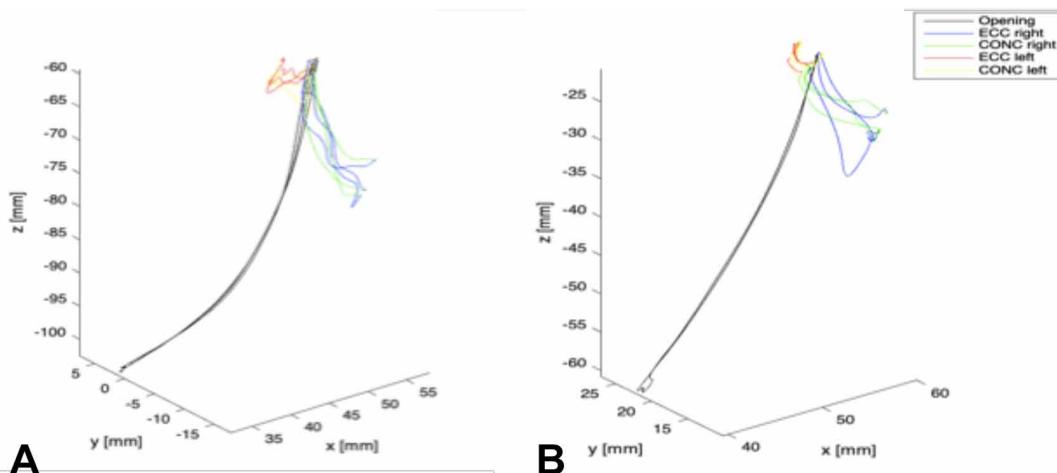


Fig. 3. Gráficos en 3D, de las tres repeticiones de movimientos mandibulares de apertura-lateralidad sin contacto. A. Participante femenino; B. Participante masculino. Opening (Apertura máxima), ECC right (lateralidad excéntrica derecha), CONC right (lateralidad concéntrica derecha), ECC left (lateralidad excéntrica izquierda) y CONC left (lateralidad concéntrica izquierda).

Tabla I. Resultados promedios de movimientos mandibulares bordeantes.

| | Apertura máxima(mm) | Lateralidad(mm) | | | | | |
|-------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| | | Derecha | | | Izquierda | | |
| | | Trayectoria excéntrica | Trayectoria concéntrica | Rango | Trayectoria excéntrica | Trayectoria concéntrica | Rango |
| Mujer | 44,7 ± 5,6 | 19,2 ± 5,7 | 20,6 ± 3,2 | 10,6 ± 2,8 | 19,7 ± 4,9 | 23,8 ± 2,9 a | 12,2 ± 1,7 b |
| Hombre | 41,7 ± 5,7 | 17,2 ± 4,5 | 17,2 ± 5,1 | 8,7 ± 0,9 | 13,7 ± 4,3 | 17,5 ± 2,4 a | 9,3 ± 2,1 b |
| Todos los participantes | 43,3 ± 5,6 | 18,3 ± 5,0 | 19,1 ± 4,6 | 9,7 ± 2,3 | 17,0 ± 5,4 | 20,9 ± 4,2 | 10,9 ± 2,4 |

Las letras a y b, demuestran diferencias significativas en relación a la trayectoria concéntrica mandibular y rango izquierdo entre hombres y mujeres.

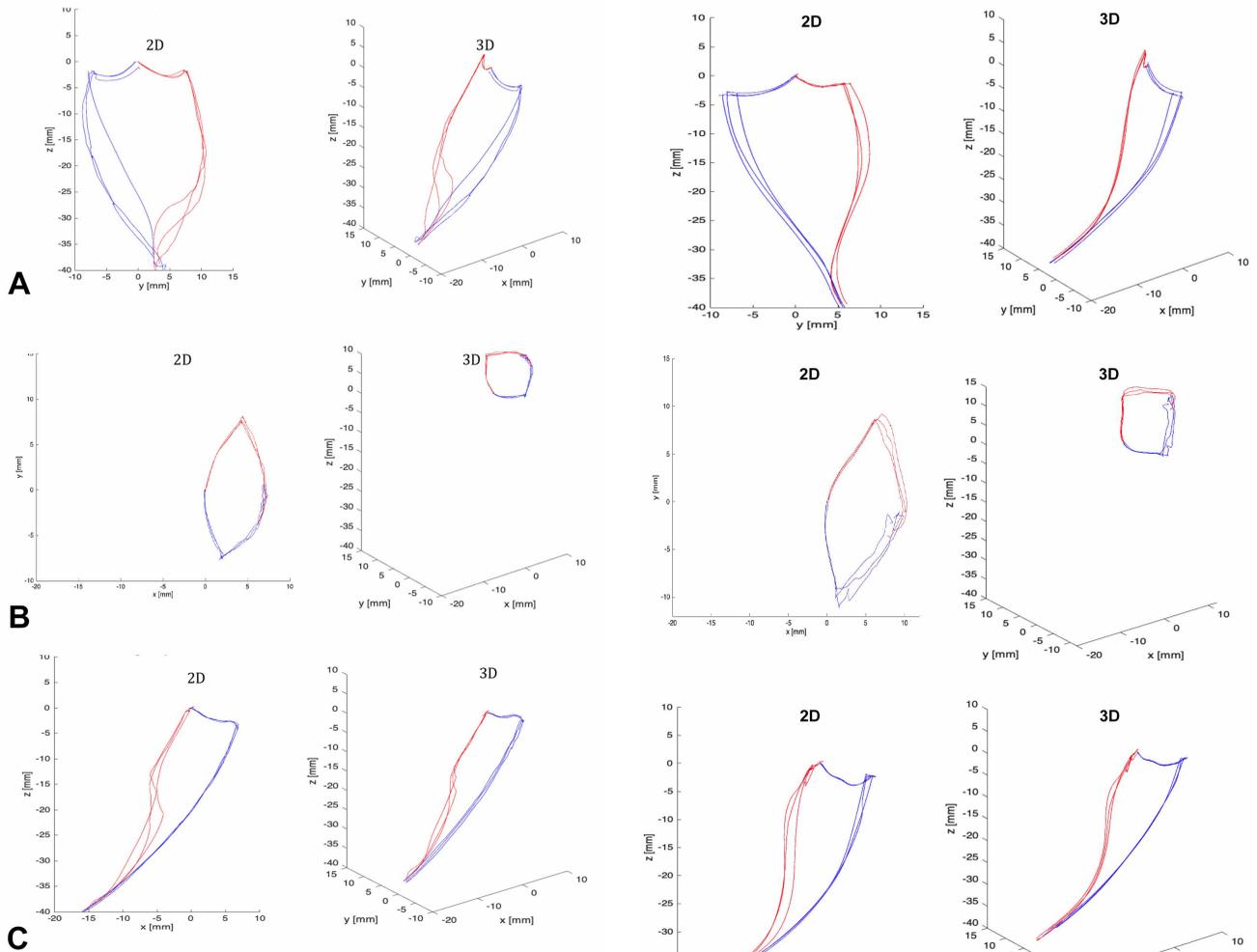


Fig. 4. Cada figura se encuentra en igual escala, de los tres movimientos realizados por una participante mujer. A. Polígonos de Posselt Frontal en 2D y 3D; B. Polígonos de Posselt Horizontal en 2D y 3D; C. Polígonos de Posselt Sagital en 2D y 3D.

Fig. 5. Cada figura se encuentra en igual escala, de los tres movimientos realizados por un participante hombre. A. Polígonos de Posselt Frontal en 2D y 3D; B. Polígonos de Posselt Horizontal en 2D y 3D; C. Polígonos de Posselt Sagital en 2D y 3D.

Tabla II. Resultados áreas de polígonos de Posselt.

| | Área Polígono de Posselt (mm ²). | | |
|-----------|--|--------------|-------------|
| | Frontal | Sagital | Horizontal |
| Femenino | 469,4 ± 171,3 a | 301,0 ± 74,0 | 80,6 ± 31,4 |
| Masculino | 354,3 ± 103,8 a | 187,4 ± 41,3 | 69,1 ± 21,7 |
| Todos | 417,1 ± 150,3 | 249,4 ± 83,4 | 75,4 ± 26,8 |

La letra a, demuestra diferencia significativa en relación al área Frontal de polígono de Posselt entre hombres-mujeres.

Tabla III. Resultados polígonos de Posselt

| | Polígono frontal | | | | Polígono sagital | | | | Polígono horizontal | | | |
|-----------|------------------|------------|------------|-----------|------------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|-----------|
| | Trayectoria(mm) | | Rangos(mm) | | Trayectoria(mm) | | Rangos(mm) | | Trayectoria(mm) | | Rangos(mm) | |
| | Apertura derecha | Izquierda | Derecha | Izquierda | Protrusión | Retrusión | Protrusión | Retrusión | LBDPI | LBIPD | Derecha | Izquierda |
| Femenino | 51,0 ± 3,7a | 11,1 ± 2,1 | 7,4 ± 2,9b | 6,9 ± 1,6 | 66,5 ± 10,1 | 50,4 ± 4,6 | 7,3 ± 2,3 | 17,4 ± 2,1 | 30,4 ± 5,7 | 27,4 ± 3,5 | 8,0 ± 2,9c | 8,5 ± 1,0 |
| Masculino | 42,6 ± 6,8a | 11,0 ± 2,7 | 6,8 ± 0,6b | 7,3 ± 1,4 | 67,6 ± 8,8 | 53,6 ± 5,8 | 7,4 ± 1,6 | 22,1 ± 7,0 | 26,2 ± 2,9 | 27,9 ± 4,6 | 7,6 ± 1,3c | 7,6 ± 1,2 |
| Todos | 47,2 ± 6,7 | 11,1 ± 2,2 | 7,1 ± 2,0 | 7,1 ± 1,5 | 67,0 ± 9,1 | 51,8 ± 5,2 | 7,3 ± 1,9 | 19,5 ± 5,3 | 28,5 ± 4,9 | 27,6 ± 3,9 | 7,8 ± 2,2 | 8,1 ± 1,1 |

LBDPI: lateralidad bordeante derecha con protrusión izquierda. LBIPD: lateralidad bordeante izquierda con protrusión derecha. Las letra a indica diferencia significativa en la apertura derecha de la trayectoria y b en el rango derecho del polígono frontal entre hombres y mujeres. Las letra c indican diferencia significativa en el rango derecho del polígono horizontal entre mujeres y hombres.

DISCUSIÓN

En este estudio se analizaron los movimientos bordeantes mandibulares de apertura máxima, lateralidades no contactantes y movimientos bordeantes en los planos sagital, frontal y horizontal que conforman los respectivos polígonos de Posselt.

Las mediciones se realizaron según el protocolo de Fuentes *et al.* (2017a,b), sin embargo, para poder realizar los registros de movimientos en el plano horizontal, se agregó un nuevo protocolo de registro.

En relación a los movimientos mandibulares bordeantes de apertura máxima, en el trabajo de Fuentes *et al.* (2017a), no se compararon los resultados por sexo, sin embargo para la trayectoria de apertura máxima encontraron un valor promedio (39,9 + 4,7 mm), levemente menor a lo encontrado en nuestro estudio (43,3 + 5,6 mm), sin diferencias entre hombres y mujeres. Resultados similares a lo reportado en la literatura con anterioridad (Okeson).

En las lateralidades, se presentaron las trayectorias mandibulares excéntricas y concéntricas, en este punto, los valores de las trayectorias encontrados en nuestro estudio previo Fuentes *et al.* (2017a,b), fueron mayores a los reportados en este trabajo. Respecto de los rangos de desplazamiento, Fuentes *et al.* (2017a,b), reportan un valor promedio similar para las lateralidades derecha e izquierda (11,3 ± 2,4 mm y 11,6 ± 2,5 mm, respectivamente), en nuestro caso se obtuvo un rango menor de desplazamiento para las lateralidades derecha e izquierda (9,7 ± 2,3 y 10,9 ± 2,4 respectivamente), siendo el mayor rango de desplazamiento el realizado por la mujeres en la lateralidad izquierda.

Respecto de los polígonos de Posselt formados en los distintos planos, fue posible calcular sus áreas y se observó una mayor variabilidad respecto de los datos encontrados por Fuentes *et al.* (2017 a,b). Estos últimos obtuvieron un área promedio del polígono frontal (481,5 ± 110 mm²) mayor a la encontrada en nuestro estudio (417,1 ± 150,3 mm²), sin embargo, en ambos estudios se ha observado cierta variabilidad entre los participantes y entre las repeticiones de un mismo individuo. La mayor variación respecto del estudio previo, fue en el área del polígono sagital, siendo el área de este polígono (249,4 ± 83,4 mm²) casi 4 veces mayor a lo encontrado en el estudio de Fuentes *et al.* (2017a,b) (65,3 + 31,6 mm²). Esto podría deberse al mayor número de participantes en la muestra.

El aspecto más relevante del presente estudio fue el análisis del polígono de Posselt horizontal, en donde según la bibliografía consultada, no existe protocolo para realizar tal análisis. En el estudio, no sólo se propone un protocolo para su registro sino que también se analizan los parámetros referentes al área y trayectorias. A simple vista, correspondería a un área, determinada por los movimientos mandibulares más extremos en el plano horizontal, menor a las encontradas en los polígonos sagital y frontal. No se encontró diferencia entre hombres y mujeres en las áreas del polígono de Posselt horizontal, sin embargo se encuentra diferencia, en relación al rango derecho del polígono horizontal, siendo mayor en el grupo de las mujeres.

El análisis de los movimientos mandibulares ha sido realizado con distintos métodos de evaluación como son; La axiografía, la sonografía articular, sistema ARCUS digma, entre otros (Cárdenas Martos *et al.*, 2003; Mauvezín Quevedo *et al.*, 2006). En nuestro trabajo utilizamos el articulógrafo electromagnético 3D debido a la posibilidad de obtener datos con mayor precisión, alta resolución y permitir la caracterización, representación y análisis de trayectorias tridimensionales de los movimientos mandibulares. Este

método presenta ventajas en comparación a otros métodos de evaluación clínica (Thieme *et al.*, 2006) o de simulación cinemática (Villamil *et al.*, 2012; Becker & Garcia, 2017) sobre la posición y movimiento mandibular ya que permite el análisis individual del movimiento generado por el conjunto de estructuras neuromusculares involucradas.

Entre las limitaciones de este estudio, se podría señalar las características de la población estudiada, en este caso participantes adultos jóvenes sanos. En estudios futuros se podría analizar la variación de los movimientos mandibulares en personas con alteraciones en alguna de las estructuras involucradas, así como también evaluar los cambios en distintos grupos etarios.

VARGAS-AGURTO, S. A.; LEZCANO, M. F.; ÁLVAREZ, G.; NAVARRO, P. & FUENTES, R. Three-dimensional analysis of mandibular border movements in fully dentate participants. *Int. J. Morphol.*, 38 (4):983-989, 2020.

SUMMARY: The temporomandibular joints and associated muscles allow the mandible to move in the three planes (sagittal, frontal and horizontal), in this way the jaw can perform complex mandibular movements. For several decades, mandibular border movements have been studied. However, studies were initially carried out in two dimensions (2D). At the present time, it is possible to analyze mandibular kinematics in three dimensions (3D), with the 3D electromagnetic articulograph (EMA). The objective of the study is to evaluate the mandibular border movements (sagittal, frontal and horizontal), using 3D electromagnetic articulation. In this analysis, 11 subjects 31.9 ± 5.7 years of age on average, participated (women 30.2 ± 2.9 and men 34.0 ± 7.8) completely dentate patients, from first to first molar, with no temporomandibular disorders or orthodontic pretreatment. Files were processed using scripts, developed in MATLAB®. Among the most relevant results, a statistical difference was found between men and women in relation to the Frontal area of Posselt polygon, and results of the sagittal polygon area of all the participants were greater than those reported in previous studies.

KEY WORDS: Mandibular border movements; Three-dimensional analysis; Fully dentate.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlers, M. O.; Bernhardt, O.; Jakstat, H. A.; Kordaß, B.; Türp, J. C.; Schindler, H. J. & Hugger, A. Motion analysis of the mandible: guidelines for standardized analysis of computer-assisted recording of condylar movements. *Int. J. Comput. Dent.*, 18(3):201-23, 2015.
- Becker, M. & Garcia, E. *Virtual Articulator Aid Simulator at Diagnosis, Pre-Surgical Planning and Monitoring of Bucomaxillofacial Treatment*. Hawaii, Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, 2017.
- Cárdenas Martos, A.; Del Castillo Salmerón, R.; Rodríguez Pérez, M.; Muñoz Puerto, A. B.; Montera Martín, J.; Ruiz Miranda, M.; Otero Ávila, A. &

- Maroto García, J. Registro de la dinámica temporomandibular mediante ultrasonidos con ARCUSdigma de KaVo. *Av. Odontostomatol.*, 19(3):131-9, 2003.
- Fuentes, R.; Arias, A.; Lezcano, M. F.; Saravia, D.; Kuramochi, G. & Dias, F. J. Systematic standardized and individualized assessment of masticatory cycles using electromagnetic 3d articulography and computer scripts. *BioMed Res. Int.*, 2017:7134389, 2017b.
- Fuentes, R.; Arias, A.; Saravia, D.; Lezcano, M. F. & Dias, F. J. An innovative method to analyse the range of border mandibular movements using 3D electromagnetic articulography (AG501) and MATLAB. *Biomed. Res. (India)*, 28(9):4239-47, 2017a.
- Fuentes, R.; Dias, F.; Álvarez, G.; Lezcano, M. F.; Farfán, C.; Astete, N. & Arias, A. Application of 3D electromagnetic articulography in dentistry: mastication and deglutition analysis. Protocol report. *Int. J. Odontostomat.*, 12(1):105-12, 2018.
- Fuentes, R.; Navarro, P.; Curiqueo, A. & Ottone, N. E. Determination of mandibular border and functional movement protocols using an electromagnetic articulograph (EMA). *Int. J. Clin. Exp. Med.*, 8(11):19905-16, 2015.
- Kuruvilla, M.; Murdoch, B. & Goozè, J. Electromagnetic articulography assessment of articulatory function in adults with dysarthria following traumatic brain injury. *Brain Inj.*, 21(6):601-13, 2007.
- Manns, A. & Diaz, G. *Sistema Estomatognático*. Santiago de Chile, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, 1995.
- Mauvezín Quevedo, M.; Fernández Vázquez, J. P.; Segura-Mori Sarabia, L. & Barletta del Campo, C. Axiografía y registros posicionales en la determinación de la inclinación condílea. *R. C. O. E.*, 11(5-6):515-21, 2006.
- Okeson, J. P. *Tratamiento de Oclusión y Afecciones Temporomandibulares*. 7ª ed. Amsterdam, Elsevier, 2013.
- Posselt, U. Terminal hinge movement of the mandible. *J. Prosthet. Dent.*, 7(6):787-97, 1957.
- Schmidt, K. C.; Briesemeister, M. & Ries, L. G. K. Changes in mandibular and cervical motor control of children with cerebral palsy. *Rev. CEFAC*, 16(1):228-36, 2014.
- Sójka, A.; Huber, J.; Kaczmarek, E. & He, dzelek, W. Evaluation of mandibular movement functions using instrumental ultrasound system. *J. Prosthodont.*, 26(2):123-8, 2017.
- Steele, C. M. & Van Lieshout, P. H. Use of electromagnetic midsagittal articulography in the study of swallowing. *J. Speech Lang. Hear. Res.*, 47(2):342-52, 2004.
- Thieme, K. M.; Kubein-Meesenburg, D.; Ihlow, D. & Nägerl, H. Is a "movable hinge axis" used by the human stomatognathic system? *Acta Bioeng. Biomech.*, 8(1):11-24, 2006.
- Villamil, M. B.; Nedel, L. P.; Freitas, C. M. & Macq, B. Simulation of the human TMJ behavior based on interdependent joints topology. *Comput. Methods Programs Biomed.*, 105(3):217-32, 2012.
- Yazdani, J.; Ebrahimi, H.; Talesh, K. T.; Khashabi, E.; Pourshahidi, S. & Tadbir, A. A. Comparing the effect of 3 orthognathic surgical methods on the mandibular range of movement. *J. Craniofac. Surg.*, 21(3):703-5, 2010.
- Yunusova, Y.; Green, J. R. & Mefferd A. Accuracy assessment for AG500, electromagnetic articulograph. *J. Speech Lang. Hear. Res.*, 52(2):547-55, 2009.
- Yürkstasb, A. A. *The Masticatory Act. A Review*. Boston, Mass Tufts University, School of Dental Medicine, 1965.

Dirección para correspondencia:
Prof. Dr. Ramón Fuentes Fernández
Centro de Investigación en Ciencias Odontológicas (CICO)
Universidad de La Frontera
Av. Francisco Salazar 1145
Temuco - CHILE

Email: ramon.fuentes@ufrontera.cl

Recibido : 09-09-2019
Aceptado: 24-01-2020