Medición en tomografías de estructuras óseas craneales para determinar el dimorfismo sexual en la población andina. Parte I

Tomography measures of cranial bone structures to determine sexual dimorphism in the Andean population. Part I

Marcelo E. Cazar-Almache^{1*}, Ebingen Villavicencio-Caparó², Vanessa E. Ochoa-Rivera³ y Henry D. Villavicencio-Martínez³

¹Departamento de Cirugía Maxilofacial, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador; ²Departamento Académico de Odontología Social, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú; ³Escuela de Odontología, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

RESUMEN

Objetivo: valorar en la población de la Sierra Sur del Ecuador si el dimorfismo sexual de las medidas métricas del foramen magno podrían determinarse usando la modalidad de imagen CBCT. **Método:** Estudio con diseño transversal en el que se evaluaron 385 imágenes CBCT que cumplieron con los criterios de selección. Se midieron la longitud máxima, el ancho máximo y el área del foramen magno mediante las fórmulas de Routal y de Teixeira. **Resultados:** El presente estudio demuestra que utilizando tanto Routal (0.687) como Teixeira (0.688) se logra una confiabilidad del 69% en la estimación del sexo de un cráneo. **Conclusiones:** Este estudio valida la medición digital de la superficie del foramen magno obtenida de CBCT, siendo una herramienta a usar en la definición del sexo a través del macizo craneofacial. Es definitiva si se obtienen extremos, pero necesitará el estudio de otra estructura cuando presente valores intermedios.

Palabras clave: Cráneo. Antropología. Hueso occipital. Tomografía.

Correspondencia:

*Marcelo E. Cazar-Almache

E-mail: marcelo.cazar@ucuenca.edu.ec

Recibido: 03-02-2021

Aceptado: 05-05-2021

DOI: 10.24875/ARM.21000019

1665-2118/© 2021 Sociedad Mexicana de Radiología e Imagen, AC. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ABSTRACT

Objective: To assess in the population of the southern highlands of Ecuador if the sexual dimorphism of the metric measurements of the foramen magnum could be determined using the CBCT imaging modality. **Method:** Study with a cross-sectional design, 385 CBCT images that met the selection criteria were evaluated, it was measured maximum length, maximum width and area of the foramen magnum through the Routal and Teixeira formula. **Results:** The present study shows that using both the Routal (0.687) and Teixeira (0.688) formula, a reliability of 69% is achieved in estimating the sex of a skull. **Conclusions:** This study validates the digital measurement of the foramen magnum surface obtained from CBCT being a tool to be used in the definition of sex through the cranial bones. It is definitive if the values obtained are in high or low numbers, but you will need a complementary measurement with another structure when intermediate values are present.

Keywords: Skull. Anthropology. Occipital bone. Tomography.

INTRODUCCIÓN

El aporte de la antropología física o forense es de gran importancia en la identificación del sexo a partir de restos humanos para formar el perfil biológico, la afinidad poblacional y la edad promedio. En la mayoría de las especies animales existe una diferencia notoria entre macho y hembra adultos en términos de tamaño corporal medio. Este fenómeno es conocido como dimorfismo de tamaño sexual y se puede observar también en humanos, aunque en menor magnitud¹. Existen modelos internacionales que determinan el sexo mediante fórmulas matemáticas, pero ninguno oriundo de Latinoamérica. Estas fórmulas deben probarse en nuestras latitudes para verificar si son aplicables a las particularidades de nuestra población y comprobar su exactitud diagnóstica.

Los huesos sexualmente dimórficos más confiables del esqueleto humano son los

huesos innominados (unión del íleon, isquion y pubis). También el sexo se puede determinar a partir del cráneo, las dimensiones de los huesos largos, las características específicas de tamaño general y varias pruebas de función discriminante que comparan las dimensiones óseas con sus valores medios dentro de bases de datos pobladas por individuos de sexo conocido². Se han comparado todos los huesos craneales y faciales entre ambos sexos, sobresaliendo el hueso occipital y su foramen magno como una estructura que estabiliza su crecimiento pronto en el tiempo y cuyas dimensiones varían significativamente entre los sexos¹.

La estructura del hueso occipital y el borde del foramen magno tiene un crecimiento y una osificación progresiva desde la etapa fetal hasta completarse al finalizar la primera década de vida³. Los estudios de medición han establecido su calcificación y crecimiento

desde el séptimo mes de vida intrauterina hasta el nacimiento; durante este lapso de tiempo, el radio de crecimiento sagital es un 5.4% mayor que el crecimiento transversal. Este vector proporcional de crecimiento cambia a los 6 meses y hace un crecimiento inverso, es decir, el crecimiento transversal es un 7.65% más rápido que el sagital. El diámetro sagital completa su crecimiento a los 5 años, y el diámetro transversal lo hace a los 10 años. Los promedios de dimensión que presentan son 35 mm en sentido sagital y 30 mm en sentido transversal³.

Aunque lo común en el área antropométrica es medir mediante el proceso de necropsia las estructuras óseas *in situ*, en la actualidad ese acto mecánico puede ser reemplazado por una medición imagenológica a escala real mediante tomografía.

La tomografía computarizada de haz de cono (CBCT, *Cone Beam Computed Tomography*) suministra información precisa que puede ser almacenada y revisada en múltiples ocasiones y con diferentes enfoques, y es el método de referencia para el diagnóstico por imágenes, debido a su resolución submilimétrica en imágenes de alta calidad diagnóstica de las estructuras óseas en los tres planos del espacio. Las imágenes multiplanares de la CBCT ayudan a identificar la morfología, la posición, la forma, el tamaño y la diversidad de las estructuras anatómicas del macizo craneofacial, por lo que son aplicadas en todas las subespecialidades de la odontología, y la odontología forense no es la excepción^{4,5}. La CBCT brinda la posibilidad de realizar disecciones virtuales ilimitadas del espécimen sin incurrir en ningún daño físico adicional, y estas son posibles mediante la sección de

varios planos del conjunto de datos reconstruido. Un solo escaneo de la muestra se puede comparar luego con cualquier variedad posible de las imágenes de películas. En la actualidad se siguen probando usos potenciales de la CBCT para ser utilizada como una alternativa de diagnóstico en medicina forense⁶⁻⁸.

El presente estudio tuvo como objetivo valorar en la población de la Sierra Sur del Ecuador si el dismorfismo sexual de las medidas métricas del foramen magno podrían determinarse usando la modalidad de imagen CBCT.

MÉTODO

El presente estudio se realizó mediante un diseño transversal. El universo de tomografías fue de 420 pacientes que acudieron con solicitud de estudio tomográfico. Los criterios de inclusión fueron tomografías de pacientes de 10 a 89 años de ambos sexos con estructura craneal completa. Los criterios de exclusión fueron tomografías de pacientes con patologías de la base del cráneo, escaneos que no cubrían todo el alcance del foramen magno e imágenes de baja calidad con borrosidad o artefactos causados por objetos metálicos. En total quedó una muestra de 385 imágenes CBCT que cumplieron con los criterios de selección.

Las imágenes de CBCT fueron tomadas del departamento de imagenología de la Universidad de Cuenca, en la Facultad de Odontología, ubicado en el sur de los Andes Ecuatorianos, en el periodo de julio de 2016 a julio de 2018. Las imágenes se tomaron con

un tomógrafo digital 3D Accuitomo 170 (Morita), con una ventana de trabajo de 120 × 170 mm y un tamaño de vóxel de 80 µm. Los valores aplicados al equipo fueron de 60-90 kV y 8 mA, con un tiempo de exposición aproximado de 15 segundos, dependiendo de la textura física.

Se realizó la calibración y la valoración de las imágenes por dos observadores independientes (radiólogos), sin conocimiento del sexo ni de la edad del paciente, utilizando el *software* digital i-Dixel y analizando de manera independiente las secciones de las imágenes reconstruidas.

Las imágenes CBCT obtenidas en el formato DICOM se transfirieron a la estación de trabajo, un lugar adecuado y tranquilo donde se realizaron las medidas necesarias a través del *software* i-Dixel del equipo 3D Accuitomo 170, sistema DICOM, el cual brinda los diferentes cortes tomográficos, seleccionando el corte axial (transversal) paralelo al plano del foramen magno para medir las distancias máximas. La valoración se realizó en las pantallas de los monitores tipo LED con luz brillante (Hewlett Packard Company, Böblingen, Alemania) con una resolución 1366 768.

Las medidas aplicadas en el estudio fueron las siguientes:

- Longitud máxima del foramen magno, que se obtiene en el eje largo del foramen en dirección anteroposterior (Fig. 1).
- Ancho máximo del foramen magno, siendo el mayor diámetro transversal del foramen medido perpendicular a la longitud máxima del foramen magno (Fig. 2).
- Área del foramen magno:
 - Área 1, fórmula de Routal: $\text{Área} = \frac{1}{4} * \pi * \text{ancho} * \text{largo}$

- Área 2, fórmula de Teixeira: $\text{Área} = \pi [(\text{largo} * \text{ancho})/4]^2$

Se realizó el análisis descriptivo de los datos y luego se hizo la comparación entre los grupos de hombres y mujeres. Se efectuó la prueba de detección no emparejada con un valor de $p < 0.05$ como nivel significativo. La correlación se realizó con el coeficiente de correlación de Pearson, con significación en el nivel 0.01, y luego se hizo un análisis funcional discriminante para predecir el sexo en función del valor de las medidas del foramen magno. El análisis de los datos se realizó con el *software* SPSS versión 16.

RESULTADOS

Se evaluaron 385 tomografías (varones y mujeres, con un rango de edad de 10 a 89 años).

En el análisis de los resultados no se encontraron diferencias relevantes en las medidas de diámetro transversal y sagital entre los dos sexos. Se obtuvieron dos valores *outlier* en mujeres (fuera del rango normal) y un valor *outlier* en varones.

Los datos mostraron que en el sexo femenino (Tabla 1), en cuanto al diámetro transversal (ancho), hubo un mínimo de 21.50 mm y un máximo de 36.25 mm, y en el diámetro sagital (longitud) un mínimo de 24.74 mm y un máximo de 40.18 mm. En el sexo masculino (Tabla 2), el diámetro transversal (ancho) tuvo un mínimo de 25.19 mm y un máximo de 38.21 mm, y el diámetro sagital (longitud) un mínimo de 29.80 mm y un máximo de 40,56 mm. Estos datos muestran, en la media y la mediana (Tablas 1 y 2),

TABLA 1. Distribución de las medidas del sexo femenino

Femenino	Sagital (mm)	Transversal (mm)
Media	33.1	28.4
Mediana	33.19	28.3
DE	2.6	2.4
Mínimo	24.74	21.5
Máximo	40.18	36.35

DE: desviación estándar.

TABLA 2. Distribución de las medidas del sexo masculino

Masculino	Sagital (mm)	Transversal (mm)
Media	34.98	29.9
Mediana	34.78	29.9
DE	2.3	2.7
Mínimo	29.8	25.2
Máximo	0.5	38.2

DE: desviación estándar.

valores menores en el sexo femenino que el masculino, pero con una diferencia de solo 1 a 2 mm.

Con la fórmula de Routal (Fig. 3), las unidades de estudio con valores > 1144 son siempre varones, y las que presentan valores < 606 son siempre mujeres; los valores intermedios que se encuentran en la zona de intersección tienen un 50% de probabilidad de pertenecer a cualquiera de los dos sexos.

Con la fórmula de Teixeira (Fig. 3), los valores > 3604 corresponden siempre a varones, y los valores < 1913 son siempre mujeres; los valores intermedios que se encuentran en la zona de intersección tienen un 50% de probabilidad de pertenecer a cualquiera de los dos sexos.

FIGURA 1. Medida longitudinal del foramen magno. **FIGURA 2.** Medida transversal del foramen magno.

En referencia a la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) (Fig. 4), observamos que la tendencia que siguen ambas fórmulas

FIGURA 3. Fórmula de Routal y fórmula de Teixeira.

matemáticas para potenciar las diferencias de los valores de área obtenidos nos arroja cerca del 70% de exactitud diagnóstica en la estimación del sexo usando ambas fórmulas.

DISCUSIÓN

En la actividad de investigación forense, el estudio de las características antropométricas es de vital importancia para resolver problemas relacionados con la identificación y la documentación. La base craneal conforma los huesos más duros del esqueleto humano, por lo que es aplicable para la determinación del dimorfismo^{3,9}. Biomecánicamente no hay musculatura que actúe sobre la forma y el tamaño del foramen magno (su forma y diámetro no son estimulados por fuerzas internas o externas musculares). Su función principal es desarrollarse conjuntamente con el sistema nervioso y protegerlo. El sistema nervioso se desarrolla y alcanza la madurez a una edad muy joven, en comparación con otros sistemas

del cuerpo. Esto se evidencia por la finalización de la fusión de los diferentes elementos del hueso occipital a los 5-7 años de edad, la finalización de la fusión en el C1 a los 5-6 años de edad y la finalización del crecimiento del foramen magno cercana a los 10 años^{3,10}.

Los métodos estadísticos permiten representar resultados objetivamente y facilitan la comparación y la documentación. En este estudio, la comparación entre los grupos de varones y mujeres mostró que las mujeres tenían valores inferiores en promedio para los cuatro parámetros métricos del foramen magno, es decir, longitud (sagital), ancho (transversal), área 1 y área 2, en comparación con los hombres.

Entre los autores que han estudiado esta singularidad ósea se encuentran Uthman et al.⁷, que aplicaron la tomografía computarizada helicoidal a 88 pacientes iraquíes valorando el diámetro sagital, el diámetro transversal, el área y la circunferencia del foramen magno,

FIGURA 4. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic Curve).

y concluyeron que las medidas en sagital y las dimensiones transversales del foramen magno fueron significativamente mayores en los cráneos de varones que en los cráneos femeninos, mediante análisis discriminantes por sexo^{7,8}. En un estudio de Murshed et al.¹¹ sobre las dimensiones del foramen magno de una población turca aplicando tomografía en espiral, el valor medio registrado de la longitud fue de 37.2 ± 3.43 mm en los varones y de 34.6 ± 3.16 mm en las mujeres, y el de la anchura fue de 31.6 ± 2.99 mm en los varones y de 29.3 ± 2.19 mm en las mujeres. Estos resultados son ligeramente mayores que los registrados en el presente estudio, en el que la medición sagital fue de 34.98 ± 2.34 mm para los varones y de 33.1 ± 2.6 mm para las mujeres, y la transversal fue de 29.8 ± 2.65 mm para los varones y de 28.4 ± 2.43 mm para las mujeres. Esta variación puede atribuirse a

diferencias estructurales de la población o a diferentes medidas técnicas imagenológicas adoptadas en su estudio. En lo que respecta al área del foramen magno, en el estudio realizado por Gapert et al.¹² en una población británica se registró el valor medio del área 1 como 862.41 ± 94.79 mm² en los varones y 801.78 ± 85.43 mm² en las mujeres, y el área 2 como 868.95 ± 96.36 mm² en los varones y 808.14 ± 85.40 mm² en las mujeres. Estos resultados son más altos que los registrados en el presente estudio, excepto el valor del área 2, que excede el calculado por Gapert et al.¹².

Raghavendra et al.¹³, en un estudio de 90 cráneos secos de sexo conocido de la zona costera en India, para identificar el dismorfismo sexual de los parámetros del foramen magno concluyeron que la zona (utilizando la fórmula derivada de Radinsky y Teixeira, las probabilidades predichas se observaron en el 81.6% y el 82.2%, respectivamente) y el diámetro anteroposterior (86.5%) fueron mejores herramientas para determinar el sexo de las calaveras. Estos resultados están en concordancia con los de nuestro estudio, es decir, el área (usando la fórmula derivada por Routal y por Radinsky y Teixeira, las probabilidades predichas fueron del 68.7% y el 68.8%, respectivamente) muestra diferencias porcentuales mínimas^{13,14}.

La correlación entre la longitud y el ancho fue débil. Murshed et al.¹¹ afirmaron que el área del foramen magno mostró correlaciones altamente significativas con ambos diámetros sagitales, es decir longitud ($r = 0.847$), y diámetro transversal, es decir ancho ($r = 0.834$); estos resultados concuerdan con los del presente estudio teniendo en cuenta tanto el área 1 como el área 2. El mejor

parámetro para determinar el sexo fue el área del foramen magno expresada por la fórmula matemática potenciada (áreas 1 y 2).

La mayoría de los estudios previos sobre el dismorfismo sexual del foramen magno se basan en métodos anatómicos o radiológicos (utilizando tomografía computarizada). Actualmente, dado que el uso de CBCT está en un aumento constante en el campo dental, hay una mayor disponibilidad en casos que requieren identificación ósea del sexo. Por lo tanto, es probable que estos datos también sean más accesibles en el área odontológica, que necesita registros dentales para una determinación dental^{15,16}. Trochesset et al.¹⁷ concluyeron que las imágenes CBCT permiten la comparación y la identificación forense dental mejor que la tomografía médica para este propósito¹⁵⁻¹⁷.

La CBCT tiene un menor costo que la tomografía médica, y al tener una resolución espacial mayor que proporciona imágenes isotrópicas e isométricas con un tiempo de escaneo rápido, ofrece mayor facilidad y simplicidad de operación, y además emite dosis baja de radiación. La evaluación de imágenes CBCT preexistentes de una muestra grande en una población se puede utilizar para proporcionar datos fácilmente disponibles para su uso como muestra de referencia para comparación en casos en que debe establecerse una identidad.

CONCLUSIONES

El presente estudio validó que, en la población del sur del Ecuador, las características sexuales del agujero magno y la significancia estadística son parcialmente útiles para anunciar el sexo

en valoraciones del agujero magno mediante un análisis de función discriminante cuando otros métodos tienen menor nivel de confiabilidad.

El presente estudio demuestra que utilizando tanto la fórmula de Routal (0.687) como la de Teixeira (0.688) se logra una confiabilidad con $p = 0.69$, estableciendo que casi en el 70% de los casos evaluados se puede identificar el sexo. Para el resto, proponemos una segunda medida de manera alternativa o complementaria, que es la medición del ángulo mandibular, que se presentará en la parte II de este artículo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado gracias al apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca, Ministerio de Cultura y Museo Etnográfico del Pumapungo, a quienes nos gustaría expresar nuestro más profundo agradecimiento.

FINANCIAMIENTO

Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no

se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lovich JE, Gibbons JW. A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. *Growth Dev Aging*. 1992;56:269-81.
2. Morel P. Historia y evolución de la antropología. En: Morel P, editor. *La Antropología Física*. Editorial Universidad de Buenos Aires - Florida 656. Edición, Ciudad Buenos Aires, Argentina, 1964. p. 7-9.
3. Richards GD, Jabbour RS. Foramen magnum ontogeny in *Homo sapiens*: a functional matrix perspective. *Anat Rec (Hoboken)*. 2011;294:199-216.
4. Jaju PP, Jaju SP. Clinical utility of dental cone-beam computed tomography: current perspectives. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2014;6:29-43.
5. Santos Junior O, Pinheiro LR, Umetsubo OS, Sales MAO, Cavalcanti MGP. Assessment of open source software for CBCT in detecting additional mental foramina. *Braz Oral Res*. 2013;27:128-35.
6. Gamba TO, Oliveira ML, Flores IL, Cruz AD, Almeida SM, Haiter-Neto F, et al. Influence of cone-beam computed tomography image artifacts on the determination of dental arch measurements. *Angle Orthod*. 2013;84:274-8.
7. Uthman AT, Al-Rawi NH, Al-Timimi JF. Evaluation of foramen magnum in gender determination using helical CT scanning. *Dentomaxillofac Radiol*. 2012;41:197-202.
8. Morphometrische Graw M, Morphognostische. *Geschlechtsdiagnostik an der menschlichen Schadelbasis*. En: Oehmicen M, Geserick G, editores. *Osteologische Identifikation and Altersschätzung*. Schmidt-Romhild, Lubeck; 2001. p. 103-21.
9. Ukoha U, Egwu OA, Okafor IJ, Anyabolu AE, Ndukwe GU, Okpala I. Sexual dimorphism in the foramen magnum of nigerian adult. *Int J Biol Med Res*. 2011;2:878-81.
10. Scheuer L, Black S. *Developmental juvenile osteology*. London: Academic Press; 2000.
11. Murshed KA, Çiçekciibasi AE, Tuncer I. Morphometric evaluation of the foramen magnum and variations in its shape: a study on computerized tomographic images of normal adults. *Turk J Med Sci*. 2003;33:301-6.
12. Gapert R, Black S, Last J. Sex determination from the foramen magnum: discriminant function analysis in an eighteenth and nineteenth century British sample. *Int J Leg Med*. 2009;123:25-33.
13. Raghavendra Babu YP, Kanchan T, Attiku Y, Dixit PN, Kotian MS. Sex estimation from foramen magnum dimensions in an Indian population. *J Forensic Leg Med*. 2012;19:162-7.
14. Teixeira WRG. Sex identification utilizing the size of the foramen magnum. *Am J Forensic Med Pathol*. 1982;3:203-6.
15. Sarment DP, Christensen AM. The use of cone beam computed tomography in forensic radiology. *J Forensic Radiol Imaging*. 2014;2:173-81.
16. Lucena J, Mora E, Rodríguez L, Muñoz M, Cantin MG, Fonseca GM. Cone beam computed tomography (CBCT) as a tool for the analysis of nonhuman skeletal remains in a medico-legal setting. *Forensic Sci Int*. 2016;266:e32-e37.
17. Trochesset DA, Serchuk RB, Colosi DC. Generation of intra-oral-like images from cone beam computed tomography volumes for dental forensic image comparison. *J Forensic Sci*. 2014;59:510-3.