

Tubérculo Precondilar en el Margen Anterior del Foramen Magno: Análisis Morfológico y Etiológico

Precondylar Tubercle at the Anterior Margin of the Foramen Magnum: Morphological and Etiological Analysis

Marcos Pérez-Riffo¹; Marión Verdugo-González² & Enrique Olave³

PÉREZ-RIFFO, M.; VERDUGO-GONZÁLEZ, M. & OLAVE, E. Tubérculo precondilar en el margen anterior del foramen magno: Análisis morfológico y etiológico. *Int. J. Morphol.*, 43(5):1742-1746, 2025.

RESUMEN: El tubérculo precondilar (TPC) es una pequeña proyección ósea poco frecuente, situada ventralmente a los cóndilos occipitales. Se describe como un pequeño tubérculo no articular, de morfología variada, que puede ser unilateral o bilateral y está ubicado en el borde anterior del foramen magno. En este estudio, se examinó el sector anterior del basioccipucio de 150 cráneos pertenecientes a la colección craneal del Departamento de Anatomía de la Universidad Católica del Maule en Talca, Chile. Se realizó un análisis descriptivo de sus características morfológicas y se midieron sus dimensiones mediante la utilización de un calibrador Vernier electrónico. Entre los especímenes analizados, se identificaron 15 (10%) cráneos con la presencia de un TPC. De estos 6 (40 %) fueron de sexo femenino, 8 (53,33 %) de sexo masculino y 1 (6,66 %) de sexo indeterminado. El promedio del diámetro sagital de los TPC encontrados fue de $2,45 \pm 0,89$ mm, mientras que el diámetro transversal fue de $2,04 \pm 1,32$ mm. Explicando su génesis embriológica los datos aportados complementarán el conocimiento morfofisiológico de la presencia de un TPC en el foramen magno.

PALABRAS CLAVE: Articulación cráneo vertebral; Foramen magno; Tubérculo precondilar; Tubérculo basilar.

INTRODUCCIÓN

Las anomalías alrededor del foramen magno son de importancia clínica ya que están estrechamente relacionadas con las estructuras nerviosas y vasculares (Prakash *et al.*, 2011). La presencia ocasional de los tubérculos precondilares en la superficie anterior del basioccipucio marca su etiología como una variación del desarrollo asociado a algunas anomalías craneovertebrales (Neelima & Rao, 2015).

El tubérculo precondilar (TPC) también conocido como tuberculum precondylare, tubérculo basilar, proceso basilar, proceso mamilar o proceso papilar, es una pequeña proyección ósea poco frecuente, situada ventralmente a los cóndilos occipitales (Rao *et al.*, 2015). Se describe como un pequeño tubérculo no articular, de morfología variada, que puede ser unilateral o bilateral y está ubicado en el borde anterior del foramen magno (Vasudeva & Choudhry, 1996). Cuando está presente, el tubérculo reemplaza la pequeña depresión que normalmente sirve de inserción para el músculo recto anterior de la cabeza (Jaffar, 2014).

El TPC se ha incluido como uno de los rasgos craneales humanos no métricos para la estimación de la raza a partir de datos esqueléticos (Carolineberry & Berry, 1967). Los rasgos no métricos son manifestaciones esqueléticas como suturas adicionales, facetas, procesos óseos, canales y forámenes, que se presentan en una minoría de esqueletos y se pensaba que sugerían afiliaciones familiares. Se cree que algunos de estos rasgos son marcadores de estrés ocupacional, más que fenotípicos, ya que una de las características del material óseo es su plasticidad y responde al desarrollo muscular mediante presiones funcionales (Jaffar, 2014). La existencia de estos tubérculos podría no afectar los aspectos fisiológicos de las estructuras circundantes, pero su presencia es relevante en estudios radiológicos, ya que puede interpretarse incorrectamente como una lesión o calcificación localizada (Neelima & Rao, 2015). Asimismo, el conocimiento de estos TPC resulta significativo para antropólogos, anatomistas, médicos forenses, neurocirujanos y kinesiólogos, ya que pueden

¹ Departamento de Ciencias Preclínicas, Facultad de Medicina, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

² Kinesióloga, Unidad de Paciente Crítico del Hospital Regional de Talca, Chile.

³ Ex-Profesor, Facultad de Medicina, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

intervenir en el desarrollo normal de la articulación atlanto-occipital, dificultando y/o limitando su movimiento (Patil & Kumar, 2014; Ahmed *et al.*, 2015).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue describir la expresión, morfometría y génesis embriológica de estos tubérculos óseos en la superficie anterior del foramen magno.

MATERIAL Y MÉTODO

En este estudio se analizaron 150 cráneos humanos pertenecientes a la colección craneal del Departamento de Anatomía de la Universidad Católica del Maule, Talca, Chile. Se examinó visualmente el margen anterior del foramen magnum para detectar la presencia de TPC. Las mediciones físicas fueron realizadas utilizando un calibrador Vernier electrónico con una precisión de 0,1 mm para detallar las dimensiones de dichos tubérculos. Se registraron dos mediciones:

1. Diámetro sagital o altura: Distancia anteroposterior entre la base del tubérculo en el arco anterior y el extremo a lo largo del eje sagital.
2. Diámetro transversal: Definido como la distancia lateral máxima de cada tubérculo.

Los datos registrados se analizaron y compararon con la literatura existente para discutir las variaciones asociadas con esta condición.

Todos los procedimientos cumplieron con las normativas éticas para la investigación con especímenes humanos, asegurando el respeto por las directrices éticas institucionales de la Universidad Católica del Maule, Chile.

RESULTADOS

De un total de 150 cráneos adultos, se encontraron 15 con un tubérculo precondilar ubicado centralmente en el basión (Figs. 1, 2 & 3), lo que representa el 10% de la muestra perteneciente a la osteoteca del departamento de anatomía de la Universidad Católica del Maule. De éstos, 6 (40%) fueron de sexo femenino, 8 (53,33%) de sexo masculino y 1 (6,66%) de sexo indeterminado (Tabla I).

Los datos morfométricos de los tubérculos precondíleos encontrados en 15 cráneos humanos secos se muestran en la Tabla II.

El promedio de los diámetros sagital y transversal de acuerdo a géneros se muestra en la Tabla III.

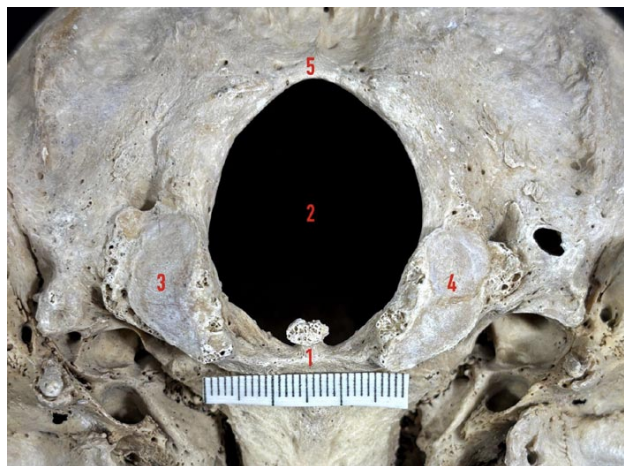


Fig. 1. Vista exocraneana inferior de cráneo adulto masculino que muestra un tubérculo precondilar pediculado ubicado en el margen anterior del foramen magno. 1. Tubérculo precondilar, 2. Foramen magno, 3. Cóndilo occipital derecho, 4. Cóndilo occipital izquierdo, 5. Opistion.



Fig. 2. Cráneo adulto femenino con tubérculo precondilar cilíndrico ubicado en la superficie anterior del basioccipicio. 1. Tubérculo precondilar, 2. Foramen magno, 3. Cóndilo occipital derecho.

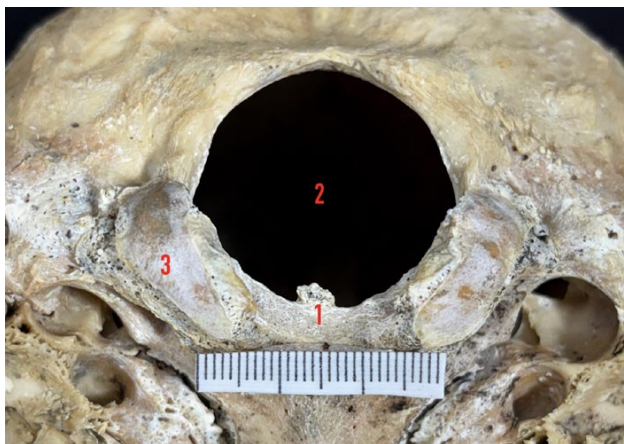


Fig. 3. Tubérculo precondilar de forma piramidal situado en el margen anterior del foramen magno en cráneo femenino. 1: Tubérculo precondilar, 2: Foramen magno, 3: Cóndilo occipital derecho.

Tabla I. Frecuencia de tubérculos precondíleos por sexo.

Sexo	Incidencia tubérculos precondíleos Número de cráneos	Porcentaje
Masculino	8	5,3 %
Femenino	6	4 %
Indeterminado	1	0,6 %

una densa axial y otra lateral. La zona axial se diferencia para dar origen al basión del basioccipital y al segmento apical del dens, mientras que la zona densa lateral se convierte en el exoccipital que comprende el cóndilo occipital y el borde lateral del foramen magno (Pang & Thompson, 2011).

Tabla II. Datos morfométricos de los tubérculos precondíleos encontrados en 15 cráneos humanos secos.

Cráneo	Diámetro	Diámetro	Foma	Sexo
1	2,0	1,0	Tubérculo	Masculino
2	2,5	2,0	Semicircunferencial	Femenino
3	1,3	2,0	Triangular	Masculino
4	4,0	5,0	Pediculado	Masculino
5	1,0	0,7	Sobrelevantamiento	Femenino
6	2,0	0,8	Tubérculo	Masculino
7	2,0	2,0	Piramidal	Femenino
8	2,0	1,0	Tubérculo	Masculino
9	2,5	1,0	Cilíndrico	Femenino
10	3,0	2,3	Rectangular	Masculino
11	2,0	1,6	Piramidal	Masculino
12	3,5	4,0	Piramidal	Femenino
13	3,0	2,2	Piramidal	Indeterminado
14	4,0	4,0	Rectangular	Femenino
15	2,0	1,0	Tubérculo	Masculino

Tabla III. Promedios de los diámetros sagital y transverso de acuerdo al sexo.

Parámetros	Sexo	Promedio $\pm$ DS (mm)	Valor mínimo (mm)	Valor Máximo
Diámetro Sagital	Femenino	2,58 $\pm$ 1,06	1,0	4,0
	Masculino	2,28 $\pm$ 0,83	1,3	4,0
	Indeterminado	3	-	3,0
Diámetro transverso	Femenino	2,28 $\pm$ 1,42	0,7	4,0
	Masculino	1,83 $\pm$ 1,38	0,8	5,0
	Indeterminado	2,2	-	2,2

DISCUSIÓN

Desarrollo embrionario

La etiología de los de tubérculos precondíleos podría estar relacionada con variaciones que se presentan durante el desarrollo del basioccipital como parte de anomalías craneovertebrales. La región alrededor del foramen magno se deriva evolutivamente de los esclerotomos occipitales, la placa paracordal y el primer esclerotomo cervical (Jaffar, 2014). Durante el desarrollo de la 4° semana gestacional, el cuarto somito occipital experimenta un proceso de resegmentación durante el cual su zona caudal densamente celular, se fusiona con la mitad craneal celularmente laxa del primer somito cervical para constituir un esclerótomo transicional llamado proatlas (Menezes, 1997). A medida que progresa el desarrollo, el proatlas se divide en dos zonas:

A fines de la semana 4 o a comienzo de la semana 5, se forma una banda densa de tejido conectivo situado ventralmente a cada segmento vertebral llamado arco hipocordal o hipocentro (Muhleman *et al.*, 2012). Normalmente, el arco hipocordal asociado al proatlas da lugar al tubérculo clival anterior, en la superficie ventral del basioccipital, mientras que el relacionado con el primer esclerotomo cervical contribuye a la formación del arco anterior del atlas (Agrawal *et al.*, 2010). No obstante, una falla en la desaparición completa del arco hipocordal durante el desarrollo puede dar lugar a formaciones óseas en la región de transición craneocervical, lo que podría derivar en la aparición de tubérculos precondíleos o en estructuras óseas accesorias fusionadas o separadas del foramen magno (Prescher, 1997).

Los tubérculos y eminencias podrían formarse de manera congénita debido a desviaciones en los procesos normales de desarrollo en la superficie superior del clivus y la unión craneovertebral (Tangrodchanapong *et al.*, 2023). Se ha sugerido que diferentes variaciones óseas en esta región son consecuencia de una distribución anormal de los componentes mesodérmicos del proatlas, o de la hipertrofia y desarrollo incompleto del arco hipocordal del proatlas (Shoja *et al.*, 2018). Aunque se necesitan más estudios, estos procesos podrían explicar la presencia de los tubérculos y eminencias observados en nuestro estudio.

Las alteraciones en los procesos embrionarios son causas bien conocidas de variaciones óseas denominadas restos del proatlas, como excrescencias óseas anómalas alrededor del foramen magno, que incluyen el arco basioccipital, los tubérculos precondíleos y el tercer cóndilo. Tanto el tubérculo precondíleo como el tercer cóndilo son derivados del arco hipocordal del proatlas (Pang & Thompson, 2011). En este sentido, embriológicamente el TPC puede deducirse del blastema mesenquimático de la

porción lateral del arco hipocordal del proatlas (Lombardi, 1961; Patil & Kumar, 2014).

Teorías sobre la osificación heterotópica del ligamento apical

Paralelamente, la literatura también sostiene que la osificación heterotópica del ligamento apical del dens podría ser un mecanismo responsable de la formación de estos tubérculos (Oetteking, 1923; Romanes, 1964; Prakash *et al.*, 2011; Aragão *et al.*, 2019).

El ligamento apical del dens se extiende desde el punto más superior del proceso odontoides hasta la cara posterior del margen anterior del foramen magno. Este desempeña un papel estabilizador en la unión craneocervical, y su osificación podría ser un factor clave en la aparición de estas estructuras óseas. Si bien el proceso subyacente aún no está completamente esclarecido, se ha observado una posible variabilidad en la incidencia y morfología de los tubérculos entre diferentes grupos etnológicos (Hojo, 1980).

Análisis de datos comparativos

Al comparar nuestros hallazgos con la literatura consultada, observamos que la expresión de TPC en nuestra muestra es consistente con los reportes internacionales; como lo ilustra Jaffar (2014), en su estudio donde examinó una muestra de 50 cráneos secos de los cuales determinó la presencia de un tubérculo en el 10% de los casos.

La mayor incidencia de TPC en el margen anterior del foramen magno ha sido reportada por Neelima & Rao (2015), siendo del 17,5% en los alrededores de Visakhapatnam de la India. Seguido por Lakhtakia *et al.* (1991) y Vasudeva & Choudhry (1996), quienes reportaron una ocurrencia del 15% y 14% en cráneos adultos indios, respectivamente. En contraste, estudios como los de Sanjith & Babu (2020), Ahmed *et al.* (2015) y Vázquez *et al.* (1996), registraron porcentajes menores en comparación con nuestro estudio, con incidencias del 7,1% en el norte de la India, 4,16% en el sur de la India, 2% en otras poblaciones indias y 1,3% en población europea correlativamente.

Además, un estudio reciente de Tangrodchanapong *et al.* (2023), revisó tomografías computarizadas pertenecientes a 407 individuos indios y reportó tubérculos óseos en la superficie basilar del clivus en un 9,83% de los casos. Estos tubérculos se clasificaron en simples, dobles y triples; donde en 35 casos (8,60%) encontraron un tubérculo único, en 4 casos (0,98%) se duplicaron y en un caso (0,25%) se triplicaron. Por lo que se concluyó que con una incidencia de casi el 10% en la población estudiada estos tubérculos no

son raros y podrían ser considerados una estructura anatómica normal.

En cuanto a las características morfológicas de los especímenes, nuestros hallazgos coinciden con estudios anteriores, como el de Lakhtakia *et al.* (1991), quienes reportaron 64 cráneos con TPC con longitudes de 0,5 -1,5 mm en 22 cráneos, de 2 – 2,5 mm en 32 cráneos, 3 mm en 5 cráneos y de hasta 4 mm en otros 2 cráneos. Asimismo, Tangrodchanapong *et al.* (2023), documentaron un ancho promedio de $4,4 \pm 1,5$ mm y una altura promedio de $1,7 \pm 0,7$ mm.

Finalmente, Carolineberry & Berry (1967), consideraron los tubérculos precondíleos como marcadores antropológicos epigenéticos no métricos para medir el carácter distintivo o la divergencia genética entre un par de poblaciones. Aunque nuestros resultados, que muestran una alta prevalencia de estos tubérculos, no evidencian un componente significativo de dimorfismo sexual al contrario de estudios como el de Vasudeva & Choudhry (1996), quienes reportaron una mayor frecuencia de tubérculos en individuos del sexo femenino (8,7%).

Sumado a la importancia antropológica y etnológica, estas variaciones pueden ser significativas en un entorno clínico, ya que los componentes vertebrales que sobresalen a lo largo del borde anterior del foramen magno y que se interponen entre el basioccipucio y el atlas, pueden reducir el diámetro del foramen, causando compresión de la médula espinal y dando lugar a signos y síntomas de déficit neurológico debido a su asimetría (Aragão *et al.*, 2019; Sanjith & Babu, 2020). En este sentido, las proyecciones óseas medianas o paramedianas ventrales al foramen pueden formar una pseudoarticulación con el segmento apical de la odontoides o el arco anterior del atlas, afectando así la anatomía cinética y la integridad de la articulación atlantooccipital (Patil & Kumar, 2014). Por lo tanto, es importante conocer no solo su ocurrencia sino también sus dimensiones, ya que los tubérculos dirigidos posteriormente al foramen occipital podrían ser capaces de dañar las fibras piramidales en flexión extrema de la cabeza (Aragão *et al.*, 2019).

El tamaño y la ubicación del TPC podrían evadir las radiografías simples, a diferencia de otras entidades como el tercer cóndilo occipital. Sin embargo, con el avance de las técnicas de imagen, se esperaría que los tubérculos precondíleos se reporten con mayor frecuencia en la literatura clínica. El reconocimiento de estas estructuras y las variaciones asociadas ayudan a distinguir variantes de estructuras anormales durante los exámenes de tomografía computarizada y a evitar interpretaciones erróneas que generen confusión durante la intervención quirúrgica (Jaffar, 2014).

CONCLUSIÓN

Aunque se requieren más investigaciones para esclarecer por completo la etiología y variabilidad de los tubérculos precondíleos, este estudio contribuye significativamente al entendimiento de su desarrollo y potencial impacto clínico. La información morfológica y embriológica aquí proporcionada será relevante para anatomistas, clínicos y antropólogos, así como también para mejorar la precisión en la identificación y manejo de estas estructuras óseas en la práctica médica.

PÉREZ-RIFFO, M.; VERDUGO-GONZÁLEZ, M. & OLAVE, E. Precondylar tubercle at the anterior margin of the foramen magnum: Morphological and etiological analysis. *Int. J. Morphol.*, 43(5):1742-1746, 2025.

SUMMARY: The precondylar tubercle (PCT) is a small, uncommon bony projection located ventrally to the occipital condyles. It is described as a small, non-articular tubercle of varied morphology, which can be unilateral or bilateral and is located on the anterior margin of the foramen magnum. In this study, the anterior portion of the basiocciput of 150 skulls from the cranial collection of the Department of Anatomy at the Universidad Católica del Maule in Talca, Chile, was examined. A descriptive analysis of its morphological characteristics was performed and its dimensions were measured using an electronic Vernier caliper. Among the specimens analyzed, 15 (10%) skulls were identified as having a PCT. Of these, 6 (40%) were female, 8 (53.33%) were male, and 1 (6.66%) was of undetermined sex. The average sagittal diameter of the TPCs found was 2.45 ± 0.89 mm, while the transverse diameter was 2.04 ± 1.32 mm. By explaining their embryological genesis, the data provided will complement the morphopathological knowledge of the presence of a TPC in the foramen magnum.

KEY WORDS: Craniovertebral joint; Foramen magnum; Precondylar tubercle; Basilar tubercle.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, R.; Ananthi, S. & Agrawal, S. Anomalies of the craniovertebral junction—a very rare case report. *Eur. J. Anat.*, 14(1):43-7, 2010.
- Ahmed, K.; Fatima, T.; Priyanka, M. & Ahmed, K. A study on tubercles at the anterior margin of the foramen magnum. *J. Evol. Med. Dental Sci.*, 4(1):54-9, 2015.
- Aragão, J. A.; Cardoso, L. V. S. D. C.; Aragão, I. C. S.; Aragão, F. M. S.; Gomes, M. E.; Júnior, E. A.; Prado, F. Occurrence of the anterior tubercle in the margin of the occipital foramen. *MOJ. Anat. Physiol.*, 6(5):168-9, 2019.
- Carolineberry, A. C. & Berry, R. J. Epigenetic variation in the human cranium. *J. Anat.*, 101(Pt. 2):361-79, 1967.
- Hojo, T. Precondylar tubercle and anteromedian marginal process around the foramen magnum in modern Midwest-Kyushuities. *J. UOEH*, 2(3):309-13, 1980.
- Jaffar, A. A. Anatomical and clinical correlates of the precondylar tubercle. *J. Morphol. Sci.*, 31(3):182-6, 2014.
- Lakhtakia, P. K.; Premsagar, I. C.; Bisaria, K. K. & Bisaria, S. D. A tubercle at the anterior margin of the foramen magnum. *J. Anat.*, 177:209-10, 1991.

- Lombardi, G. The occipital vertebra. *Am. J. Roentgenol. Rad. Ther. Nucl. Med.*, 86:260-9, 1961.
- Menezes A. H. Craniovertebral junction anomalies: diagnosis and management. *Semin. Pediatr. Neurol.*, 4(3):209-23, 1997.
- Muhleman, M.; Charan, O.; Matusz, P.; Shoja, M. M.; Tubbs, R. S. & Loukas, M. The proatlans: a comprehensive review with clinical implications. *Childs Nerv. Syst.*, 28(3):349-56, 2012.
- Neelima P. & Rao B. N. A study of precondylar tubercles on the basiocciput in south Indian adult human skulls. *Int. J. Health Sci. Res.*, 5(8):514-7, 2015.
- Oetteking, B. On the morphological significance of certain cranio-vertebral variations. *Anat. Rec.*, 25(6):339-53, 1923.
- Pang, D. & Thompson, D. N. P. Embryology and bony malformations of the craniovertebral junction. *Childs Nerv. Syst.*, 27(4):523-64, 2011.
- Patil, G. V. & Kumar, S. Bony tubercle on the anterior border of foramen magnum - A case study. *Int. J. Sci. Res.*, 3(8):57-8, 2014.
- Prakash, B. S.; Padma Latha, K.; Menda, J. L. & Ramesh, B. R. A tubercle at the anterior margin of foramen magnum. *Int. J. Anat. Var.*, 4:118-9, 2011.
- Prescher, A. The craniocervical junction in man, the osseous variations, their significance and differential diagnosis. *Ann. Anat.*, 179(1):1-19, 1997.
- Rao, M. S.; Nazeer, M.; Soni, S.; Begum, D.; Syamala, B. & Ramakranthi, T. Incidence of precondylar tubercles: an anatomical evaluation. *Indo Am. J. Pharm Res.*, 5(2):726-9, 2015.
- Romanes, G. J. (Ed.). *Cunningham's Textbook of Anatomy*. 10th ed. Oxford, Oxford University Press, 1964.
- Sanjith, A. S. & Babu, Y. K. Morphometric Analysis of Tubercles at the Anterior Margin of Foramen Magnum. *Biosci. Biotechnol. Res. Commun.*, 13(8):112-5, 2020.
- Shoja, M. M.; Ramdhan, R.; Jensen, C. J.; Chern, J. J.; Oakes, W. J. & Tubbs, R. S. Embryology of the craniocervical junction and posterior cranial fossa, part I: Development of the upper vertebrae and skull. *Clin. Anat.*, 31(4):466-87, 2018.
- Tangrodchanapong, T.; Yurasakpong, L.; Suwannakhan, A.; Chaiyamon, A.; Iwanaga, J. & Tubbs, R. S. Basilar tubercles and eminences of the clivus: Novel anatomical entities. *Ann. Anat.*, 250:152133, 2023.
- Vasudeva, N. & Choudhry, R. Precondylar tubercles on the basiocciput of adult human skulls. *J. Anat.*, 188(Pt. 1)(Pt. 1):207-10, 1996.
- Vázquez, J. F.; Verona, J. A.; Balbas, J. A.; Porrero, M. G. & Ayucar, E. B. Tubercle at the foramen magnum. *Skull Base Surg.*, 6(3):169-70, 1996.

Autor de correspondencia:
Prof. Mg. Marcos Pérez Riffo
Universidad Católica del Maule
Facultad de Medicina
Unidad Anatomía Humana
Campus San Miguel
Av. San Miguel 3605
Talca
Región del Maule
CHILE

E-mail: marcosperezrizzo@gmail.com