

REVISIÓN

LA EVIDENCIA EN HUMANOS DE LA TRANSFERENCIA ONTOGÉNICA DEL YUNQUE AL OÍDO MEDIO

THE EVIDENCE IN HUMANS OF ONTOGENIC TRANSFER OF THE INCUS TO THE MIDDLE EAR

José Francisco Rodríguez Vázquez

Académico Correspondiente de la Real Academia Nacional de Medicina de España

Palabras clave:

Yunque;
Huesecillos del oído;
Cuadrado;
Homología;
Oído Medio.

Keywords:

Incus;
Auditory Ossicles;
Quadrate,
Homology;
Middle ear.

Resumen

El martillo y el incus del oído medio de los mamíferos son homólogos al cuadrado y articular. Sin embargo, no hay evidencia de homología entre el incus en humanos y el cuadrado de los no mamíferos, y de la transferencia crítica para convertirse en parte del oído medio humano definitivo. Nuestras investigaciones recientes han demostrado que en embriones humanos a las seis u ocho semanas de desarrollo, el anlage inicial del incus se unió a la cápsula ótica y una interzona articular delimitó el incus del malleus. El proceso de desconexión ocurrió entre el incus y la cápsula ótica con la formación de una interzona a las nueve semanas de desarrollo y una pequeña cavidad articular a las trece semanas. Estos resultados proporcionan evidencia suficiente de que el desarrollo del incus humano no deriva del cartilago de Meckel y de que el incus es homólogo al cuadrado según la teoría de Reichert-Gaupp.

Abstract

The malleus and incus in the mammalian middle ear are homologous to the quadrate and articular. However, there is no evidence of homology between the incus in humans and the non-mammalian quadrate, and the critical transference to become part of definitive human middle ear. Our recently researchs have demonstrated that in human embryos at six to eight weeks of development, the initial anlage of the incus joined to the otic capsule and an articular interzone delimited the incus and malleus. The disconnection process occurred between the incus and otic capsule with the formation of an interzone at nine weeks of development and a small joint cavity at thirteen weeks. These results provide sufficient evidence that the development of the human incus is not derived from Meckel's cartilage and that the incus is homologue to the quadrate according to the Reichert-Gaupp theory.

INTRODUCCIÓN

El oído medio de los mamíferos constituye una de las características fundamentales que definen esta clase de vertebrados. El origen de los huesecillos del oído de los mamíferos es además un ejemplo clásico de cambio evolutivo gradual y que ha recibido considerable atención, siendo uno de los temas centrales de la investigación morfológica de los vertebrados de los últimos dos siglos (1,2,3,4,5).

Dos aspectos han centrado el foco de interés de los mismos, uno los orígenes evolutivos y homologías, siendo este considerado como uno de los enigmas más formidables de la anatomía comparada de los vertebrados, y otro el desarrollo humano

Sobre la anatomía comparada y homologías de los huesos del oído medio

A diferencia de los amniotas no mamíferos, que tienen un solo huesecillo u osículo, la columella auris, el

oído medio de los mamíferos presenta tres, el martillo (malleus), el yunque (incus) y el estribo (stapes) .

La diferencia en el número de huesecillos es un aspecto importante ya que durante la evolución los animales no pueden generar elementos anatómicos “de novo” es decir que no se hayan presentado con anterioridad.

Geoffroy Saint-Hilaire (6) , señaló en 1818, que cada tipo esquelético animal derivaba de los cambios de un patrón esquelético común, siendo esta una de las definiciones más simples de la homología morfológica. De acuerdo con esta ley, dos de los tres osículos en el oído medio de los mamíferos (malleus e incus) deben tener sus homólogos en el cráneo de un no mamífero, fenómeno que ha intrigado a los morfólogos durante muchos años.

Desde la visión de la morfología comparada, la cabeza de un vertebrado presenta una serie de formaciones llamadas arcos faríngeos, numeradas en secuencia

Autor para la correspondencia

José Francisco Rodríguez Vázquez

Real Academia Nacional de Medicina de España

C/ Arrieta, 12 · 28013 Madrid

Tlf.: +34 91 159 47 34 | E-Mail: jfrodvaz@ucm.es

cráneo-caudal y antero-posterior. El primero o arco mandibular, comprende el palatoc cuadrado y el cartílago de Meckel, respectivamente. El segundo, arco hioideo, se subdivide dorso-ventralmente. El extremo dorsal se denomina hiomandibular, y el ventral ceratohyal, aunque también puede observarse en muchos vertebrados el stylohyal (7).

La configuración más simple de los arcos es evidente en los elasmobranchios, como señala Takechi y Kuratani, 2010 (8). En anatomía comparada, todos los arcos viscerales son considerados como series homólogas, y del primero Geoffroy Saint-Hilaire, 1818 (6), llegó a la conclusión que los osículos del oído medio de los mamíferos eran homólogos de los huesos operculares de los teleosteos (9).

Durante el siglo XIX y principios del siglo XX, los orígenes del desarrollo y las homologías de los huesecillos auditivos fueron muy debatidos (10,11), aunque solo Reichert, 1837 (12) sugirió que el estribo era homólogo de la columella auris de los no mamíferos, llegando a formular una hipótesis que perdura hoy, propuso que los huesecillos de los mamíferos, el malleus y el incus, eran homólogos al articular y al cuadrado de la articulación de la mandíbula de los no mamíferos.

Gaupp (13,14,15), difundió la teoría de Reichert, publicando varios trabajos esenciales, aunque es en su monografía titulada "Die Reichertche Theorie" (15) en la que describió que a diferencia de la mandíbula de los no mamíferos donde la "articulación primaria" de la mandíbula correspondía a la articulación entre el cuadrado y el articular, los mamíferos presentaban una "articulación secundaria" única entre dos elementos dérmicos, el escamoso y el dentario, articulación temporomandibular en el hombre, naciendo la teoría denominada de Reichert- Gaupp.

La percepción morfológica de Gaupp influyó en los estudios evolutivos posteriores en el oído medio, siendo la transferencia de los elementos de la mandíbula post dentaria al cráneo de los mamíferos como huesecillos del oído medio uno de los temas centrales actuales de la biología evolutiva de los vertebrados (8). Los estudios de los reptiles similares a mamíferos han mostrado que se han transformado gradualmente elementos de la articulación de la mandíbula primaria en componentes del oído medio de mamíferos. De tal manera que los registros fósiles y el desarrollo en los marsupiales han proporcionado una evidencia más sólida para apoyar el origen primario de la articulación de la mandíbula, a partir del oído medio de los mamíferos descrito en la teoría de Reichert-Gaupp (8).

Sobre el origen y desarrollo del yunque

En relación al desarrollo, recientes contribuciones de nuestro grupo han permitido clarificar la comprensión del desarrollo del oído medio y sus huesecillos en el hombre (16,17,18,19,20,21). Si bien, especialmente el origen del yunque en humanos seguía siendo controvertido, ya que existían diferentes teorías en relación con los dos primeros arcos faríngeos. Estos se forman sobre la cabeza y cuello del embrión en estadios muy precoces, a las cuatro semanas de desarrollo. El primer arco recibe el nombre de arco mandibular, y el

segundo arco hioideo. Cada uno de ellos posee una estructura cartilaginosa denominada cartílagos de Meckel y Reichert, en honor a sus descubridores.

Los estudios en el hombre han señalado que el yunque se origina en el cartílago de Meckel, ya sea totalmente (22,23,24,25,26,27) o parcialmente, interpretación del doble arco (28,29,30,31) según la cual, la cabeza y cuello del martillo y el cuerpo del incus surgen del primer arco faríngeo, mientras que el segundo arco daría lugar al mango del martillo y la extremidad larga del incus. En consecuencia, la pregunta sobre el origen del incus permanecía sin respuesta. Rodríguez Vázquez y cols. 2018 (21), relacionaron el desarrollo inicial del incus en humanos humano con los procesos de la biología evolutiva de los vertebrados, ya que todavía no se habían proporcionado evidencias en humanos, de que el yunque sea homólogo al cuadrado.

Si el yunque y el martillo derivan del cartílago de Meckel y el articular es homóloga al martillo (Crompton y Parker 1978), ¿cómo se puede explicar que el yunque sea el homólogo al cuadrado según la teoría de Reichert-Gaupp?

DELIMITACIÓN TOPOGRÁFICA DEL ESBOZO DEL INCUS

A las seis semanas de desarrollo, el primer y segundo arcos faríngeos estaban delimitados cranealmente por la vena anterior cardinal (seno primario de la cabeza). El esbozo del incus fue observado como una leve condensación de mesénquima, localizado en el extremo craneal del primer arco faríngeo. El seno primario de la cabeza, nervio facial y el anlage del estribo estaban ubicados medialmente al del incus. La arteria estapedial cruzó el esbozo del estribo y pasó caudalmente al nervio facial y seno primario de la cabeza o vena capitis. Caudalmente, el esbozo del incus estaba situado a nivel de la bifurcación de las arterias supraorbitaria y mandibular, surgidas de la arteria estapedial.

El extremo craneal de la condensación de mesénquima, que continuaba con el cartílago de Meckel (esbozo del malleus), se disponía caudal al esbozo del incus, a nivel del futuro meato acústico externo. Un mesénquima indiferenciado se disponía entre el incus y el esbozo del malleus, y la rama mandibular de la arteria estapedial pasaba a través de este mesénquima. En este estadio, los tres esbozos de los huesecillos del oído medio eran independientes y localizados en diferentes áreas (17,21).

CONEXIÓN ENTRE EL INCUS Y LA CÁPSULA ÓTICA

A las seis semanas de desarrollo, pero en un estadio más avanzado, la rama corta del incus, se unió a la cápsula ótica (Fig.1). La rama larga del incus se disponía caudalmente a lo largo del nervio facial y la arteria hioidea, de la que emergía la arteria estapedial. El extremo caudal engrosado de la rama larga correspondía al proceso o apófisis lenticular. Una interzona homogénea fue

observada entre los esbozos del incus y malleus que correspondía al extremo craneal del cartílago de Meckel (21). Observaciones histológicas también han referido que el yunque derivaba de la parte posterior del palato-cuadrato como un primordio conectado a la parte basal del ala temporal (33) lo que confirmaba la interpretación de Reichert (12). De acuerdo con Huxley, 1876 (34) en la mayoría de los tetrápodos existentes, el cuadrado se une firmemente al cráneo.

A las siete semanas de desarrollo, apareció la crista parótica, una protuberancia lateral en la cápsula ótica. La crista parótica era continua con la rama corta del incus. Se observó la conexión cartilaginosa entre el incus y la cápsula ótica. Esta conexión era constante y estaba localizada lateralmente al curso horizontal del nervio facial y de la arteria estapedia.

En la etapa inicial de ocho semanas de desarrollo, los esbozos osculares estaban claramente formados y la continuidad cartilaginosa entre el incus y la cápsula ótica se mantenía. En la interzona articular entre el cuerpo del incus y la cabeza del martillo, fue observada claramente una pequeña cavidad que se hizo más evidente al final del periodo embrionario. La continuidad entre el martillo y el cartílago de Meckel era clara y el os goniale, que formará la apófisis anterior del martillo, estaba localizado caudalmente al cartílago de Meckel (16).

DESCONEXIÓN ENTRE EL INCUS Y LA CÁPSULA ÓTICA

A las nueve semanas de desarrollo, fue observada la desconexión inicial del incus al aparecer una interzona homogénea que se localizó entre el extremo dorsal de la rama corta del incus y la cápsula ótica (Fig.1), lateralmente al curso del nervio facial y próxima al conducto semicircular lateral del laberinto. A las doce semanas, se detectó la interzona trilaminar entre el incus y la cápsula ótica, por lo que la capa media parecía más laxa que las capas excéntricas y a las décimo tercera semana, la desconexión entre el incus y la cápsula ótica se hizo más grande ya que se observó una pequeña cavidad articular entre la cápsula ótica y la rama corta del incus (Fig.1). Este área estaba ubicada cerca del nervio facial en el oído medio. Por tanto, se estaba produciendo la transferencia del yunque como hueso del oído medio.

Estos hallazgos (21) han proporcionado evidencias suficientes para decir que el yunque o incus humano es homólogo al cuadrado de la mandíbula de los no mamíferos. Además también se ha demostrado que el martillo se origina en el extremo craneal del cartílago de Meckel, excepto por su proceso anterior, que está formado por el os goniale (16). Esto sería consistente con las respectivas homólogías: articular (malleus), cuadrado (incus) y prearticular (goniale). Los resultados de estos trabajos (16, 21) además añaden la conclusión de que aunque el incus humano es probable que se origine en el primer arco faríngeo, no se formaba del cartílago de Meckel, como si lo hacía el martillo. Este hecho fue similar al del estribo, que no deriva del cartílago de Reichert, sino del segundo arco faríngeo (17,18).

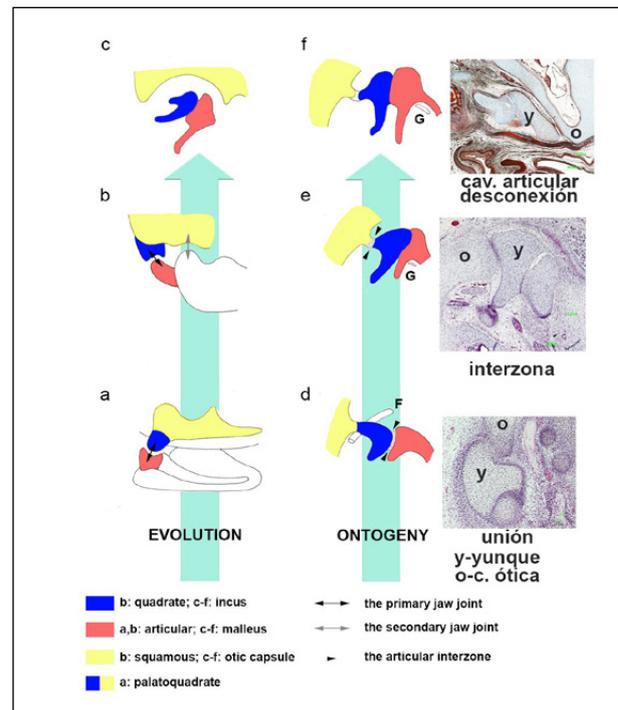


Figura 1. Fases de la transferencia ontogénica del yunque al oído medio, con las secciones histológicas que corresponden a las fases de unión, interzona y desconexión o separación entre el yunque y cápsula ótica (cavidad articular), y los esquemas explicativos de la correspondencia entre la ontogenia y evolución. La homología del cuadrado y yunque (en azul), articular y martillo (en rojo) y prearticular (G-goniale). F, nervio facial.

La presencia de una articulación entre el incus y la crista parótica en los marsupiales en desarrollo es un reflejo de la condición encontrada en los estudios de los primeros mamíferos (35). Sánchez-Villagra y cols. 2002 (36), mostraron claramente el proceso de desconexión del incus en los marsupiales para convertirse en un hueso independiente en el oído medio.

Los procesos de desconexión que acontecen entre el incus y la cápsula ótica (neurocráneo) con la formación de una interzona homogénea y la aparición posterior de una cavidad articular, soportan la evidencia de que el desarrollo del incus en humanos reproduce etapas de la evolución del oído medio (Fig.1).

En términos de evolución, el desarrollo del incus en humanos (21), puede citarse como un ejemplo de recapitulación "haeckeliana" (37) y es determinante para corroborar desde la ontogenia la teoría de Reichert-Gaupp sobre la homología del incus. Estos resultados actuales podrían contribuir a la reconsideración evolutiva del oído medio.

CONCLUSIONES

Los recientes estudios sobre el desarrollo de los huesos del oído medio y en particular sobre el yunque (incus) han proporcionado una base sólida para concluir que el incus se desarrolla del primer arco faríngeo pero no

del cartílago de Meckel. Durante el desarrollo el yunque está unido a la capsula ótica (neurocráneo) y posteriormente se separa de la misma para de esta manera realizarse la transferencia del yunque e integrarse como hueso del oído medio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Broman I. Die Entwicklungsgeschichte der Gehörknöchelchen beim Menschen. *Anat Hefte* 1899; I. Abt 37, 11:507-670.
2. Van der Klaauw CJ. Bau und Entwicklung der Gehörknöchelchen. *Erg Anat Entwicklungsgesch* 1924; 25:565-622.
3. Hopson JA. The origin of the mammalian middle ear. *Am Zool*.1966; 6:437-450.
4. Allin EF. Evolution of the mammalian middle ear. *J Morphol* 1975; 147:403-437.
5. Maier W, Ruf I. Evolution of the mammalian middle ear: a historical review. *J Anat* 2016; 228:270-283.
6. Geoffroy Saint-Hilaire E. *Philosophie anatomique* (tome premiere). Paris: J.B. Baillière ; 1818.
7. Goodrich ES. *Studies on the structure and development of vertebrates*. London: Macmillan; 1930.
8. Takechi M, Kuratami S. History of studies on mammalian middle ear evolution: a comparative morphological and development biology perspective. *J Exp Zool B Mol Dev Evol* 2010; 314:417-433.
9. Appel TA. *The Cuvier-Geoffroy debate: French biology in the decades before Darwin*. New York: Oxford University Press; 1987.
10. Meckel JF. *Handbuch der menschlichen Anatomie*, vol. 4. Halle und Berlin: In den Buchhandlungen des Hallischen Waisenhauses; 1820.
11. Huschke EH. *Beiträge zur Physiologie und Naturgeschichte*. Bd. 1: Über die Sinne. Weimar; 1824.
12. Reichert C. *Ueber die Visceralbogen der Wirbelthiere im Allgemeinen und deren Metamorphosen bei den Vögeln und Säugethieren*. *Archiv für Anatomie, Physiologie und Wissenschaftliche Medicin* 1837; 1837:120-222.
13. Gaupp E. *Ontogenese und Phylogenese des schallleitenden Apparates bei den Wirbeltieren*. *Erg Anat Entwicklungsgesch* 1899; 8:990-1149.
14. Gaupp E. *Beiträge zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere*. III. Das Problem der Entstehung eines 'sekundären' Kiefergelenks bei den Säugern. *Anat Anz* 1911; 39:609-666.
15. Gaupp E. *Die Reichertsche Theorie* (Hammer-, Ambosund- und Kieferfrage). *Archiv für Anatomie und Entwicklungsgeschichte* 1913; 1912 (Suppl.):1-416.
16. Rodríguez-Vázquez JF, Mérida-Velasco JR, Jiménez-Collado J. A study of the os goniale in man. *Acta Anat* 1991; 142:188-192.
17. Rodríguez-Vázquez JF. Development of the stapes and associated structures in human embryos. *J Anat* 2005; 207, 165-173.
18. Rodríguez-Vázquez JF. Development of the stapedius muscle and pyramidal eminence in humans. *J Anat* 2009; 215, 292-299.
19. Rodríguez-Vázquez JF, Murakami G, Verdugo-López S, Abe S, Fujimiya M. Closure of the middle ear with special reference to the development of the tegmen tympani of the temporal bone *J Anat*. 2011; 218, 690-698
20. Rodríguez-Vázquez JF, Honkura Y, Katori Y, Murakami G, Abe H. Fetal development of the pulley for muscle insertion tendons: a review and new findings related to the tensor tympani tendon. *Ann Anat* 2017; 209, 1-10.
21. Rodríguez-Vázquez JF, Yamamoto M, Abe S, Katori Y, Murakami G. Development of the human incus with special reference to the detachment from the chondrocranium to be transferred into the middle ear. *Anat Rec* 2018; 301,1405-1415.
22. Hamilton WI, Mossman HW. *Embriología Humana*, 4th edn. Buenos Aires: Intermédica; 1975.
23. Corliss CE. *Embriología humana de Patten*. Fundamentos del desarrollo clínico. Buenos Aires: El Ateneo; 1979.
24. Sadler TW. *Langman Embriología Médica*. Con Orientación Clínica, 9th edn. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2004.
25. Moore KL, Persaud TVN. *Embriología Clínica* 6th edn. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana; 1999.
26. Larsen JW. *Embriología Humana*. Madrid: Elsevier España S.A; 2003.
27. Burford CM, Mason MJ. Early development of the malleus and incus in humans. *J Anat* 2016; 229:857-870.
28. Nomura Y, Nagao Y, Fukaya T. Anomalies of the middle ear. *Laryngoscope* 1988; 98:390-393.
29. Ars B. Organogenesis of the middle ear structures. *J Laryngol Otol* 1989;103:16-21.
30. Takeda Y, Nizhizaki K, Masuda Y. Middle ear anomalies induced by hypertriastene administration in the mouse. *Auris Nasus Larynx*1996; 23:1- 12.
31. Whyte J, Cisneros A, Yus C, Fraile J, Obón J, Vera A. Tympanic ossicles and pharyngeal arches. *Anat Histol Embryol* 2009;38:31-33.
32. Crompton AW, Parker P. Evolution of the mammalian masticatory apparatus. *Am Sci* 1978; 66:192-201.
33. Presley R, Steel FLD. On the homology of the alisphenoid. *J Anat* 1976; 123:441-459.
34. Huxley TH. *Contributions to morphology*. Ichthyopsida. No. 1. On *Ceratodus forsteri*, with observation on the classification of fishes. *Proc Zool Soc Lond* 1876; 1876:24-59.
35. Luo ZX, Crompton AW. Transformation of the quadrate (incus) through the transition from non-mammalian cynodonts to mammals. *J Vert Paleo* 1994;14:341-374.
36. Sánchez-Villagra MR, Gemballa S, Nummela S, Smith KK, Maier W. Ontogenetic and phylogenetic transformations of the ear ossicles in marsupial mammals. *J Morphol* 2002; 251:219-238.
37. Haeckel E. *Generelle Morphologie der Organismen*. Berlin: Georg Reimer Verlag; 1866.

DECLARACIÓN DE TRANSPARENCIA

El autor/a de este artículo declara no tener ningún tipo de conflicto de intereses respecto a lo expuesto en la presente revisión.

Si desea citar nuestro artículo:

Rodríguez-Vázquez J. F.

La transferencia del yunque al oído medio

ANALES RANM [Internet]. Real Academia Nacional de Medicina de España;

An RANM · Año 2019 · número 136 (03) · páginas 283-286

DOI: 10.32440/ar.2019.136.03.rev08