

ESTUDIO ECOGRÁFICO DE LA LARINGE EN CANTANTES NIÑOS Y ADULTOS

Begoña Torres Gallardo*

btorres@ub.edu

Xavier Sala-Blanch*

xavi.sala.blanch@ub.edu

Elisabet Gimeno Aragón**

irisabezu@hotmail.com

Alberto Prats-Galino*

aprats@ub.edu

Núria Massó Ortigosa**

nuriamo@blanquerna.url.edu

*Universidad de Barcelona

**Universitat Ramon Llull

Resumen

Presentamos un estudio ecográfico realizado en cantantes niños y adultos. Mediante ecografía se ha visualizado y analizado el comportamiento de los pliegues vocales durante la respiración tranquila y durante distintas vocalizaciones.

Los resultados obtenidos muestran que la técnica ecográfica presenta mayor resolución en el caso de los niños y niñas que en los adultos. En estos últimos, la visualización es mejor en las mujeres que en los hombres.

Dado que la ecografía permite captar procesos dinámicos en tiempo real, se han realizado diversas filmaciones de los pliegues vocales durante la emisión de voz. Se ha pedido a dos cantantes, una soprano y una contralto, que realizaran una nota grave y una aguda. En ambos casos los pliegues vocales tienen un comportamiento análogo, observándose en el caso de las notas agudas una mayor tensión de los pliegues durante la fonación.

Creemos que la ecografía es una técnica muy interesante para el estudio de la laringe en cantantes, ya que es una técnica no invasiva y por ello puede ser usada en niños y adultos sin ningún efecto secundario adverso.

Palabras clave

Ecografía - Laringe - Pliegues Vocales - Voz Cantada

AN ULTRASOUND STUDY OF THE LARYNX IN CHILDREN AND ADULTS SINGERS

Abstract

We introduce an ultrasound study carried out to children and adults singers. The behaviour of the vocal folds has been visualised and analysed by sonography during the calm breathing and different vocalisations.

The results obtained display us that the ultrasound technique presents a higher resolution in the case of boys and girls than in adults. In the latter, the visualisation is better in women than in men.

Owing to the sonography allows for capture dynamic processes in real time, there was accomplished several shootings of vocal folds during the voice output. It has requested two singers, a soprano and a contralto, to perform a low note and a high note. In both cases, the vocal folds have an analogous behaviour, but it was observed a higher tension in the folds during the phonation of high notes.

We think that the sonography is a very interesting technique to the larynx study in singers, because it is a non-invasive technique and that is why it can be used in children and adults without adverse side effects.

Key-words

Sonography - Larynx - Vocal Folds - Singing Voice

.....

Introducción

Nuestro grupo viene desarrollando desde hace años una línea de investigación basada en el estudio funcional de las distintas estructuras implicadas en la producción de la voz. A partir de los conocimientos de anatomía humana y de técnica vocal hemos ido estableciendo cómo las distintas partes del aparato fonador interactúan para producir la voz, y cómo cambios en el sistema producen cambios audibles en la voz resultante (Torres, 2007, 2013, 2014; Torres y Gimeno, 2008).

Tras estos estudios funcionales, llevamos a cabo un estudio en el que mediante electromiografía medimos la actividad de distintos músculos del aparato fonador en cantantes. Lo que nos indicó que existía una correspondencia clara entre las conclusiones a las que habíamos llegado en trabajos anteriores y las actividades musculares medidas (Torres et al. 2015; en prensa).

Dentro de nuestra línea de investigación, estamos realizando un estudio mediante ecografía en niños y adultos cantantes, con el objetivo de analizar el comportamiento laríngeo durante el canto. Los voluntarios adultos son

cantantes todos ellos pertenecientes a la misma escuela. Los niños y niñas son cantantes del *Cor Vivaldi de la Escola IPSI* de Barcelona.

La ecografía es una técnica no invasiva que ha sido utilizada por diversos autores para estudiar la laringe en niños y adultos. Se ha comparado su eficacia frente a otras técnicas más invasivas o molestas. Así se constata que la ecografía, al igual que la laringoscopia, permite ver los pliegues vocales de manera dinámica durante la fonación, sin embargo, sólo la ecografía permite ver el interior del pliegue vocal. Asimismo, los distintos estudios muestran que la ecografía laríngea es más resolutive en niños que en adultos. Ello se debe a que en estos últimos se produce una osificación progresiva del cartilago tiroides con la edad lo genera un espacio de sombra que dificulta la observación.

La mayoría estos estudios están relacionados con la patología laríngea o algún aspecto clínico. En nuestro trabajo hemos querido analizar el comportamiento de los pliegues vocales en niños y adultos cantantes que poseen un alto nivel de técnica vocal y gozan de una buena salud vocal.

Veremos, por un lado, imágenes fijas que nos permiten dilucidar estructuras internas del pliegue vocal que no son observables, como mencionábamos, mediante otras técnicas habituales como la laringoscopia. Podemos así, comparar el nivel de resolución de esta técnica aplicada a cantantes niños y adultos.

Por otro lado, presentamos filmaciones de la laringe de dos cantantes adultas, una soprano y una contralto, durante la emisión de dos notas, una grave y otra aguda, en la que vemos el interior del pliegue vocal en movimiento. Estos resultados nos permiten comparar el comportamiento de los pliegues vocales en una voz aguda y una grave en vocalizaciones de dificultad semejante.

El reconocimiento ecográfico de las estructuras laríngeas no es simple y requiere del conocimiento de la anatomía laríngea. Por ello, antes de mostrar los resultados obtenidos mediante la técnica ecográfica, realizaremos una revisión de la anatomía de la laringe incidiendo en aquellos detalles que será necesario conocer para comprender las imágenes que nos muestra la ecografía. En un trabajo anterior publicado en esta revista (Torres, 2013) estudiamos el aparato vocal y su funcionalidad, y vimos algunas imágenes de la laringe que nos permitieron explicar su funcionalidad y relación con los demás elementos del aparato vocal. En este trabajo nos centraremos en el estudio de los pliegues vocales -clásicamente denominados cuerdas vocales-. Veremos su situación topográfica y su constitución. Para ello usaremos imágenes de dibujo así como

imágenes reales de disección que han sido realizadas en la Sala de Disección de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona.

Revisión anatómica de la laringe

La laringe está formada por un esqueleto de piezas cartilagosas que se articulan entre sí. Los principales cartílagos de la laringe son: el tiroides (*ver figura 1*), el cricoides (*ver figura 2*), los aritenoides (*ver figura 3*) y la epiglotis (*ver figura 4*). Encontramos asimismo, los cartílagos corniculados, que se sitúan en el vértice de los aritenoides (*ver figura 4a*), y los cuneiformes, considerados inconstantes por algunos autores.

El cartilago tiroides (*ver figura 1*) constituye la mayor parte de la pared anterior y lateral de la laringe y envuelve parcialmente a los demás cartílagos y a los pliegues vocales. Está formado por dos láminas (derecha e izquierda) que se unen por delante en la línea media formando un ángulo abierto hacia atrás constituyendo la denominada nuez del cuello. Este ángulo es más pronunciado en los hombres -unos 90°- que en la mujer (unos 120°), por ello protruye más en los hombres bajo la piel. En la unión de las dos láminas se encuentran la escotadura tiroidea superior (*ver figura 1b*) y la prominencia laríngea (*ver figura 1f*), llamada nuez, que son palpables. En la cara anterior de las láminas encontramos una cresta denominada línea oblicua (*ver figura 1d*). El borde posterior de cada lámina se continua cranealmente por las astas superiores (*ver figura 1a*) y caudalmente por las astas inferiores (*ver figura 1e*).

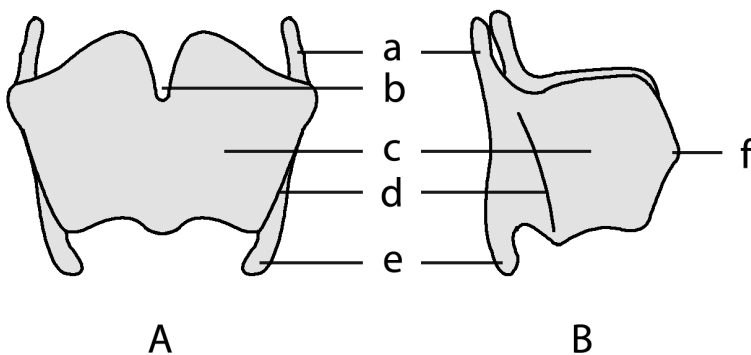


Figura 1. Tiroides. A: visión anterior, B: visión lateral. a: asta superior, b: escotadura tiroidea superior, c: lámina, d: línea oblicua, e: asta inferior, f: prominencia laríngea (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora).

El cricoides es el cartilago más inferior de la laringe. Tiene forma de anillo de sello con una lámina cuadrilátera posterior (*ver figura 2d*) y un arco (*ver figura 2c*) estrecho en posición anterior que se palpa fácilmente en el cuello. Presenta unas carillas articulares para las astas inferiores del tiroides (*ver figura 2b*) y para los aritenoides (*ver figura 2a*).

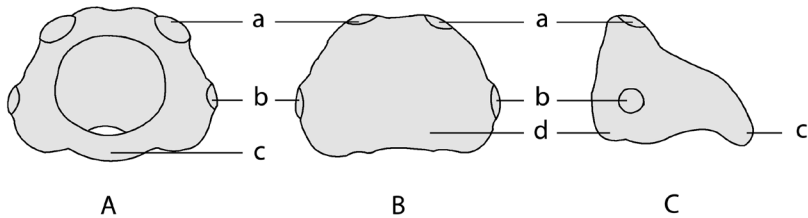


Figura 2. cricoides. A: visión anterior, B: visión posterior, C: visión lateral. a: carilla articular para el aritenoides, b: carilla articular para el tiroides, c: arco, d: lámina (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora).

Los aritenoides son pares y simétricos respecto a la línea media. Tienen forma de pirámide triangular y su base presenta una carilla articular (*ver figura 3d*) para articularse con la fosita de la lámina del cricoides (*ver figura 2a*). Lateralmente encontramos dos apófisis, la apófisis vocal (*ver figura 3e*) y la apófisis muscular (*ver figura 3c*).

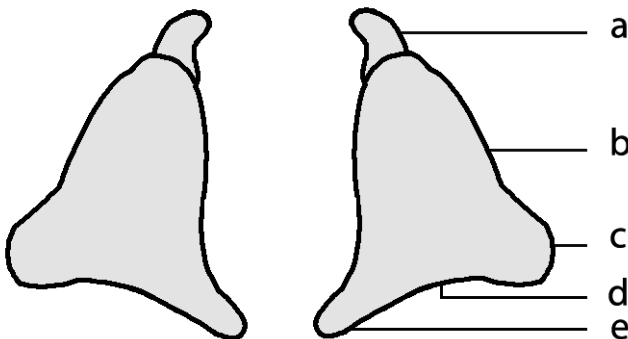


Figura 3. Cartilagos aritenoides y corniculados. Visión anterior. a: corniculado, b: aritenoides, c: apófisis muscular, d: carilla articular, e: apófisis vocal (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora)

La epiglotis (ver figura 4) tiene forma de hoja con su pecíolo en posición inferior (ver figura 4a) y se sitúa en la parte posterior del ángulo del tiroides al que se une por medio de un pequeño ligamento. No tiene ninguna función relacionada con la fonación.

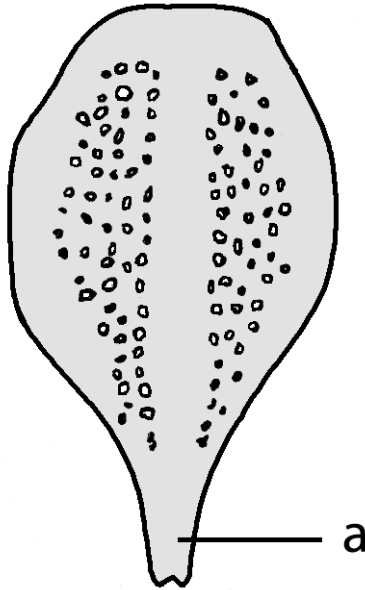


Figura 4. Epiglotis. a: pecíolo (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora).

Los cartílagos tiroides, cricoides y aritenoides se articulan entre sí formando las articulaciones de la laringe, en las que se producen los movimientos necesarios para las diversas funciones de la misma.

El tiroides y el cricoides se articulan dando lugar a las denominadas articulaciones cricotiroides. En ellas se produce el movimiento de basculación del tiroides sobre el cricoides; el tiroides bascula hacia delante y atrás. Los aritenoides se articulan con el cricoides formando las articulaciones cricoaritenoides. En ellas se producen dos tipos de movimientos: de deslizamiento del aritenoides sobre el cricoides y de rotación del aritenoides alrededor de un eje vertical. En la figura 5 se muestra de manera esquemática la formación de estas articulaciones.

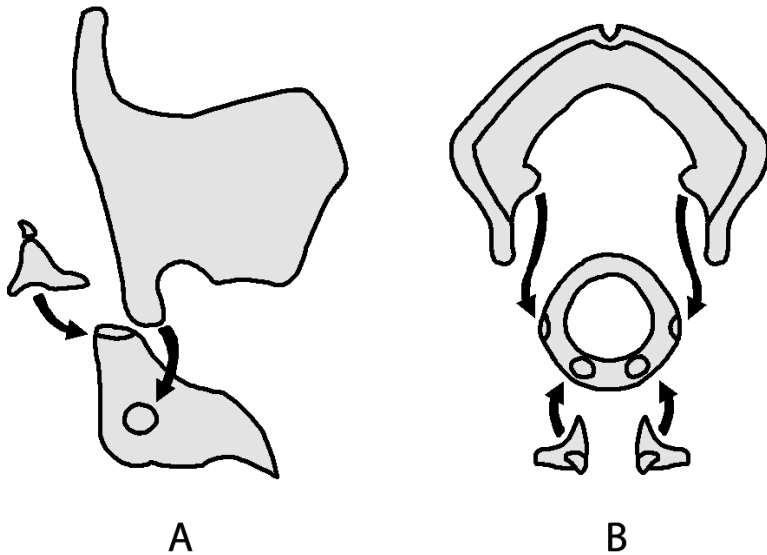


Figura 5. Formación de las articulaciones de la laringe. A: visión lateral, B: visión craneal (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora)

Los distintos movimientos articulares se realizan gracias a la acción pequeños músculos -musculatura intrínseca de la laringe- que se insertan sobre los cartílagos laríngeos. Esta musculatura actúa separando o acercando los pliegues vocales, con lo que se produce la abertura o cierre del espacio comprendido entre ellos, la hendidura glótica -también denominada glotis-. Se habla de músculos abductores y aductores, respectivamente.

Para entender la constitución interna del pliegue vocal estudiaremos un corte frontal de la laringe (ver figura 6). Se observan los pliegues vocales a derecha e izquierda -enmarcados en un rectángulo gris-. Dentro de cada pliegue encontramos, un ligamento, el ligamento vocal (ver figura 6h) y un pequeño músculo, el músculo vocal (ver figura 6i), que constituyen su esqueleto. Por encima de los pliegues vocales se encuentran los pliegues vestibulares -también denominados cuerdas vocales falsas, cuerdas vocales superiores o bandas ventriculares- que no tienen ninguna acción fonatoria en voces no patológicas. En su interior se encuentra el ligamento vestibular (ver figura 6e).

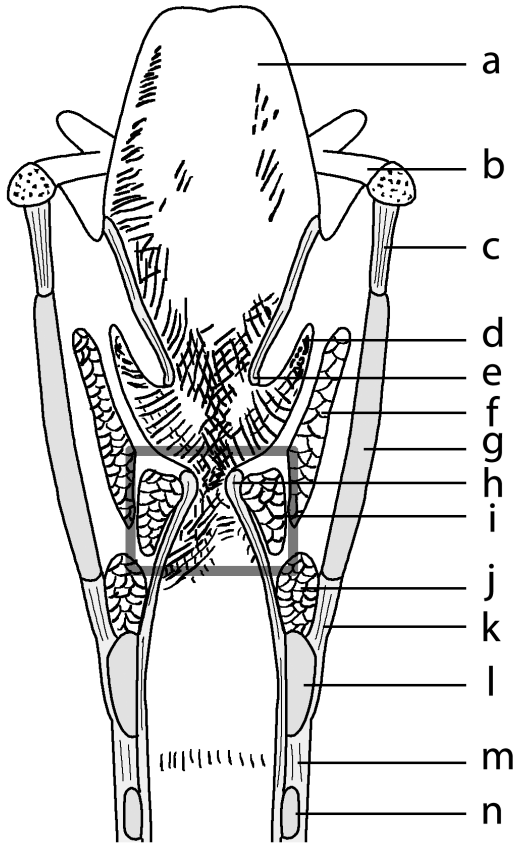


Figura 6. Corte frontal de la laringe. a: cartilago epiglotis, b: hueso hioides, c: membrana tirohioidea, d: ventriculo laríngeo, e: ligamento vestibular, f: músculo tiroaritenoides, g: cartilago tiroides, h: ligamento vocal, i: músculo vocal, j: músculo cricoaritenoides lateral, k: ligamento cricotiroideo, l: cartilago cricoides, m: ligamento cricotraqueal, n: primero cartilago traqueal. El rectángulo señala los pliegues vocales (imagen procedente de Torres, 2014, con Permiso de la editora).

Podemos ver estos pliegues en toda su extensión en la figura 7; vemos los pliegues del lado derecho -se han marcado con una letra- y los del lado izquierdo. Se ha abierto la laringe por su parte posterior separando ambos bordes, lo que nos permite ver los pliegues vestibulares (a) en posición superior y los pliegues vocales en posición inferior (b).

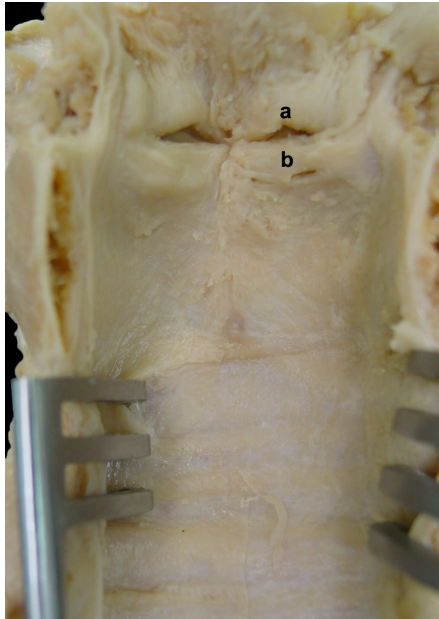


Figura 7. Visión interior de la laringe. a: pliegue vestibular; b: pliegue vocal. Imagen cedida por la Dra. Maribel Miguel Pérez.

En la figura 8 se muestra un corte sagital de la laringe; vemos el lado derecho de la misma. Observamos los pliegues vestibulares (a) y los pliegues vocales (b) que se extienden desde el aritenoides (d) al ángulo interno del tiroides (c),



Figura 8. Corte sagital de la laringe. a: pliegue vestibular, b: pliegue vocal, c: cartilago tiroides, d: cartilago aritenoides, e: cartilago cricoides, f: epiglotis.

Si observamos una laringe desde su parte craneal -superior-, como en la figura 9, podemos ver la parte superior de los pliegues vestibulares (b) y de los pliegues vocales (a). Los pliegues vestibulares, como hemos visto, están situados por encima de los pliegues vocales. Si observamos la figura 6 veremos que los pliegues vestibulares están situados más alejados de la línea media de la laringe que los pliegues vocales -no los cubren su totalidad-, de ahí, que podamos ver una porción de estos últimos que no queda cubierta. Esta porción visible es la que se halla más cercana a la hendidura glótica -marcada con un asterisco- y la que se observa como una banda más blanquecina y brillante.

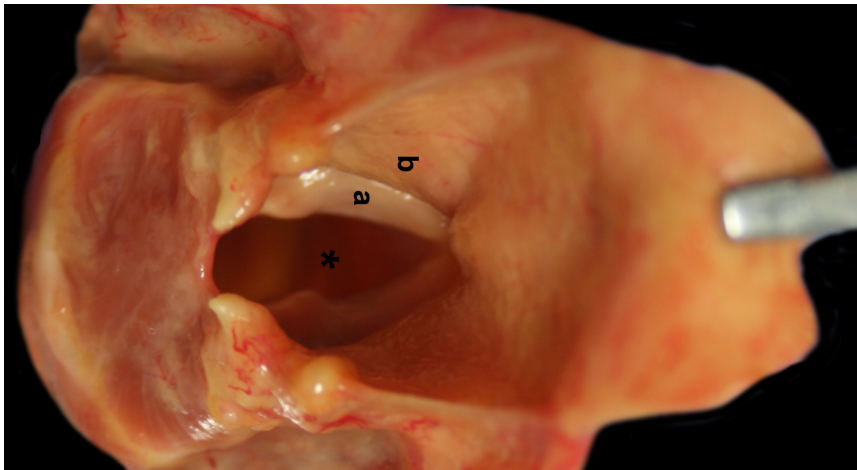


Figura 9. Visión craneal de la laringe. a: pliegue vocal, b: pliegue vestibular.

Se obtiene una imagen análoga si observamos la laringe mediante laringoscopia, como vemos en la figura 10. Se muestra la posición de los pliegues vocales en la respiración tranquila (A) y durante la fonación (B) en que los pliegues vocales están aducidos cerrando la hendidura glótica. Aunque al tratarse de una imagen en dos dimensiones parece que los pliegues vestibulares (b) y los vocales (a) se hallan en un mismo plano, hemos visto que se disponen en planos distintos por lo que un corte transversal que pase por los pliegues vocales, como el de la figura 12, no alcanzará a los pliegues vestibulares que quedarán por encima.

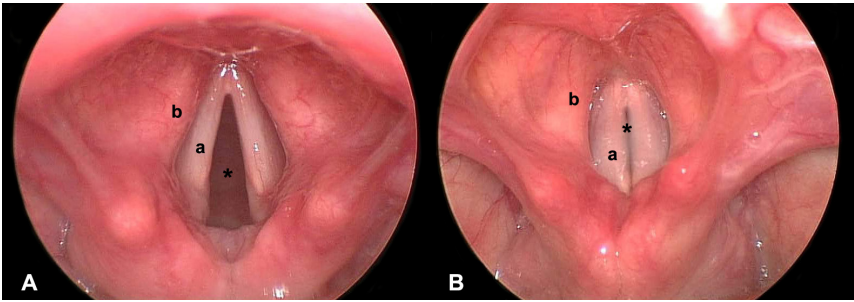


Figura 10. Imagen laringoscópica de la laringe de un adulto. A: Inspiración, B: Fonación. a: pliegue vocal, b: pliegue vestibular. Se ha marcado la hendidura glótica con un asterisco. Imágenes cedidas por la Dra. Montserrat Bonet i Agustí.

La figura 11 muestra de manera esquemática la posición ocupada por el pliegue vocal. Se muestra su esqueleto, el ligamento vocal (a) y el músculo vocal (b), que se extienden, como hemos visto, desde el aritenoides (f) hasta el tiroides (e) -se ha marcado su punto de inserción mediante unos rectángulos blancos-. Dado que el esqueleto del pliegue vocal está unido a dichos cartílagos, cuando éstos se desplazan en sus articulaciones por acción de la musculatura, los pliegues se desplazan con ellos. Así cuando los aritenoides rotan y se deslizan, alejándose o acercándose, los pliegues vocales son arrastrados y se producen los movimientos de abducción y aducción, que abren y cierran, respectivamente, la hendidura glótica. De modo análogo, cuando el tiroides bascula y se desplaza anteriormente en las articulaciones cricotiroides los pliegues vocales siguen su movimiento y se tensan.

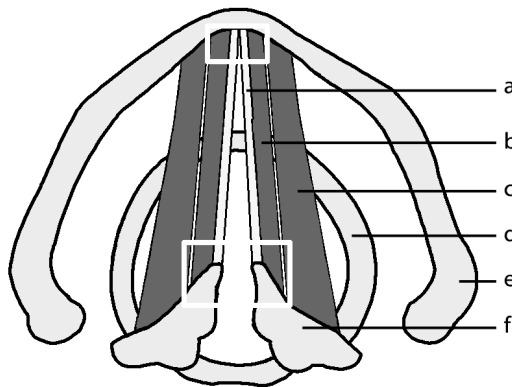


Figura 11. Visión esquemática craneal del interior de la laringe. a: ligamento vocal, b: músculo vocal, c: músculo toriaritenoideo, d: cartílago cricoides, e: cartílago tiroides, f: cartílago aritenoides.

Junto al músculo vocal, situado lateralmente a él, se encuentra el músculo tiroaritennoideo (ver figura 11c). Ambos músculos han sido estudiados clásicamente como un único músculo con dos porciones, la porción interna o vocal y la porción externa. La nomenclatura internacional los reconoce como dos músculos distintos, lo que es coherente con el hecho de que realizan acciones también distintas. Si bien ambos colaboran en la aducción de los pliegues vocales, sólo el músculo vocal posee una acción determinante en la voz -el músculo tiroaritennoideo no tiene ninguna acción relacionada con la voz-. Este músculo constituye, como hemos visto, la mayor parte del pliegue vocal. Al contraerse provoca un aumento relativo del volumen de los pliegues vocales y varía de esta manera sus características físicas. Es el responsable de las variaciones locales en la tensión del pliegue vocal durante la fonación y el canto. Así, en una nota aguda este músculo está relajado con lo que el pliegue vocal será delgado. Por el contrario, en una nota grave, el músculo está contraído y presenta un mayor grosor. La figura 12 muestra de forma esquemática la acción de este músculo.

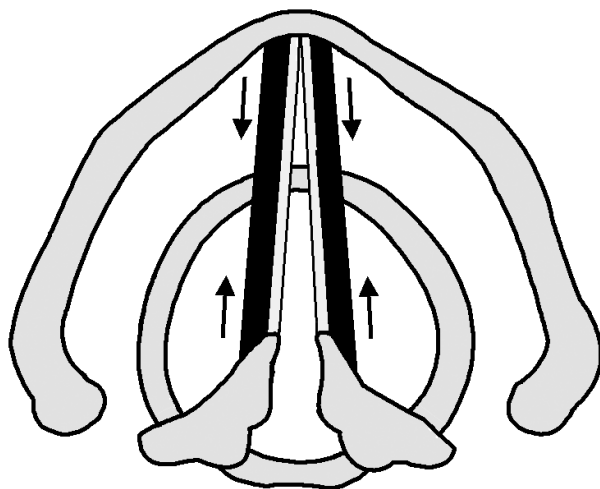


Figura 12. Visión craneal esquemática de la laringe. El trazo grueso representa el músculo vocal. Las flechas indican su acción sobre los pliegues vocales (imagen procedente de Torres, 2014, con permiso de la editora).

En la figura 13, correspondiente a un corte transversal de la laringe que pasa por los pliegues vocales (ver figura 14a), se observan ambos músculos: el músculo vocal (a) y el músculo tiroaritenoides (b). Como veremos, estos músculos se observan con claridad mediante la técnica ecográfica en las laringes de los niños y niñas.

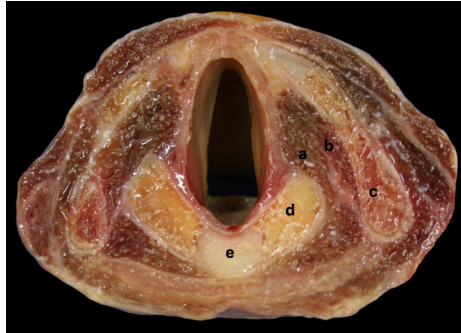


Figura 13. Corte transversal de la laringe que pasa por los pliegues vocales. a: músculo vocal, b: músculo tiroaritenoides, c: cartilago tiroides, d: cartilago aritenoides, e: cartilago cricoides.

Metodología

La ecografía permite inspeccionar y registrar el movimiento activo de estructuras internas de diversos órganos a tiempo real. Se tomaron imágenes de los pliegues vocales durante la respiración tranquila en cantantes niños y adultos. Asimismo se realizaron filmaciones de los pliegues vocales en dos voluntarias adultas durante la vocalización de una nota aguda y una nota grave.

Participaron en el estudio trece niñas y tres niños (de edades comprendidas entre 9 y 14 años) cantantes del *Cor Vivaldi de la Escola IPSI* de Barcelona. Asimismo participaron cuatro adultos (una soprano, una contralto y dos tenores) todos ellos pertenecientes a la misma escuela de canto.

Las observaciones, en el caso de los niños, se realizaron con los sujetos sentados en la posición habitual de ensayo, manteniendo la postura correcta de cuello y espalda, sin perder la verticalidad. En el caso de las personas adultas, la observación se realizó estando los sujetos de pie. Los cantantes adoptaron la postura y gesto vocal habituales para mantener una verticalidad correcta y evitar cualquier tensión muscular.

Tanto en los participantes niños como en los adultos, para cada observación se realizaron un mínimo de tres registros para poder comprobar la repetibilidad de los resultados.

La técnica ecográfica se realizó mediante una sonda lineal multifrecuencia (6-13 MHz - HFL38, Sonosite, Bothell, USA) conectada a un ecógrafo de elevadas prestaciones con preset de osteomuscular (M-Turbo, Sonosite, Bothell, USA). Se utilizó como vía de observación la ventana cricotiroides -espacio anterior comprendido entre el cricoides y el tiroides- según técnica descrita por nuestro grupo en un trabajo anterior (Torres et al. 2015). En la figura 14 se muestra el plano de observación utilizado (B).

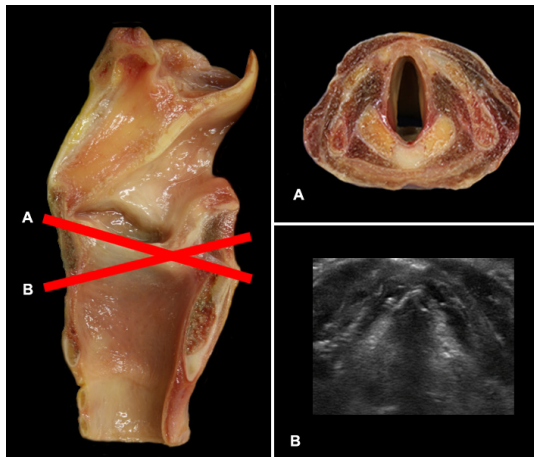


Figura 14. Planos de sección anatómica y ecográfica. A: Corte transversal que pasa por el pliegue vocal, a la derecha se muestra la sección anatómica obtenida. B: Plano de corte ecográfico a través de la ventana cricotoroidea, a la derecha se muestra la sección ecográfica obtenida.

Se realizó la filmación en vídeo de la pantalla del ecógrafo durante las vocalizaciones de las dos cantantes, registrando así la imagen y el sonido. La filmación se llevó a cabo mediante una cámara Canon IXUS 310 HS. Para sincronizar el ecógrafo y la cámara la profesora de canto daba el tono con un pequeño piano eléctrico, a continuación se ponían en marcha ambos aparatos y se iniciaba la vocalización.

Las dos voluntarias, una soprano y una contralto, pertenecen, como decíamos anteriormente, a la misma escuela de canto. Podemos resumir las

características de esta escuela del siguiente modo: a) se trabaja buscando un timbre homogéneo de la voz durante todo el registro; b) los labios se sitúan en forma de “O”, posición en la que se realizan todas las vocalizaciones; c) las consonantes siempre se realizan muy adelantadas y rápidas; d) la respiración es diafragmática o abdominal, con un descenso máximo del diafragma; e) la espiración se realiza sacando barriga -no se hunde el abdomen al espirar-.

Ambas realizaron una nota grave y una aguda. La nota fue escogida por la profesora de canto en función de la tesitura de cada cantante de modo que supusiera una dificultad semejante en ambas participantes. Las notas fueron Mi³ y La⁴ para la soprano, y Sol² y Re⁴ para la contralto. Las vocalizaciones se realizaron con la sílaba “no”. La “o” no era muy abierta ni demasiado cerrada que oscureciera la voz en exceso. Se utilizó una “n” muy rápida y avanzada para impulsar la voz.

Resultados

Se realizó la ecografía de la laringe en niños y adultos durante el reposo. Se pedía a los participantes que respiraran de manera tranquila por la nariz y que no produjeran ningún sonido. Con ello se pretendía obtener imágenes del interior de los pliegues vocales en inactividad. Las técnicas de estudio habituales, como la laringoscopia, permiten observar, como hemos visto anteriormente, la parte superior de los pliegues vocales, pero no ver su interior. Mediante la ecografía podemos tomar imágenes dinámicas del interior del pliegue y ver así al músculo vocal que forma su esqueleto, junto a otras estructuras internas, como el músculo tiroaritenoides -no implicado, como decíamos, en la producción de la voz-.

El primer hecho a destacar es que en todos los casos analizados la resolución de la ecografía en los niños ha sido mayor que en los adultos. En el caso de los adultos la visualización del interior de la laringe siempre ha sido menos nítida que en los niños, siendo menor la resolución de la imagen en los hombres.

La figura 15 muestra la ecografía realizada a un niño contralto de 13 años. La imagen guarda un claro paralelismo con el corte transversal anatómico mostrado en la figura 12. Se distinguen con toda nitidez, el músculo vocal (c) y a su lado, en posición más lateral, el músculo tiroaritenoides (b).

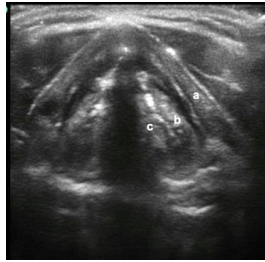


Figura 15. Ecografía de la laringe de un niño contralto de 13 años. a: cartílago tiroides, b: músculo tiroaritenóideo, c. Músculo vocal.

Una imagen análoga se observa en la figura 16, en la que se muestra la imagen ecográfica de la laringe de una niña soprano de 12 años. Como en el caso anterior, se observa claramente la presencia del músculo vocal (c) separado del músculo tiroaritenóideo (b). En ambos casos se aprecia claramente el cartílago tiroides (ver figuras 15a y 16a).

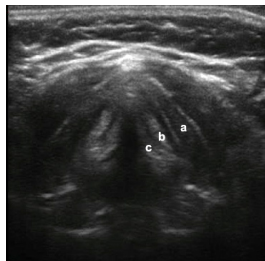


Figura 16. Ecografía de la laringe de una niña soprano de 12 años. a: cartílago tiroides, b: músculo tiroaritenóideo, c. Músculo vocal.

Las figuras 17 y 18 corresponden, respectivamente, a una soprano y una contralto. En ambos casos, se observa la presencia del músculo vocal separado del tiroaritenóideo, aunque la línea de separación entre ambos es menos marcada que en los niños.



Figura 17. Ecografía de la laringe de una soprano adulta. a: cartílago tiroides, b: músculo tiroaritenóideo, c. Músculo vocal.

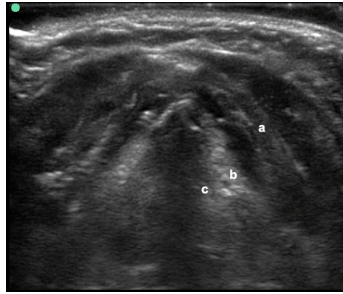


Figura 18. Ecografía de la laringe de una contralto adulta. a: cartílago tiroideos, b: músculo tiroaritenoides, c. Músculo vocal.

La figura 19 muestra la imagen ecográfica obtenida en un tenor. Como se observa, la resolución de la imagen es menor que en los casos precedentes. Sólo en el lado izquierdo de la imagen se insinúan los músculos vocal y tiroaritenoides, mientras que en el lado derecho no es posible observar estos dos músculos.

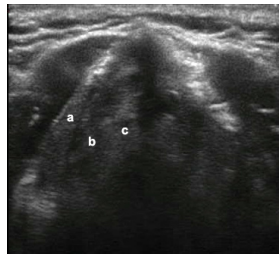


Figura 19. Ecografía de la laringe de un tenor adulto. a: cartílago tiroideos, b: músculo tiroaritenoides, c. Músculo vocal.

Junto a estas observaciones en el reposo, se llevaron a cabo diversas ecografías durante la fonación. Comparamos el comportamiento de los pliegues vocales en la producción de una nota aguda y una grave en las dos cantantes adultas. Se realizaron fotografías de distinta fases del proceso así como filmaciones en vídeo de los pliegues vocales desde el inicio hasta el final de la vocalización.

En la figura 20 podemos ver dos momentos de la vocalización de una nota grave (A) y una nota aguda (B). Se pidió a la contralto que realizara un Sol² y, posteriormente, un Re⁴

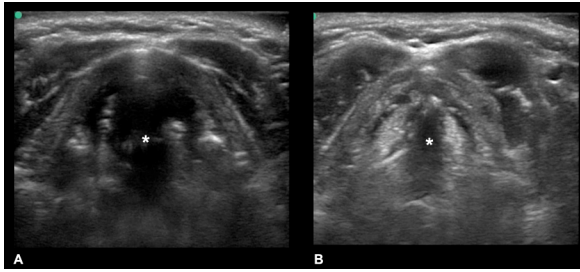
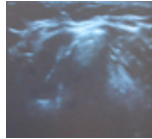
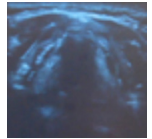
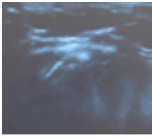
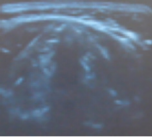


Figura 20. Imágenes ecográficas de la laringe de una contralto durante la vocalización de dos notas, grave y aguda. A. nota grave (Sol²). B. Nota aguda (Re⁴).

Podemos ver el grado de separación entre los pliegues vocales durante la producción sonora -se ha marcado con un asterisco-. En el caso de la nota grave, vemos que los pliegues vocales se separan más que durante la producción de la nota aguda, en que se mantienen más tensados y, por ello, más juntos. Para poder ver este efecto, que se produce también en el caso de la soprano, se adjuntan al trabajo cuatro vídeos en los que se puede observar el movimiento de los pliegues a lo largo de toda la vocalización.

En los vídeos se observa como durante la vocalización de notas agudas, en ambas cantantes, los pliegues vocales se muestran tensos y vemos como los pliegues se mantienen más juntos que en las notas graves. En el caso de las notas graves, que se produce una vibración a menor frecuencia, los pliegues vocales están menos tensos y se abren y se cierran más lentamente, manteniéndose más tiempo separados. Se aprecia también la vibración del epitelio de los pliegues vocales, principalmente visible en la nota aguda realizada por la soprano.

Para acceder a los vídeos deben hacer clic en los iconos correspondientes que tienen a continuación. Pueden también ver estos vídeos decodificando los códigos QR con un dispositivo adecuado.

	SOPRANO		CONTRALTO	
Agudo		Espacio para Código QR		Espacio para Código QR
Grave		Espacio para Código QR		Espacio para Código QR

Discusión y conclusiones

En los años 90 del siglo pasado el grupo de Garel (1990, 1991, 1992) realizó diversos estudios mediante ecografía en niños de hasta 15 años. La ecografía es una técnica no invasiva que puede ser utilizada en niños de muy corta edad sin causarles ningún tipo de molestia por lo que han planteado su uso en la diagnosis de patologías como las parálisis de pliegue vocal en neonatos. Estos autores querían estudiar la normalidad y también estados patológicos funcionales de la laringe. Para observar los pliegues vocales realizaban las ecografías a través del cartílago tiroides de los niños. El tiroides era utilizado como una ventana acústica aprovechando la elasticidad de los tejidos infantiles. Un procedimiento análogo de observación ha sido usado por otros grupos de investigación (Raghavendra et al., 1987; Oio et al., 1995; Hsiao et al., 2001; Cho et al. 2012).

Esta vía de visualización en los adultos deja de funcionar como una ventana ecográfica o lo hace con dificultad (Loveday, 2003; Lakhal et al. 2007; Arruti y Poumayrac, 2010; Shalaby et al. 2013) ya que el cartílago tiroides se calcifica con la edad, llegando a ser hueso en edades avanzadas (Mupparapu y Vuppalapati, 2005; Türkmenet al., 2012; Matta, 2014).

En nuestro estudio hemos usado como ventana de observación el espacio cricotiroideo (Gomaa et al., 2013; Torres et al. 2015) que se halla ocupado por una delgada membrana -la membrana cricotiroidea-. De este modo podemos observar los pliegues vocales sin la interferencia de las zonas de cartílago osificadas. A pesar de ello, en nuestras observaciones siempre la calidad de las imágenes en los adultos, principalmente en los hombres, ha sido menor que en el caso de los niños.

Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que la visión ecográfica en el adulto presenta mayores dificultades por las características del propio tejido, que es menos rico en agua que en los niños y también debido a que las distancias son mayores, lo que obliga a aplicar menores frecuencias de estudio y por ello se obtiene menor resolución (Balius et al., 2007; Shmidt, 2007; Walker, 2012). Mathieson (2010), citando a diversos autores, indica que en el neonato los pliegues medirían entre 2,5 y 3 mm; a los 14 días 3 mm; a la edad de 1 año, 5,5 mm; en un niño de 9 años 9 mm; en la pubertad entre 12 y 15 mm; en la mujer entre 12 y 17 mm; y en el hombre entre 13 y 23 mm. Según Titze (1989), en la pubertad los pliegues vocales aumentan entre 4 y 8 mm en el hombre, y entre 1 y 3,5 mm en la mujer.

Las imágenes obtenidas con la ecografía guardan una clara correlación con las imágenes laringoscópicas. Con ambas técnicas podemos ver el movimiento de los pliegues y las variaciones de la hendidura glótica, obteniendo imágenes análogas, si bien la laringoscopia no permite observar el interior del pliegue. Esta correlación ha sido también notada por Jadcherla et al. (2006) y Cho et al. (2012).

Hemos visto que los pliegues vocales tienen el mismo comportamiento durante las vocalizaciones en la soprano y en la contralto. Las diferencias observadas son entre notas agudas y graves, no entre las distintas voces. Por lo que el mecanismo de producción de la voz es igual en la voz aguda que en la grave.

Para explicar el comportamiento de los pliegues vocales durante la vocalización de las notas graves y agudas, recordaremos el principio que nos permite explicar su funcionamiento. En el período prefonatorio los pliegues vocales se encuentran aducidos cerrando la hendidura glótica. Los pliegues se ponen en vibración gracias a la presión que sobre ellos ejerce el aire espirado. Cuando esta presión -presión subglótica- es superior a la de cierre de los pliegues vocales, éstos son obligados a separarse y el aire pasa a gran velocidad entre ellos produciéndose un descenso brusco de presión en la hendidura glótica. Este efecto, conocido como efecto Bernoulli, junto con la elasticidad de los pliegues vocales, hace que los pliegues se acerquen y se cierre de nuevo la hendidura glótica. Este fenómeno se produce de forma rápida y repetida determinando la vibración de los pliegues vocales y, por tanto, la producción de la voz (Torres, 2014). En el caso de una nota aguda la tensión de los pliegues vocales es alta lo que determina que presión de cierre es mayor que en

el caso de una nota grave. Para generar el sonido agudo necesitamos ejercer una presión elevada y entre los pliegues vocales pasa poco aire aunque a mucha velocidad. Esto determina que los pliegues se abran y cierren muy rápidamente. En el caso de una nota grave en que la tensión de cierre es menor, necesitamos ejercer menos presión para producir el sonido. En este caso, los pliegues se abren y cierran más lentamente, por lo que se encuentran más tiempo separados. Sería algo parecido a lo que observamos si cerramos los labios y ejercemos presión en el interior de la boca hasta hacerlos vibrar. Si cerramos los labios con fuerza hemos de ejercer una presión elevada para hacerlos vibrar, y cuando la vibración se produce, los labios casi no se separan. Si repetimos la experiencia cerrando los labios con menos fuerza, tendremos que ejercer menos presión y los labios al vibrar se separarán más que en el caso anterior, su vibración será menos tensa, como sucede en la laringe.

Consideramos que la ecografía puede ser una técnica muy útil para entender el comportamiento interno del pliegue vocal durante el canto. Dado que es una técnica no invasiva y que no requiere de ningún tipo de tratamiento o preparación previa puede ser usado con adultos o niños sin crear ningún tipo de molestia o efecto secundario.

Agradecimientos

Queremos dar la gracias al Cor Vivaldi de l'Escola IPSI de Barcelona, y en concreto, a su Director, el Sr. Òscar Boada, y a su mánager, la Sra. Margarita Cabero, por su amabilidad y toda la ayuda prestada. Agradecer también muy especialmente a los niños y niñas su participación en nuestro estudio y a sus padres y madres por habernos dado su consentimiento para la realización de la experiencia. Asimismo queremos agradecer el Sr. Oriol Blancher, Director de l'Escola IPSI, el habernos dado todas las facilidades para poder desarrollar el proyecto. Por último, agradecer a las Dras. Montserrat Bonet i Agustí y Maribel Miguel Pérez la cesión de imágenes para este trabajo.

Bibliografía

- Arruti, A. y Poumayrac, M. (2010). Ecografía laringea: Una técnica alternativa en la valoración de la encrucijada aero-digestiva. *Rev Imagenol.* 14(1):30-36.
- Balius, R., Sala, X., Álvarez, G. y Jiménez, F. (2007). *Ecografía musculoesquelética*. Badalona: Paidotribo.
- Cho, W., Hong, J. y Park, H. (2012). Real-time ultrasonographic assessment of true vocal fold length in professional singers. *J Voice.* 26 (6), 819.e1.819.e6

Garel, C., Legrand, I., Elmaleh, M., Contencin, Ph., y Hassan, M. (1990). Laryngeal ultrasonography in infants and children: anatomical correlation with fetal preparations. *Pediatr Radiol.* 20, 241-244.

Garel, C., Contencin, P. Plonovski, J.M., Hassan, M. y Narcy, P. (1992). Laryngeal ultrasonography in infants and children: a new way of investigating. Normal and pathological findings. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology.* 23, 107-115.

Garel, C., Hassan, M., Legrand, I., Elmaleh, M. y Narcy, P. (1991). Laryngeal ultrasonography in infants and children: pathological findings. *Pediatr Radiol.* 21, 164-167.

Gomaa, M.A.; Hammad, M.S., Osman, M.N. y Eissawy, M.G. (2013). Value of high resolution ultrasonography in assessment of laryngeal lesions. *Otolaryngologia Polska.* 67: 252-256.

Hsiao, T., Wang, CL., Chen, CN. y Hsien, FJ. (2001). Noninvasive assessment of laryngeal phonation function using color doppler ultrasound imaging. *Ultrasound in Med & Biol.* 27(8), 1035-1040.

Jadcherla, S.R., Gupta, A., Stoner, E., Coley, B.D. Wiet, G.J. y Shaker, R. (2006). Correlation of glottal closure using concurrent ultrasonography and nasolaryngoscopy in children: a novel approach to evaluate glottal status. *Dysphagia.* 21 (1): 75-81. DOI: 10.1007/s00455-005-9002-7.

Lakhal, K., Delplace, X., Cottier, J.P, Tranquart, F, Sauvagnac, X., Mercier, C., Fuscuardi, J. y Laffon, M. (2007) The feasibility of ultrasound to assess subglottic diameter. *Anaesth Analg.* 104(3):611-614.

Loveday, E.J. (2003). Ultrasound of the larynx. *Imaging.* 15:109-114.

Matta, I.R., Halan, K.B., Agrawal, R.H., Kalwari, M.S. (2014). Laryngeal ultrasound in diagnosis of vocal cord palsy: An underutilized tool? *J Laryngol Voice.* 4(1):2-5.

Mupparapu, M. y Vuppapalati, A. (2005) Ossification of laryngeal cartilages on lateral cephalometric radiographs. *Angle Orthod.* 75(2):196-201.

Ooi, LL., Chan, HS. y Soo, KC. (1995). Color dopler imaging for vocal cord palsy. *Head & Neck.* 17(1), 20-23.

Raghavendra, B.N., Horii, S.C., Reede, D.L., Rumancik, WM., Persky, M. y Bergeron, T. (1987). Sonographic Anatomy of the larynx, with particular referente to the vocal cords. *Ultrasound Med.* 6, 225-230.

Shalaby, H.A., Maaly, M.A. y Abdella, T,F. (2013). Ultrasonography diagnostic validity in structural and functional laryngeal disorders. *Menoufia Med J* 26:170-176.

Shmidt, G. (2007). *Ecografía. De la imagen al diagnóstico.* Madrid: editorial Médica pan-americana.

Titze, I.R. (1989). Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *J. Acoust. Soc. Am.* 85, 1699-1707.

Torres, B. (2007). Anatomía funcional de la voz. En: J. Rumbau (coord.), *Medicina del canto* (URL: <http://www.medicinadelcant.com/index.htm>). También disponible en el Depósito Digital de la UB (URI: <http://hdl.handle.net/2445/43135>)

Torres, B. (2013). La Voz y Nuestro Cuerpo. Un Análisis Funcional. *Revista de Investigaciones en Técnica Vocal.* 1 (1). 40-58. La Plata: Facultad de Bellas Artes UNLP.

- Torres, B. (2014). *La veu i el nostre cos. Anatomía funcional de la veu*. Barcelona: Horsori.
- Torres, B., Bergé, R., Sala-Blanch, X. y Prats-Galino, A. (2015). Descripción anatómica de las ventanas laríngeas ecográficas. *Rev Esp Anestesiología y Reanimación*. 62 (5):297-8. DOI: 10.1016/j.redar.2014.06.002
- Torres, B. y Gimeno, F. (2008). *Anatomía de la Voz*. Barcelona: Paidotribo. (Edición en e-book 2011).
- Torres, B., Massó, N., Rey, F., Germán, A., Gimeno, F. (2015). Estudio electromiográfico de los patrones musculares durante el canto. En N. Alessandrini (ed.). *Estudios experimentales en técnica vocal*. La Plata: Editorial del Grupo de Investigaciones en Técnica Vocal (en prensa).
- Türkmen, S., Cansu, A., Türedi, S., Eryigit, U., Sahin, A., Gündüz, A., Shavit, I. (2012). Age-dependent structural and radiological changes in the larynx. *Clin Radiol*. 67(11):e22-6. DOI: 10.1016/j.crad.2012.07.006.
- Youssef, S., Steiner, E., Turetschek, K., Gritzmann, N., Kürsten, R. y Franz, P. The sonography of laryngeal cysts. *Nuklearmedizin*. 159:38-42.
- Walker, F.O. (2012). *Principios básicos de ecografía*. Madrid: Elsevier España.

Bio autores

Begoña Torres Gallardo

Profesora Titular de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina de la Universitat de Barcelona. Doctora en Biología. Licenciada en Humanidades. Master en logopedia. Master Multimedia Educativo. Postgrado en Audiología y Audioprótesis. Postgrado en microscopía y microanálisis. Certificado de Lengua de Signos Catalana (LSC) Nivel IV (Perfeccionamiento). Académica Correspondiente de la Reial Acadèmia de Medicina de Catalunya. Miembro del Grupo de Investigación “Anatomía Aplicada, Quirúrgica y de Simulación”. Miembro de la Junta de la Societat Catalana d’Història de la Medicina. Miembro de la Societat Catalana de Biologia, de la Sociedad Española de Educación Médica, de la Sociedad Anatómica Española, de la Sociedad Española de Historia de la Ciencias y la Tecnología y de la Sociedad Española de Historia de la Medicina.

Xavier Sala-Blanch

Anestesiólogo del Servicio de Anestesiología del Hospital Clínic Universitario de Barcelona. Licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad Autónoma de Barcelona en 1988. Doctorado en la Universidad de Barcelona en 1993. Médico especialista en Anestesiología y Reanimación en Diciembre de 1993. Su labor asistencial se ha desarrollado en el Hospital Clínic de Barcelona del que es Jefe clínico. Desde el año 2013 es profesor asociado de Anatomía y Embriología Humana en la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona. Desde el año 2005 realiza cursos de formación de ecografía aplicada en Anestesia Regional. Su labor investigadora se ha desarrollado en el ámbito de la anatomía aplicada y de la anestesia regional. Es miembro del Grupo de Investigación “Anatomía Aplicada, Quirúrgica y de Simulación”.

Elisabet Gimeno Aragón

Soprano y profesora de canto. Acaba de publicar su álbum debut *Soñando las playas (Ars Harmonica 237)*. Como solista ha grabado para los sellos discográficos *La Mà de Guido* y *Anacrusi*. Con un repertorio que va desde la Edad Media hasta el siglo XX ha actuado por todo el estado español. Ha colaborado con las asociaciones Saó y Ple de Vida impartiendo talleres sobre la voz en cursos reconocidos por la Generalitat de Cataluña y la Universidad de Barcelona. También ha escrito varios artículos y ha participado en varias investigaciones sobre el mecanismo de la voz.

Alberto Prats-Galino

Alberto Prats Galino es Catedrático de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona (UB). Director del Departamento de Ciencias Morfológicas y Odontostomatología durante la etapa de 1993-1999, es actualmente Director del Laboratorio de NeuroAnatomía Quirúrgica (LSNA) y profesor responsable del 'Grupo de Anatomía Virtual y de Simulación' de la UB y del Grupo de investigación reconocido 'Anatomía Aplicada, Quirúrgica y de Simulación' de la Generalitat de Catalunya. Su campo de investigación está especialmente orientado tanto al análisis estructural del sistema nervioso central y periférico en estados normal y patológico, como a la caracterización de sus vías de abordaje (transcraneales, endoscópicas, anestésicas) y su modelización 3D.

Núria Massó Ortigosa.

Licenciada en Medicina y Cirugía por la Universitat de Barcelona (1983). Especialista en Medicina de la Actividad Física y el Deporte. UB. (1990). Doctorado en Medicina. UB. (1991) Título de la tesis: Análisis morfológico y biomecánico del pie en el ballet. Training en electromiografía clínica. Médico colaborador en el departamento de electrofisiología neuromuscular de l'Institut Neurològic de Barcelona. Profesor titular Universitat Ramon Llull. Barcelona. Director científico del Laboratori de la Facultat de Ciències de la Salut Blanquerna. Universitat Ramon Llull. Investigador grupo SAFE (Salut, Activitat Física i Esport) Universitat Ramon Llull. Líneas actuales de investigación: La actividad física y la danza como herramienta terapéutica para mejora del equilibrio; Danza y discapacidad; Electromiografía de superficie como herramienta de análisis de la postura y el movimiento.