



ESTUDIO ELECTROMIOGRÁFICO DE LOS PATRONES MUSCULARES DURANTE EL CANTO

Begoña Torres, Núria Massó, Ferran Rey, Ana Germán, Ferran Gimeno y Elisabet Gimeno-Aragón

Introducción

La voz es una acción compleja de nuestro cuerpo, del mismo modo que realizamos acciones como caminar o asir objetos con la mano. Nuestra voz, tanto cantada como hablada, se produce gracias a la acción coordinada e inseparable de estructuras y músculos de distintas regiones. Podemos decir que casi todo nuestro cuerpo se coordina para producir la voz.

Para una determinada acción los distintos músculos involucrados actúan de forma coordinada. En general, suele necesitarse un esfuerzo de varios músculos, en los que cada uno puede ejercer un papel distinto. En algunos casos, juegan un papel directo en la movilización de una o varias articulaciones. En otros casos, se trata de mantener y fijar otros segmentos corporales para lograr un entorno estable, ejerciendo lo que llamamos una acción estabilizadora. En este contexto, cada uno de los músculos puede activarse en distintos momentos, con distintos grados de esfuerzo, y con distintas progresiones de este esfuerzo durante el tiempo que dura su actividad. A todo ello lo llamamos patrón de activación muscular.

La electromiografía es una técnica que analiza la actividad eléctrica generada por la contracción muscular. Nos aporta información acerca de cuándo el músculo está activo y qué grado de esfuerzo realiza. Mediante sensores superficiales podemos obtener dicha actividad de varios músculos simultáneamente durante la ejecución de una acción.

Nuestro grupo viene trabajando desde hace años en el estudio de la anatomía funcional de la voz. Como resultado de nuestros estudios, establecimos el patrón muscular durante el canto y pudimos determinar la actuación de los distintos grupos musculares. Partiendo de estos trabajos, hemos diseñado el estudio que mostramos en este trabajo, en el que hemos medido mediante electromiografía la actividad de un conjunto de músculos del aparato fonador durante el canto.

Participaron en el estudio cinco cantantes pertenecientes a la misma escuela de canto, lo que nos aseguraba que todos habían realizado el mismo trabajo corporal y, por ello, podríamos esperar que los resultados obtenidos en las mediciones fuesen homogéneos. Estos cinco cantantes fueron dos sopranos, una contralto y dos tenores, con un nivel técnico medio-alto o alto, siendo uno de ellos cantante profesional.

Podemos resumir las características de esta escuela de canto 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).

Los músculos analizados en nuestro estudio fueron: recto del abdomen, transverso del abdomen, serrato anterior, intercostal externo, dorsal ancho (en sus porciones superior e inferior) y trapecio (porción inferior). La actividad de estos músculos se midió simultáneamente durante las distintas vocalizaciones, por lo que se obtuvo un registro de su actividad conjunta en cada caso y para todos los voluntarios.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio corroboran los obtenidos en nuestros trabajos anteriores. No sólo hemos observado que las actividades musculares medidas son coherentes con lo que la anatomía nos indica sobre estos músculos, sino que reflejan plenamente el trabajo corporal realizado por los participantes en las clases de técnica vocal.

Estado del problema

Nuestro grupo viene desarrollando desde hace años una línea de trabajo e 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 el sistema producen cambios audibles en la voz resultante. Tras estos estudios funcionales, llevamos a cabo un estudio en el que mediante electromiografía medimos la actividad de distintos músculos del aparato fonador en una cantante (cantante que también ha participado en nuestro estudio actual). Este estudio piloto nos indicó claramente que existía una correspondencia clara entre las conclusiones a las que habíamos llegado en trabajos anteriores y las actividades musculares medidas.

A partir de estas experiencias previas hemos diseñado y desarrollado la investigación que presentamos en este trabajo. Veremos brevemente algunos de los resultados que nos han llevado hasta nuestro estudio y que nos serán de gran utilidad para comprender mejor los resultados obtenidos.

El aparato fonador, por asimilación con un órgano, ha sido dividido para su estudio en tres porciones: *el vibrador*, *el fuelle* y *los resonadores*. A pesar de esta división, es un todo homogéneo e inseparable, por lo cual cualquier alteración o modificación en alguna de sus partes determinará una modificación o alteración en las demás.

El vibrador se halla constituido por la laringe que contiene en su interior los pliegues vocales (conocidos comúnmente como cuerdas vocales). Estos se ponen en vibración por acción del aire espirado y así se produce el tono de la voz.

El fuelle lo forman un conjunto de estructuras que se hallan por debajo de los pliegues vocales y actúan proporcionando una mayor o menor presión al aire espirado. Así encontramos los pulmones, la caja torácica, el músculo diafragma, los músculos del abdomen y los músculos accesorios de la respiración. Del fuelle dependerá inicialmente el volumen o intensidad de la voz.

Los resonadores son las cavidades situadas por encima de los pliegues vocales (en su conjunto forman el tracto vocal) en las que el sonido producido será modificado y se hará audible. De la forma y posición de las cavidades de resonancia dependerá el timbre de nuestra voz. Estas cavidades son: la faringe, la boca y la cavidad nasal.

Podemos considerar a la laringe como un tubo situado en la parte medial del cuello. Está formada por un esqueleto de pequeños cartílagos, que se articulan entre sí y se mueven por la acción de pequeños músculos. En su interior se hallan los pliegues vocales. Durante la respiración tranquila (como, por ejemplo, cuando estamos en reposo) los pliegues vocales están separados (abducidos) y permiten la entrada y salida libre del aire.

Inmediatamente antes de la fonación (período prefonatorio) los pliegues vocales han de estar en contacto (aducidos) manteniendo la hendidura glótica cerrada de modo que se interpongan al paso del aire espirado. A medida que el aire intrapulmonar es expulsado se produce un aumento progresivo de la presión subglótica o infraglótica. Cuando esta presión es superior a la de cierre de los pliegues vocales, estos son obligados a separarse y el aire sale con fuerza. Entonces, se produce un descenso brusco de la presión en la hendidura glótica. Este efecto, conocido como *efecto Bernoulli*, junto a la elasticidad de los pliegues vocales determina que los pliegues se acerquen y se cierre nuevamente la hendidura glótica. Este fenómeno se va produciendo de forma rápida y repetida, determina la vibración de los pliegues vocales y, por tanto, la producción de la voz. Se denomina ciclo fonatorio o ciclo vibratorio a cada una de las fases de abertura y cierre de los pliegues vocales. Los pliegues vocales no hacen vibrar el aire como las cuerdas de una guitarra, sino que se producen remolinos de aire mediante la apertura y el cierre de la hendidura glótica. La interrupción del flujo produce una vibración acústica por un mecanismo similar al de un instrumento de doble caña.

El diafragma es el músculo principal de la inspiración. Se sitúa como una lámina que separa la cavidad torácica de la abdominal (fig. 1). Durante la inspiración se contrae aplanándose (fig. 2b). Debido a esta acción las costillas se mueven lateralmente (las más inferiores) y hacia adelante (las más superiores). Así la caja torácica se ensancha y el aire entra en los pulmones aspirado del mismo modo que lo es un líquido hacia el interior de una jeringuilla. En la espiración (fig. 2a) el diafragma se relaja y asciende. Durante la respiración tranquila este proceso es automático ya que, como decíamos anteriormente, los pliegues vocales están separados y el aire pasa entre ellos sin ningún esfuerzo.

Para cantar o hablar utilizaremos la denominada respiración diafragmática (también denominada abdominal). En ella el diafragma realiza su máximo descenso. Es la más adecuada para cantar ya que permite ejercer un mayor control sobre el proceso espiratorio. Lo importante para una buena fonación

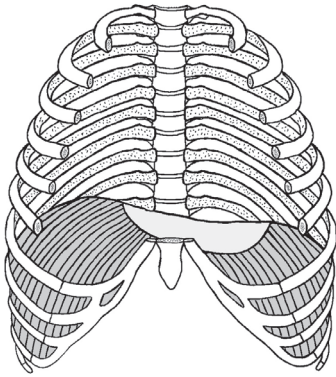


Figura 1. Visión anterior del diafragma.

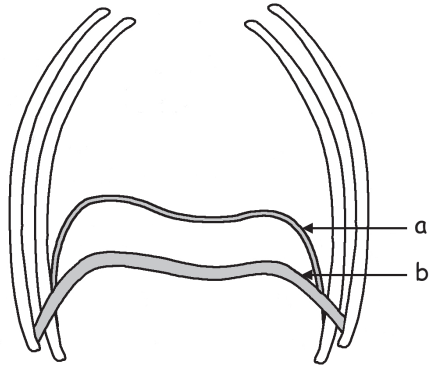


Figura 2. Movimientos del diafragma.
a: espiración, b: inspiración.

no es la cantidad de aire inspirado sino el control adecuado de la espiración. Es más, una inspiración demasiado profunda dificultará el acto fonatorio ya que todas las estructuras elásticas que se han puesto en movimiento (diafragma, caja torácica, pulmones, etc.) tienen gran tendencia a retraerse de forma rápida para alcanzar el reposo.

Cómo se muestra en la figura 3, el diafragma se sitúa más alto en la parte anterior, donde se une al esternón, que en la parte posterior, donde se une a la columna lumbar. En la respiración diafragmática, durante la inspiración, el diafragma se contrae y desciende según el sentido de la flecha. Al descender empuja las vísceras del interior del abdomen que, a su vez, empujan la musculatura del abdomen que debe estar relajada. Por eso, la barriga sale hacia fuera. Si la musculatura del abdomen está contraída (a veces decimos que está trabada), el movimiento del diafragma no será correcto ya que las vísceras chocarán con una pared no elástica y se frenará su descenso.

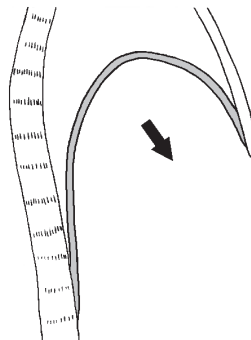


Figura 3. Visión lateral esquemática de la posición del diafragma.

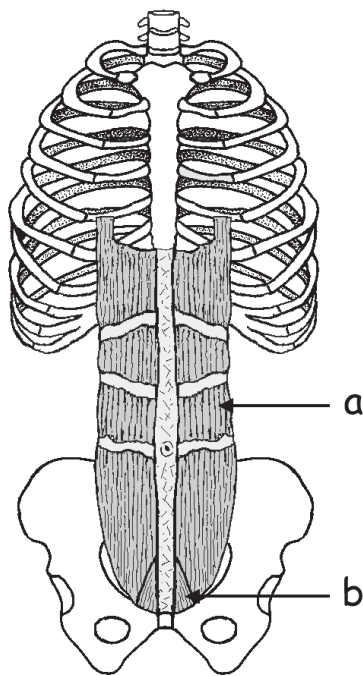


Figura 4. Pared anterior del abdomen.
a: músculo recto del abdomen,
b: músculo piramidal.

El diafragma es el techo de la cavidad abdominal y la musculatura del abdomen forma sus paredes: anterior, lateral y posterior. En la pared anterior encontramos un gran músculo, el recto del abdomen (fig. 4a), y, en posición caudal un pequeño músculo, el piramidal (fig. 4b), que no tiene ninguna función significativa. La pared lateral está formada por tres grandes músculos que se sitúan como las hojas de un libro. De profundidad a superficie, encontramos el transversal del abdomen (fig. 5A), el oblicuo interno (fig. 5B) y el oblicuo externo (fig. 5C). En la pared posterior se define un único músculo, el cuadrado lumbar (fig. 6), que, como el piramidal, no presentará una actividad significativa. Los músculos del abdomen pueden actuar generando movimientos, como la flexión o la rotación del tronco, o generando presión en el interior de la cavidad abdominal. Esta última acción será la que utilizaremos para cantar o hablar.

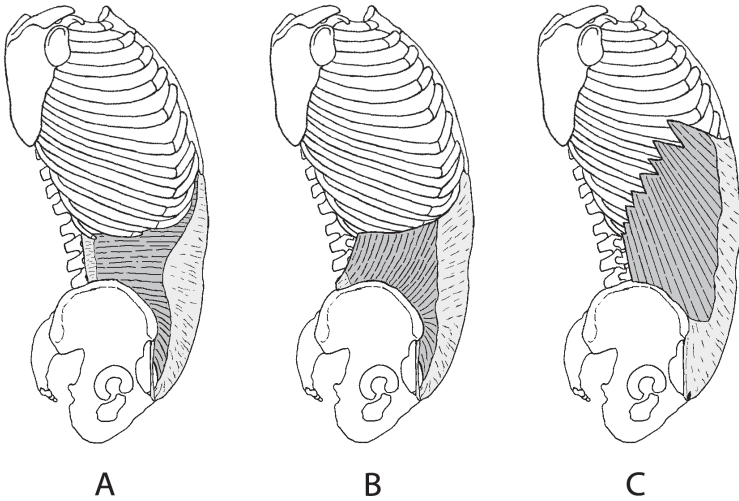


Figura 5. Músculos de la pared lateral del abdomen. A: transverso del abdomen, B: oblicuo interno del abdomen, C: oblicuo externo del abdomen.

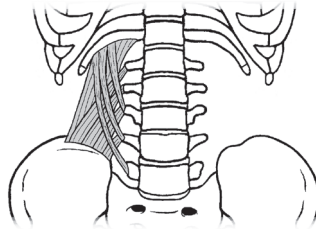


Figura 6. Músculo cuadrado lumbar.

Los músculos del abdomen generan presión intraabdominal en los denominados actos de expulsión (micción, defecación, tos, estornudo, vómito y en el parto). Por ejemplo, al toser, realizamos una inspiración profunda, el diafragma baja y entra aire en los pulmones. Los pliegues vocales se cierran de forma automática y el aire queda atrapado entre ellos y el diafragma. Esta columna de aire será empujada por la presión generada por los músculos del abdomen. Al contraerse la musculatura abdominal, se crea una presión dentro del abdomen que empuja las vísceras. Las vísceras empujan el diafragma hacia arriba y ésta

a los pulmones. De este modo, la presión bajo los pliegues vocales (presión subglótica o infraglótica), que aún están cerrados, va aumentando. Llega un momento en que la presión es tan elevada que los pliegues vocales se ven obligados a abrirse y el aire intrapulmonar es espirado con fuerza.

En la fonación realizamos una acción similar a la explicada. Inspiramos diafragmáticamente, los pliegues vocales se ponen en contacto (periodo prefofonatorio) y realizamos una espiración activa, ahora controlada, para ponerlos en vibración. Si realizamos una nota aguda, los pliegues vocales están fuertemente acercados y tendremos que ejercer una mayor presión intraabdominal para ponerlos en vibración que si realizamos una nota grave, en la que los pliegues se aproximan con menor fuerza. También de la espiración dependerá la intensidad o volumen de la voz. Si realizamos más presión con los músculos del abdomen, los pliegues vocales se separarán con más fuerza. Como la amplitud de su vibración será mayor también lo será la intensidad de la voz resultante.

Como hemos visto, cuando inspiramos, el diafragma se contrae y la musculatura del abdomen debe relajarse para permitirle descender. En la espiración activa sucede lo contrario, los grandes músculos espiradores se contraen y el diafragma se relaja. Este equilibrio continuo entre diafragma y musculatura abdominal es lo que se conoce como “apoyo de la voz”. Cuando le decimos a un estudiante de canto que haga fuerza hacia abajo al realizar una nota aguda, indirectamente le estamos diciendo que tense los músculos del abdomen. Es importante, sin embargo, señalar que nunca debe ejercerse una presión excesiva innecesaria. Es importante saber controlar el aire espirado haciéndolo salir con mayor o menor fuerza en función de las notas a realizar. Si gastamos todo el aire de golpe nos quedaremos sin *fiatus*.

Junto a estos músculos principales de la respiración encontramos una serie de músculos cuya función principal no es respiratoria, pero que, sin embargo, pueden actuar moviendo las costillas. Estos son los denominados músculos accesorios de la respiración. Cualquier músculo que pueda elevar las costillas podrá actuar como músculo inspirador, de modo contrario, cualquier músculo que pueda descender las costillas podrá actuar como espirador. La inspiración es un proceso vital que siempre requiere de la actividad de algún músculo; es siempre un proceso activo. Por esta razón, vemos que en el cuerpo humano existen potentes músculos accesorios de la inspiración que en determinadas situaciones actuarán elevando las costillas. Por el contrario,

la espiración puede ser pasiva, como en la respiración tranquila que mencionábamos anteriormente. En el reposo las costillas descienden a favor de la gravedad únicamente por relajación de las estructuras, por ello sólo serán necesarios los grandes músculos espiradores en la espiración forzada. Ello determina que los músculos accesorios de la espiración sean pequeños y de función controvertida.

El sonido producido en los pliegues vocales se hace audible y se modifica en las cavidades de resonancia. Como en todo instrumento, es necesario adecuar las cavidades de resonancia al sonido producido. De la forma y volumen de estas cavidades dependerá el timbre de nuestra voz. La boca es el principal resonador en el canto. Podemos variar el tamaño de la boca cambiando la posición de la lengua, de la mandíbula, de los labios o del velo del paladar.

Si realizamos un sonido agudo tendremos que abrir más la boca que si realizamos un sonido grave. Sin embargo, la boca nunca debe abrirse con fuerza, esto dificultará siempre el acto fonatorio. Sólo relajando la musculatura de la cara (músculos de la masticación) la mandíbula se abre a favor de la gravedad (todos hemos visto a alguien que se duerme sentado y la boca se le abre de forma automática). Es necesario, por tanto, que esta musculatura esté relajada para una buena función vocal. Por ello, se realizan ejercicios para relajarla como, por ejemplo, masajes en la cara antes de cantar. Otro elemento importante a considerar es la posición de la lengua y la del velo del paladar. Para obtener una buena caja de resonancia, se tendrá que aplanar la lengua (colocándola en el suelo de la boca con la punta tocando los dientes) y subir el velo del paladar (cerrando el paso entre la boca y la fosa nasal). De este modo el aire resonará en la boca y le dejaremos una cavidad de resonancia lo suficientemente amplia. Estas acciones son las que realizamos al bostezar: se relaja la musculatura de la cara, se abre la mandíbula sin fuerza, se aplanar la lengua y se eleva el velo del paladar. Por ello, en el canto siempre hablamos de la “posición de bostezo” como la posición correcta para la emisión de nuestra voz.

Completamos los estudios funcionales realizados por nuestro grupo con un estudio piloto en el que medimos mediante electromiografía la actividad de diversos músculos en una cantante (cantante que ha participado también en nuestro estudio actual). Se le pidió que realizara distintas acciones: inspiración, inspiración mantenida, espiración, espiración forzada (realizando una “S”), grito, así como distintas vocalizaciones.

Cuatro de los músculos estudiados en esta primera experiencia fueron el masetero, el esternocleidomastoideo, el pectoral mayor y el serrato anterior. En la técnica vocal empleada por la voluntaria se trabaja la relajación de la cara, con lo que la mandíbula se abre de manera relajada. Asimismo se evita cualquier tensión en la zona del cuello o tórax que dificultaría la fonación. Siempre se utiliza la respiración diafragmática o abdominal y se evita cualquier inspiración que eleve las costillas altas o medias. Por ello, se esperaba que esta musculatura no mostrase ninguna actividad significativa.

El músculo masetero (fig. 7) es uno de los músculos de la masticación y su función es cerrar la boca. Debe estar relajado para permitir la abertura correcta de la boca durante el canto. Los músculos esternocleidomastoideo (fig. 8) y pectoral mayor (fig. 9), son accesorios de la inspiración, y su actuación produce inspiraciones altas que no son óptimas para el canto ya que no permiten un buen control del aire espirado. En todos los registros estos tres músculos se mostraron inactivos.

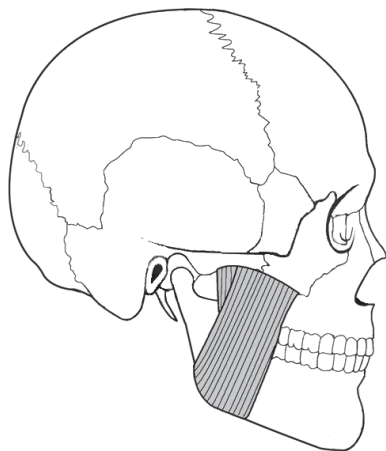


Figura 7.
Músculo masetero.

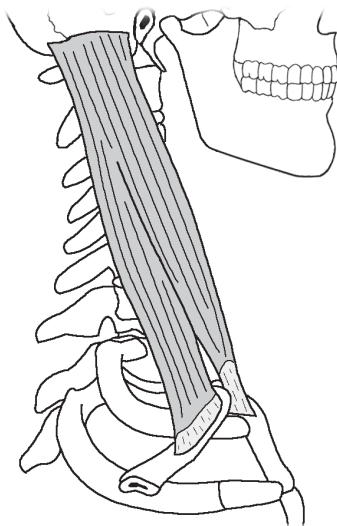


Figura 8.
Músculo esternocleidomastoideo.

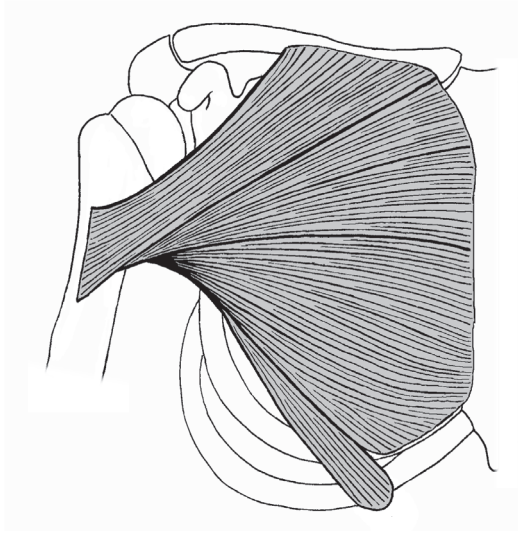


Figura 9. Músculo pectoral mayor.

El músculo serrato anterior (fig. 10) es también un músculo accesorio de la inspiración. Observamos que en los ejercicios de inspiración este músculo siempre estaba inactivo, sin embargo, en determinados ejercicios espiratorios presentaba actividad. Esto nos hizo pensar que podía estar jugando algún tipo de papel postural durante la emisión sonora.

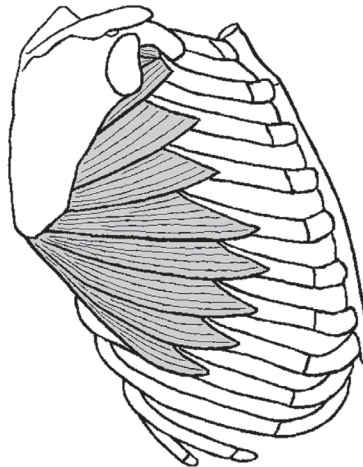


Figura 10. Músculo serrato anterior.

Junto a esta musculatura se midió la actuación del músculo recto del abdomen (fig. 4a), del oblicuo externo del abdomen (fig. 5C), del dorsal ancho (fig. 11b) y del trapecio (fig. 11a). Los músculos del abdomen mostraron, como era de esperar, actividad durante la espiración. Asimismo, los dos últimos músculos se mostraron activos en determinadas acciones espiratorias. Por lo cual, se consideró que, junto al serrato anterior, podían estar cumpliendo una función postural.

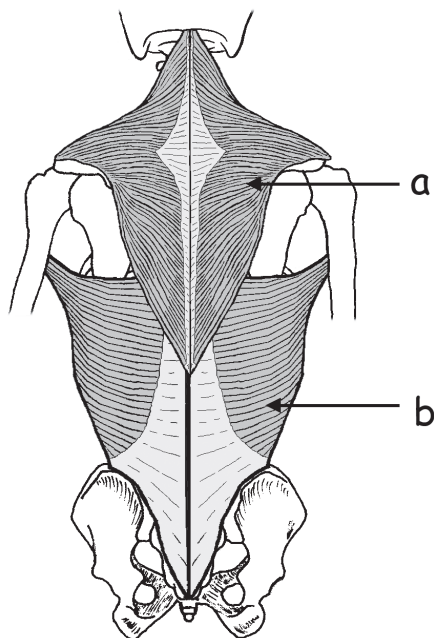


Figura 11. Músculos superficiales del dorso
a: trapecio, b: dorsal ancho.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio inicial, diseñamos la experiencia que presentamos en este trabajo. Para nuestro estudio se descartaron aquellos músculos que no habían presentado actividad significativa. Asimismo se descartaron aquellos ejercicios vocales que no aportaban ninguna información significativa. Se decidió analizar la actividad de los músculos que consideramos podían estar jugando algún papel postural: serrato anterior, trapecio y dorsal ancho.

Igualmente, se añadió al estudio el músculo intercostal externo (fig. 12), ya que es considerado, después del diafragma, el principal músculo inspirador. Ya en trabajos previos apuntábamos que este músculo podía estar actuando durante la espiración ayudando a mantener la postura inspiratoria necesaria para el retorno del diafragma (lo que algunos cantantes denominarán mantener la caja torácica abierta). Esta idea estaba acorde con la observación de que el serrato anterior, músculo también inspirador, se activa durante la espiración.

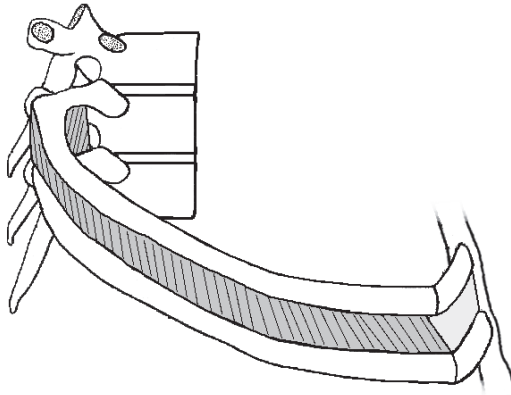


Figura 12. Músculo intercostal externo.

Por otro lado se incorporaron al estudio los dos músculos del abdomen analizados: oblicuo externo y recto del abdomen. Junto a estos músculos se decidió estudiar la actividad de otro de los músculos del grupo, el transverso del abdomen. Este músculo, a pesar de ser un músculo profundo, puede ser medido mediante electromiografía por la dirección transversa que presentan sus fibras, distinta a la de los otros músculos de la pared lateral del abdomen que presentan sus fibras en direcciones oblicuas. El transverso es considerado en anatomía como el principal músculo espirador, de ahí que nos interesase medir su actividad.

De este modo, los músculos analizados en nuestro estudio fueron: recto del abdomen (fig. 4a), transverso del abdomen (fig. 5A), serrato anterior (fig. 10), intercostal externo (fig. 12), dorsal ancho (fig. 11b)) y trapecio (fig. 11a). La actividad de estos músculos se midió simultáneamente durante cada una de las vocalizaciones, por lo que se obtuvo un registro de su actividad conjunta en cada caso y para todos los voluntarios.

Metodología

Han participado en nuestro estudio cinco cantantes voluntarios. Todos realizaron las mismas vocalizaciones, que fueron transportadas en función de su voz. Durante las vocalizaciones se realizó el registro electromiográfico de la actividad de los distintos músculos estudiados en todos los sujetos. Se describe a continuación la metodología de trabajo empleada.

I. Electromiografía

Fundamentos

La electromiografía (EMG) es una técnica que detecta la actividad eléctrica de un músculo al hacer una contracción, es por ello que refleja la cantidad de células musculares activas durante dicha contracción. Esta actividad eléctrica no tiene una correspondencia exacta con el grado de fuerza real ejercida por el músculo sobre un segmento articular dado que en esa fuerza intervienen también otros elementos como el comportamiento de las fibras elásticas o la posición articular. No obstante, sí que existe en general una relación directamente proporcional con la parte contráctil de esa fuerza y, además, nos proporciona información valiosa sobre el grado de trabajo aportado por el músculo.

La EMG tiene algunos elementos distorsionadores. En efecto, la cantidad de señal eléctrica detectada (también denominada potencial eléctrico) se ve alterada por algunos factores internos como el grosor del tejido graso subcutáneo y la colocación exacta del electrodo en el músculo. El tejido graso no es buen conductor de la señal eléctrica, es por ello que cuanto mayor sea ese grosor menor será la señal registrada. Por otro lado, el potencial eléctrico que se detecta en un músculo es diferente en cada punto del mismo, siendo el vientre muscular dónde mayor actividad eléctrica se detecta. Ello provoca que la colocación de los electrodos influya en los niveles de señal registrada. Estos dos factores dificultan la comparación de la EMG entre individuos.

Para paliar estos efectos distorsionadores y permitir la comparación inter-individuos, se utiliza la metodología basada en la contracción voluntaria máxima (CVM). Supongamos por un momento que registramos un mismo músculo en dos individuos (A y B) con diferentes grosores de tejido graso y con una ubicación de los electrodos ligeramente diferentes. Si el valor EMG recogido en A (EMG(A)) es 5 y el valor recogido en B (EMG(B)) es 10,

¿esto indica que el músculo del individuo B trabaja más que el del A? No es claro, podría ser que el electrodo en A no estuviera colocado en su óptima posición y/o que su tejido graso fuera mayor. Ello haría que la señal recogida en A fuera inferior a la de B aunque podría ser que realmente el trabajo del músculo fuera mayor. Para intentar comparar, pedimos a los dos individuos que hagan un gesto (el mismo los dos) de forma que este músculo haga la máxima contracción que el individuo pueda. Suponiendo que el máximo es equiparable en los dos individuos, podemos relacionar los valores medidos con esos valores máximos. Así por ejemplo, si A hace una CVM de 20 y B hace una de 50, podemos determinar el valor de $EMG(A)$ en relación de porcentaje a su valor de CVM.

Así tenemos que $EMG\%cvm(A) = 100 * EMG(A) / CVM(A) = 100 * 5 / 20 = 25\%$
Y análogamente $EMG\%cvm(B) = 100 * EMG(B) / CVM(B) = 100 * 10 / 50 = 20\%$.

Vemos en consecuencia que el individuo A, con un registro de 5, está realizando un 25% de su CVM. En cambio, el individuo B, con un registro de 10, está realizando un 20% de su CVM. Ahora sí que podemos decir que el músculo del individuo A trabaja más que el de B, porque su porcentaje respecto a su CVM es mayor.

Otro elemento distorsionador de la EMG es el llamado efecto “Crosstalk”, el cual se produce en algunas ocasiones al registrar músculos próximos (De Luca, 2006; Massó et al., 2010). Cuando se colocan los electrodos sobre el individuo, estos registran la actividad eléctrica que existe bajo los mismos. Si bajo estos electrodos hay dos músculos muy próximos y en coactivación, la señal eléctrica registrada vendrá de los dos siendo imposible separar la parte que viene de cada uno. En nuestro caso y en la valoración de la musculatura abdominal pensamos que este efecto puede ser posible, principalmente en el caso de los músculos transverso y oblicuo externo.

Finalmente, la señal EMG recogida tiene una gran variabilidad en el tiempo, lo que hace necesario considerar valores promedio. En nuestro caso la señal muscular registrada para cada individuo en cada vocalización se promedió obteniendo un valor EMG para cada músculo en cada vocalización. Cada valor EMG se normalizó dividiéndolo entre el valor de CVM de cada músculo y se obtuvo el valor EMG como %CVM. Todas las valoraciones y comparaciones entre individuos se hicieron utilizando estos porcentajes.

Equipamiento

El equipo utilizado fue un electromiógrafo telemétrico modelo TeleMyo 16 de NORAXON USA, de 16 canales y hasta 6000 Hz. de frecuencia de registro. Como sensores se utilizaron electrodos de electromiografía de Ag-ClAg

2. Vocalizaciones y situación de los electrodos

Todos los participantes realizaron las mismas vocalizaciones que fueron transportadas por los maestros de canto, miembros del equipo, en función de su voz. Fueron los encargados de escoger el tono más adecuado para cada voluntario, ya que todos los participantes eran miembros de su escuela y conocía exactamente las voces y su tesitura más adecuada. Con ello se pretendía que las vocalizaciones supusieran un grado de dificultad lo más semejante posible para cada uno de los voluntarios. Asimismo, estuvieron presentes durante todas las sesiones de medición, dando el tono a los cantantes y validando que la emisión vocal durante la experiencia fuese correcta.

Se les pidió a los sujetos que realizaran una nota grave, una nota media, una nota aguda, un salto de octava, una vocalización de notas ligadas y una vocalización de notas picadas. Las vocalizaciones se realizaron con la sílaba “no”. Se realizaron vocalizaciones con una <o> no muy abierta ni demasiado cerrada que oscureciera la voz en exceso, y se usó una <n> muy rápida y adelantada como trampolín para impulsar la voz.

Mostramos a continuación la vocalización realizada en cada caso.

Nota grave

Soprano 1: Re3

Soprano 2: Do 3

Contralto: La 2

Tenores: Do 2

Nota media

Sopranos: Fa 4

Contralto: Do 4

Tenores: Fa 3

Nota aguda

Soprano 1: Si \flat 4

Soprano 2: La 4

Contralto: Fa 4

Tenores: La \flat 3

Salto de octava

Sopranos: La 3-La 4

Contralto: Do 3-Do 4

Tenores: Do 2-Do 3

Vocalización de notas picadas

La vocalización consistió en un arpeggio ascendente seguido de uno descendente. En la imagen se muestra la vocalización:



Se transportó para cada cantante iniciándose en la siguiente nota:

Sopranos: La 3

Contralto: Mi 3

Tenores: Sol 2

Vocalización de notas ligadas

En la figura se muestra la vocalización realizada:



Se transportó para cada cantante iniciándose en la siguiente nota:

Soprano 1: Re 3

Soprano 2: Do 3

Contralto: La 2

Tenores: Do 2

Se llevó a cabo la grabación sonora de las vocalizaciones de manera sincrónica con las medidas electromiográficas. Para la grabación de la voz se utilizó una grabadora de MP3, “EDIROL R-1, Portable Digital Recorder, Roland Corporation”.

Para realizar la sincronización un miembro del equipo indicaba que se iniciaba la experiencia diciendo “¡ya!” y en ese mismo momento ponía en marcha la grabadora y el electromiógrafo. El profesor de canto daba el tono mediante un pequeño piano eléctrico y el cantante iniciaba la correspondiente vocalización. Siempre se procedió del mismo modo en todos los registros realizados.

Los registros sonoros fueron editados mediante el programa gratuito *Audacity*, lo que permitió medir exactamente la duración de cada sonido y ver en qué milisegundo se iniciaba y finalizaba. Del mismo modo el registro electromiográfico nos da una escala de tiempo en milisegundos por lo que podemos ver el comportamiento de los distintos músculos en cualquier momento y compararlo con la producción sonora.

Para el estudio de los distintos músculos los electrodos se dispusieron en las localizaciones que se muestran en la figura 13. El número “1” indica la posición de los electrodos para medir la actividad del recto del abdomen; el “2” para el intercostal externo; el “3” para el oblicuo externo del abdomen; el “4” para el serrato anterior; el “5” para el transverso del abdomen; el “6” para el trapecio (porción inferior); el “7” para el dorsal ancho (porción superior); y el “8” para el dorsal ancho (porción inferior).

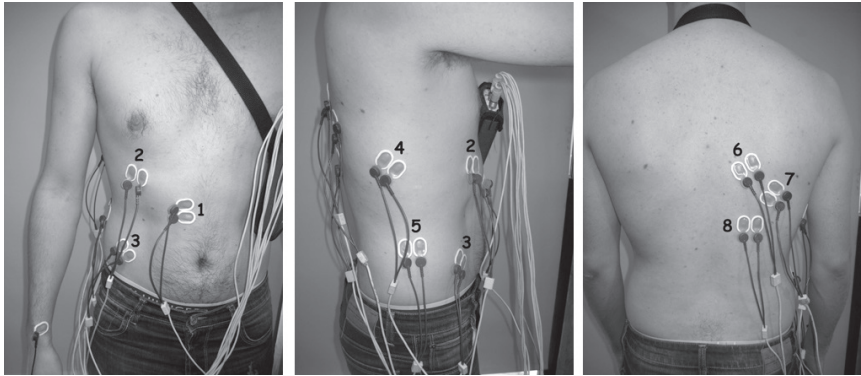


Figura 13. Disposición de los electrodos.

Por lo que respecta al intercostal externo es preciso señalar que los músculos intercostales se disponen entre dos costillas contiguas a lo largo de toda la caja torácica. El espacio entre dos costillas recibe el nombre de espacio intercostal de donde deriva el nombre de este músculo. Los espacios intercostales se numeran de superior a inferior. Así el espacio entre la primera y la segunda costilla es el primer espacio intercostal, entre la segunda y la tercera está el segundo espacio, y así sucesivamente. En nuestro estudio los electrodos se han situado de modo que se ha medido la actividad del músculo intercostal situado en el noveno o décimo espacio.

En el caso del dorsal ancho y trapecio, que son los dos músculos más grandes de nuestro cuerpo, se decidió medir la actividad de porciones concretas de estos músculos. Así se midió la actividad del dorsal ancho en dos localizaciones (superior e inferior) para tener mayor información sobre la actividad global del músculo. En el trapecio se optó por medir la actividad de sus fibras inferiores. Esta porción de fibras ascendentes se extiende sobre la caja torácica aproximadamente desde la costilla tres hasta la doce.

Para obtener los resultados lo más homogéneos posible todos los cantantes se situaron en la misma postura durante las vocalizaciones. Adoptaron la postura y gesto vocal habituales para mantener una verticalidad correcta y evitar cualquier tensión muscular en cuello o pecho. Los brazos se dispusieron a lo largo del cuerpo ligeramente separados del tronco y se apoyaron las manos en el respaldo de dos sillas para evitar medir una actividad derivada del movimiento del brazo o la cintura escapular, que podían dar falsos positivos en el dorsal ancho, el trapecio y el serrato anterior (fig. 14).



Figura 14. Postura de trabajo.

Resultados

Presentamos las tablas y gráficos más representativos para cada ejercicio vocal. Los resultados entre los distintos sujetos son muy homogéneos, aunque, en algún caso, se observan variaciones del patrón, principalmente en las personas con una técnica vocal menos consolidada, por lo que las consideramos diferencias individuales.

Tras editar las grabaciones sonoras con el programa *Audacity*, pudimos establecer el intervalo de tiempo en que se produjo la voz para cada una de estas notas. Dentro de cada intervalo se calculó el promedio del tanto por ciento

de contracción voluntaria máxima (%CVM) para cada músculo y nota, lo que nos indica el valor promedio de la actividad de cada músculo en cada vocalización. Estos resultados numéricos se presentan en las distintas tablas. En las gráficas se muestra el registro completo desde que se sincronizaron la grabadora y el electromiógrafo hasta unos milisegundos después de finalizar la emisión sonora. En todas las gráficas se ha marcado con una barra vertical el momento de inicio y de finalización de la vocalización. Con unas barras de menor grosor se ha marcado el intervalo correspondiente a cada nota dentro de la vocalización.

Antes de emitirse la voz, podemos establecer dos momentos previos. El primero desde el momento en que se sincronizaron los aparatos (se oye en las grabaciones sonoras “¡ya!”) hasta que se dio el tono. El segundo desde que se dio el tono hasta el inicio de la vocalización. Hemos analizado la actividad muscular en estos periodos previos para ver si la musculatura se activa antes de la realización sonora solo con oír el tono que se ha de cantar.

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio del %CVM para uno de los sujetos durante la vocalización de una nota aguda. Vemos en la primera columna los valores correspondientes al primer periodo, antes de oírse el tono, en la segunda columna los valores de activación una vez oído el tono, y en la tercera columna los valores durante la producción de la nota.

Músculo	Promedio %cvm		
	1º período	2º período	Vocalización
Transverso del abdomen	11,56	17,66	32,54
Recto del abdomen	7,02	11,81	17,16
Oblicuo externo del abdomen	8,78	9,16	19,78
Intercostal externo	4,25	9,70	11,94
Serrato anterior	3,73	6,76	6,58
Dorsal ancho (superior)	6,24	9,66	9,50
Dorsal ancho (inferior)	1,94	3,13	3,16
Trapezio (inferior)	5,11	5,27	5,11

Tabla 1. Valores promedio comparados antes y durante la vocalización.

Podemos observar que a partir del momento en que se dio el tono se aprecia un aumento de la actividad para todos los músculos, sólo en el caso del trapecio este aumento es casi nulo. Si comparamos las actividades expresadas en la segunda columna con las registradas durante la vocalización, podemos observar que al iniciarse el sonido, los tres músculos del abdomen (transverso, oblicuo externo y recto) muestran un claro aumento de actividad. Un comportamiento análogo presenta el intercostal externo. Por el contrario, los músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio mantienen prácticamente la misma actividad durante la realización de la acción.

A continuación mostramos los resultados obtenidos en las distintas vocalizaciones.

Notas individuales

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de actividad comparados durante la emisión de las notas individuales (grave, media y aguda) para un mismo sujeto.

Músculo	Notas individuales -promedio %cvm		
	Grave	Media	Aguda
Transverso del abdomen	22,88	32,03	39,75
Recto del abdomen	9,60	17,74	19,29
Oblicuo externo del abdomen	6,64	12,12	26,72
Intercostal externo	7,17	14,62	32,16
Serrato anterior	3,54	4,21	4,89
Dorsal ancho (superior)	6,43	6,99	7,02
Dorsal ancho (inferior)	6,33	7,11	6,29
Trapecio (inferior)	4,95	4,41	6,46

Tabla 2. Valores promedio comparados para las notas individuales en un mismo sujeto.

Si comparamos los tres registros entre sí vemos que el músculo que presenta mayor actividad en todos los casos es el transverso del abdomen. Seguido de los otros dos músculos abdominales estudiados, el recto del abdomen y el oblicuo externo, aunque su actividad se alterna en los registros. Así, en el caso de las notas grave y media el recto del abdomen presenta una mayor actividad promedio, mientras que en la nota aguda es el oblicuo externo el que se muestra más activo.

Es interesante constatar que el músculo intercostal externo, que, recordemos, es un potente inspirador, sigue el mismo patrón que los músculos del abdomen, presentando mayor actividad cuanto mayor es la actividad de los espiradores. Observamos que su actividad en la nota media y grave es incluso mayor que la del oblicuo externo, y en el caso de la nota aguda supera en actividad a este músculo y al recto del abdomen, siendo su actividad promedio muy cercana a la del transverso del abdomen.

Por otro lado, los músculos dorsal ancho, trapecio y serrato anterior, presentan un comportamiento similar entre ellos. En los tres, vemos que la actividad realizada en la producción de la nota grave, media y aguda es prácticamente la misma, excepto en caso del trapecio que presenta una actividad algo mayor en la nota aguda. Este resultado es semejante al que veíamos en la Tabla 1 al estudiar el comportamiento de estos músculos antes y durante la vocalización. En las gráficas podemos ver cuál fue el comportamiento de cada músculo durante la emisión de las distintas notas. Pasamos a analizar dichas gráficas (figs. 15 y 16), mostrando aquellos aspectos que consideramos más relevantes.

En las gráficas para el músculo transverso del abdomen, se observa que durante la emisión de la nota grave su actividad se mantiene muy estable a lo largo del todo el registro, con valores que oscilan entre el 18 y el 27%. Hacia el final del registro se observan unos picos de mayor actividad que alcanzan el 36%. En la nota media vemos que la gráfica no es tan plana como en el caso anterior sino que va ascendiendo desde el inicio de la vocalización hasta el final. Al inicio del sonido se observan valores del 27% que luego se elevan hasta el 36%, y ya hacia el final de registro se alcanza un máximo de 55% de actividad. En la nota aguda se observa que a lo largo de todo el registro existe un mayor esfuerzo que en los casos anteriores. Como en el caso de la nota media, la actividad va ascendiendo paulatinamente. Al inicio de la vocalización se obtienen valores del 36%, que luego suben hasta el 46%. Al final del registro se observa un pico de actividad muy elevado ligeramente superior al 100% de la CVM (el valor registrado 101,26%). Consideramos que los picos alcanzados al final de los registros pueden deberse a que el cantante realizó un último esfuerzo para llevar la nota hasta su extinción, en un momento en que ya le quedaba poco aire, ya que se vocalizó hasta que la persona necesitaba inspirar de nuevo.

Un comportamiento análogo lo encontramos en los músculos oblicuo externo y recto del abdomen, alcanzando al final del registro un pico máximo de alrededor del 70% y el 50% respectivamente.

En las gráficas correspondientes al músculo intercostal externo, podemos observar que siguen un patrón semejante al de los músculos espiradores. Como hemos visto con los datos numéricos, este músculo inspirador está más activo cuando mayor es la fuerza de espiración. En las gráficas podemos ver que su comportamiento es paralelo al de los espiradores. En la nota grave vemos que la gráfica es también muy plana con valores que oscilan entre el 4 y el 8%, y que la final del registro se alcanza un pequeño pico de actividad máxima del 13%. En la nota media la gráfica asciende lentamente hasta alcanzar al final del registro un pico máximo del 24%. En la nota aguda, como sucedía para los músculos del abdomen, los valores son más elevados en todo el registro. La gráfica asciende progresivamente desde valores alrededor del 18% al inicio del registro, pasando por valores del 40% en la mitad del registro y alcanzando al final del mismo un valor máximo ligeramente superior al 80%.

Por el contrario el serrato anterior, otro músculo inspirador, presenta una curva de trabajo distinta que parece indicar que no actúa de forma paralela a los espiradores. Observamos que las gráficas para este músculo son muy parecidas en los registros obtenidos para las tres notas. Sus gráficas de actividad se asemejan a la de los músculos trapecio y dorsal ancho, que también presentan variaciones mínimas entre registros.

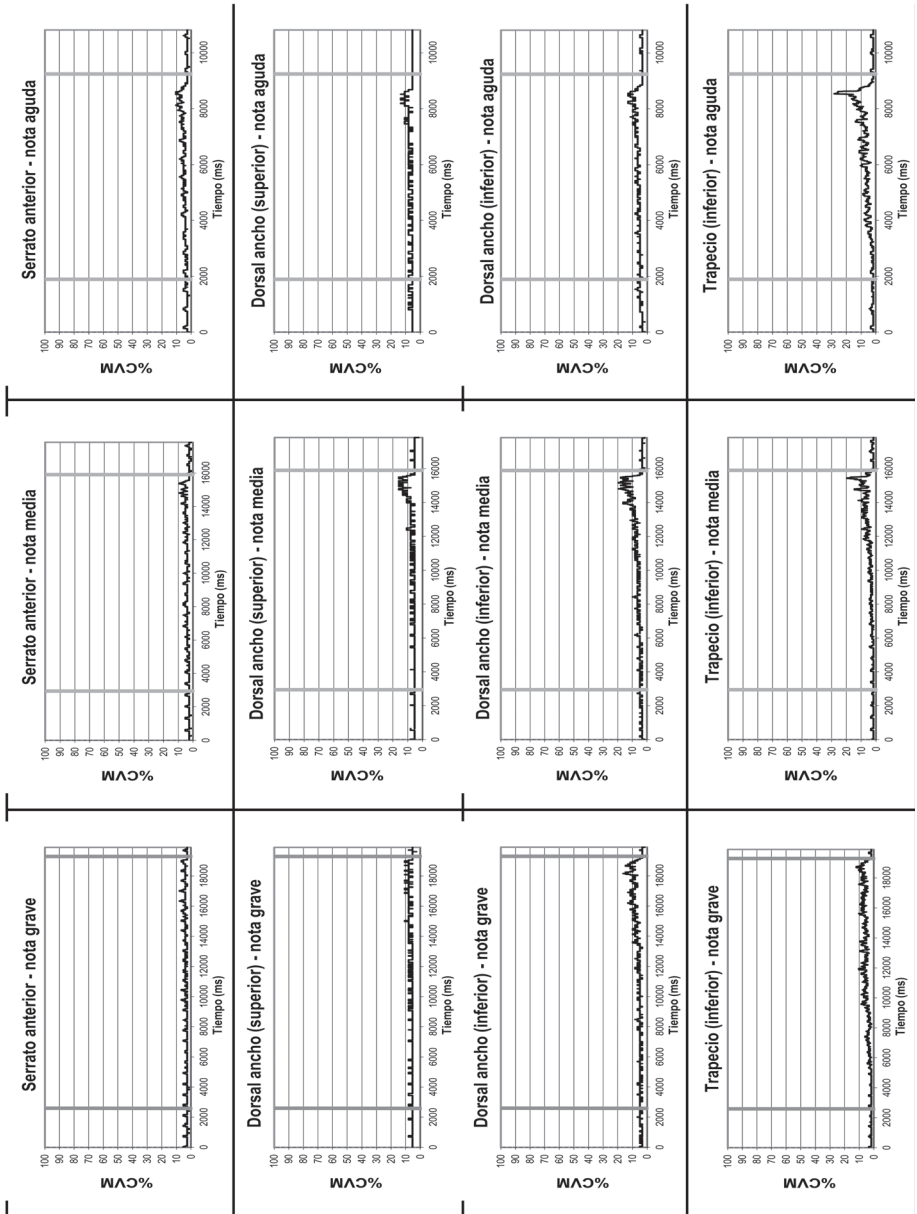


Figura 16. Gráficas de las notas individuales. Músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio

Salto de octava

En el salto de octava las dos notas se realizaron ligadas, iniciando cada una de ellas con una <n> para impulsar el sonido de la vocal:

Como en el caso de las notas individuales, editamos la grabación sonora con el programa *Audacity* y pudimos establecer el intervalo de tiempo de duración de cada nota. La Tabla 3 muestra el valor promedio del %CVM para cada músculo en estos intervalos de tiempo.

Los promedios de actividad muscular en la nota grave y aguda nos indican que, como en el caso de la producción de notas aisladas, la mayor actividad la realiza el músculo transverso del abdomen. La siguen en actividad el recto y oblicuo externo del abdomen. Vemos que para la nota grave el oblicuo externo ha realizado un mayor esfuerzo, mientras que en la nota aguda es el recto del abdomen el que presenta mayor actividad. El intercostal externo nuevamente actúa de modo semejante a los músculos espiradores y presenta para la nota aguda mayor actividad que el oblicuo externo.

También en el caso de los músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio se aprecia un aumento de actividad en la realización de la nota aguda. Esta mayor actividad correspondería a un mayor esfuerzo estabilizador en relación a que existe una acción dinámica mayor por parte de los músculos ejecutores.

Músculo	Salto de octava - promedio %cvm	
	Grave	Aguda
Transverso del abdomen	20,83	30,80
Recto del abdomen	7,66	15,42
Oblicuo externo del abdomen	11,54	13,27
Intercostal externo	9,77	14,99
Serrato anterior	2,96	4,58
Dorsal ancho (superior)	5,31	7,04
Dorsal ancho (inferior)	3,45	7,09
Trapecio (inferior)	1,89	5,38

Tabla 3. Valores promedio comparados de las dos notas del salto de octava.

Analizamos a continuación las gráficas de los distintos músculos para esta vocalización (fig. 17). La barra de menor grosor marca el momento de tran-

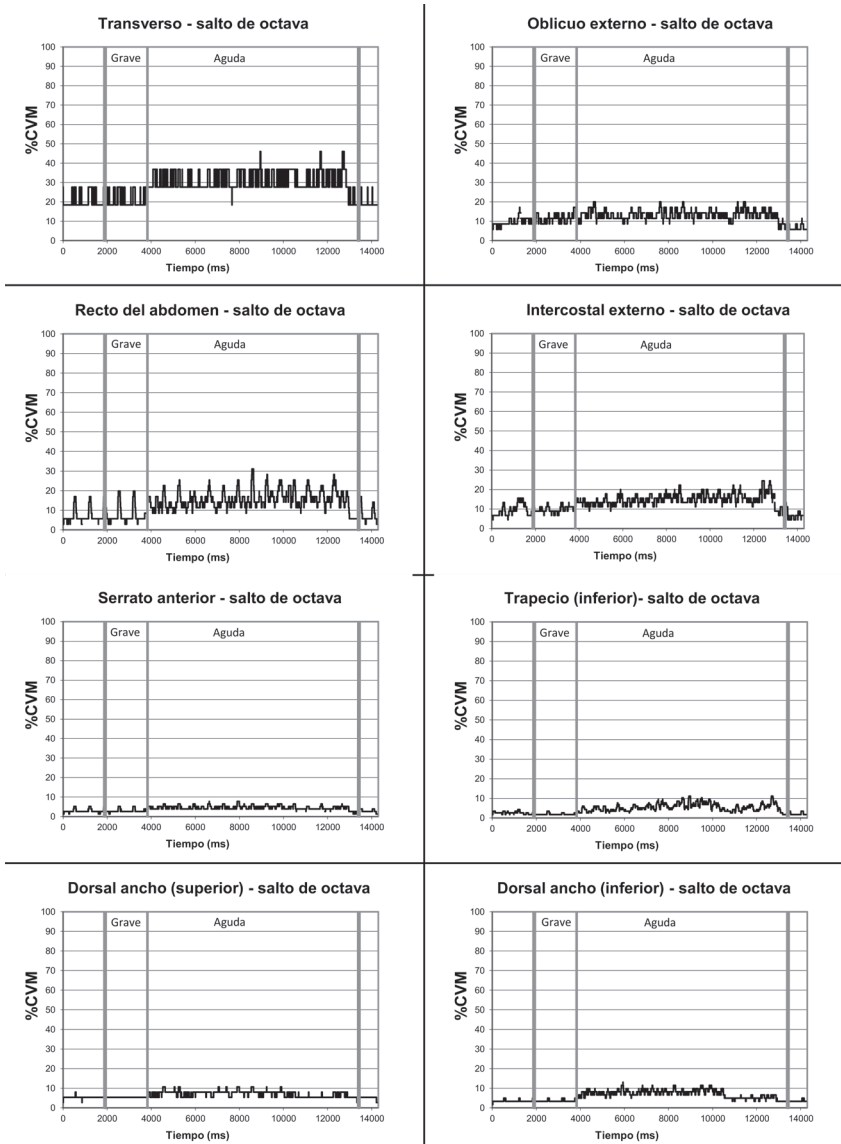


Figura 17. Gráficas del salto de octava.

sición entre la nota grave y la aguda.

En la gráfica de actividad correspondiente al transverso del abdomen observamos dos partes bien diferenciadas que se corresponden con los momentos de producción de la nota grave y aguda. En la primera parte del registro los valores oscilan entre el 18 y el 27%. En la segunda parte de la gráfica los valores oscilan entre el 26 y el 36%.

Los gráficos para el recto del abdomen y el oblicuo externo del abdomen muestran asimismo dos partes que se corresponden con los intervalos para cada nota. Sin embargo en el caso del oblicuo externo, como ya se observa en los valores promedio, no existe tanta diferencia de actividad entre una y otra nota como la que se aprecia en el caso del recto o del transverso. Para el oblicuo externo durante la realización de la nota grave los valores máximos obtenidos se sitúan alrededor del 15% y en el intervalo de la nota aguda alrededor del 19%. Para el recto del abdomen estos valores máximos están alrededor del 19% y del 31%, respectivamente.

Como ya sucedía en las notas aisladas, el intercostal externo se comporta de modo semejante a los músculos espiradores, con los que parece trabajar en paralelo. En este caso observamos también dos partes en la gráfica. En la correspondiente a la nota grave, los valores máximos registrados están alrededor del 13%, y en la zona de la nota aguda sobre el 22%. Se observan dos pequeños picos de máxima actividad, 24%, al final del registro. Esta actividad podría deberse al esfuerzo final realizado para mantener la posición inspiratoria hasta la extinción de la nota.

En el caso de los músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio, también se observan dos partes en la gráfica que se corresponden con cada una de las notas realizadas. Su actividad fue menor que en el caso de los anteriores músculos como puede observarse en los gráficos y como reflejan los valores promedio de la tabla.

Notas picadas

Como veíamos anteriormente, la vocalización consistió en un arpeggio ascendente seguido de otro descendente con lo que se realizaron un total de siete notas.



Esta vocalización es simétrica respecto a la nota central. Así la nota inicial coincide con la final, la segunda nota con la sexta y la tercera con la quinta. A pesar de este hecho, vemos en la Tabla 4, donde se muestran los promedios de actuación de los músculos, que los valores anteriores a la nota aguda son en general mayores, lo que nos indica que se ha realizado un mayor esfuerzo en la producción de las mismas notas cuando éstas se realizan del grave al agudo.

Músculo	Notas picadas – promedio %cvm						
	Inicial			Aguda			Final
Transverso del abdomen	16,44	21,26	39,780	33,99	20,44	20,38	19,40
Recto del abdomen	11,21	13,51	18,70	19,53	8,29	6,70	6,70
Oblicuo externo del abdomen	8,74	12,56	20,35	17,45	12,36	13,87	12,76
Intercostal externo	8,06	9,74	13,77	11,01	6,59	6,61	5,96
Serrato anterior	6,13	8,13	9,90	9,41	5,68	5,07	4,72
Dorsal ancho (superior)	8,21	11,10	13,25	11,23	7,40	6,80	6,61
Dorsal ancho (inferior)	2,54	3,10	4,34	3,66	2,12	1,97	1,92
Trapezio (inferior)	3,73	5,05	5,13	5,70	3,85	3,64	3,86

Tabla 4. Valores promedio del %CVM para las notas picadas.

A lo largo de la vocalización, la mayor actividad fue realizada por el transverso del abdomen seguido de los otros dos músculos abdominales y del intercostal externo. En este registro el dorsal ancho (porción superior) muestra una actividad que en algunos casos es superior al intercostal externo. Ahora bien, este hecho no se produjo en otros sujetos. En consecuencia, consideramos que no se relaciona directamente con la vocalización y que se trata de una diferencia personal.

A diferencia de lo que hemos observado en las notas aisladas o en el salto de octava, en que hemos visto que cuando más aguda es la nota mayor es la actividad muscular, en esta vocalización la mayor actividad se produjo en la nota previa al agudo. Constatamos que este comportamiento es general para todos los músculos a excepción del recto del abdomen que presenta un ligero aumento de actividad en la nota aguda.

Como en el salto de octava los músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio presentan pequeños cambios en el grado de actividad en relación a un probable aumento en la necesidad de estabilización.

Si analizamos las gráficas correspondientes (figs. 18 y 19), observamos que el transversal del abdomen en la nota previa al agudo realizó un pico de máxima actividad superior al 87,66% de la CVM. Paralelamente el oblicuo externo del abdomen alcanzó un pico de actividad del 43,43% y el intercostal externo un pico del 18,40%.

En otros tres voluntarios observamos también un pico de actividad en el transversal del abdomen durante la producción de la nota previa al agudo. En el caso de uno de los sujetos se observa un pico de actividad para este músculo que se solapa con la entrada de la nota aguda. Escuchando la grabación de la vocalización para este último sujeto se oye la nota aguda como estrecha, como si se hubiera emitido de manera precipitada.

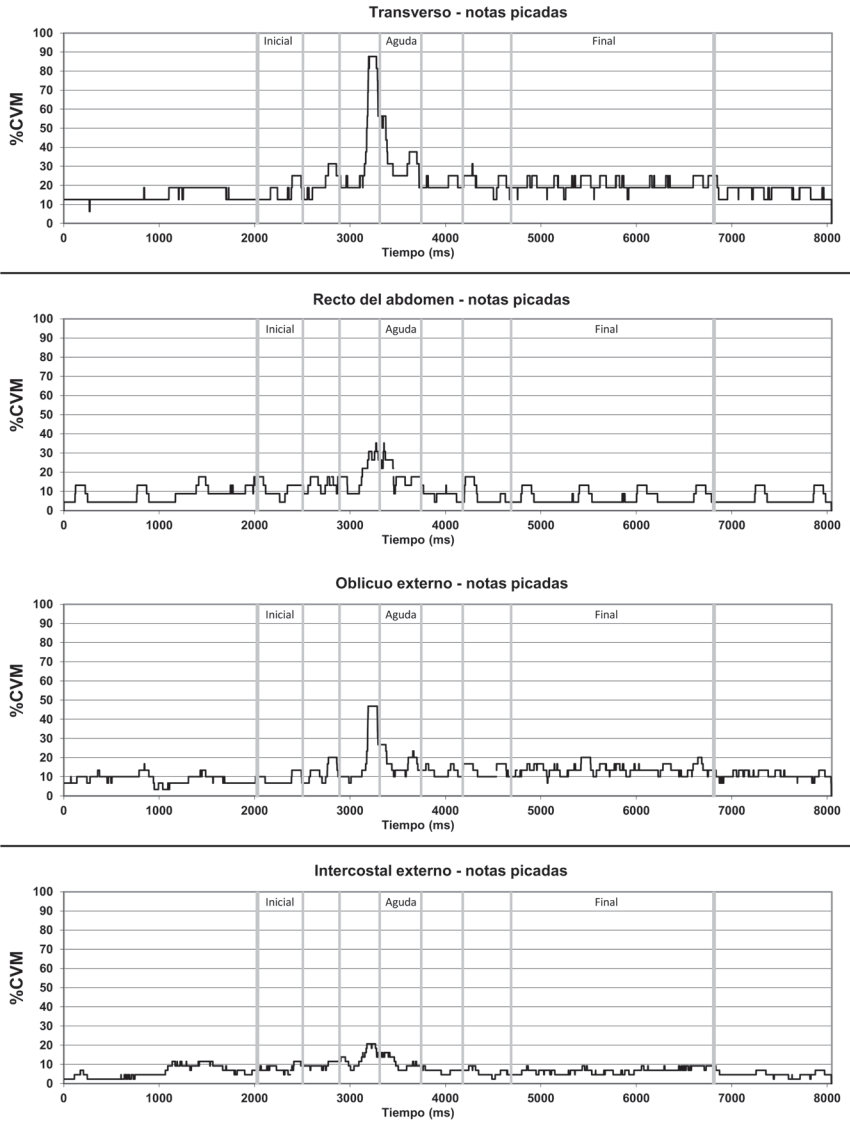


Figura 18. Gráficas de las notas picadas. Músculos del abdomen e intercostal externo.

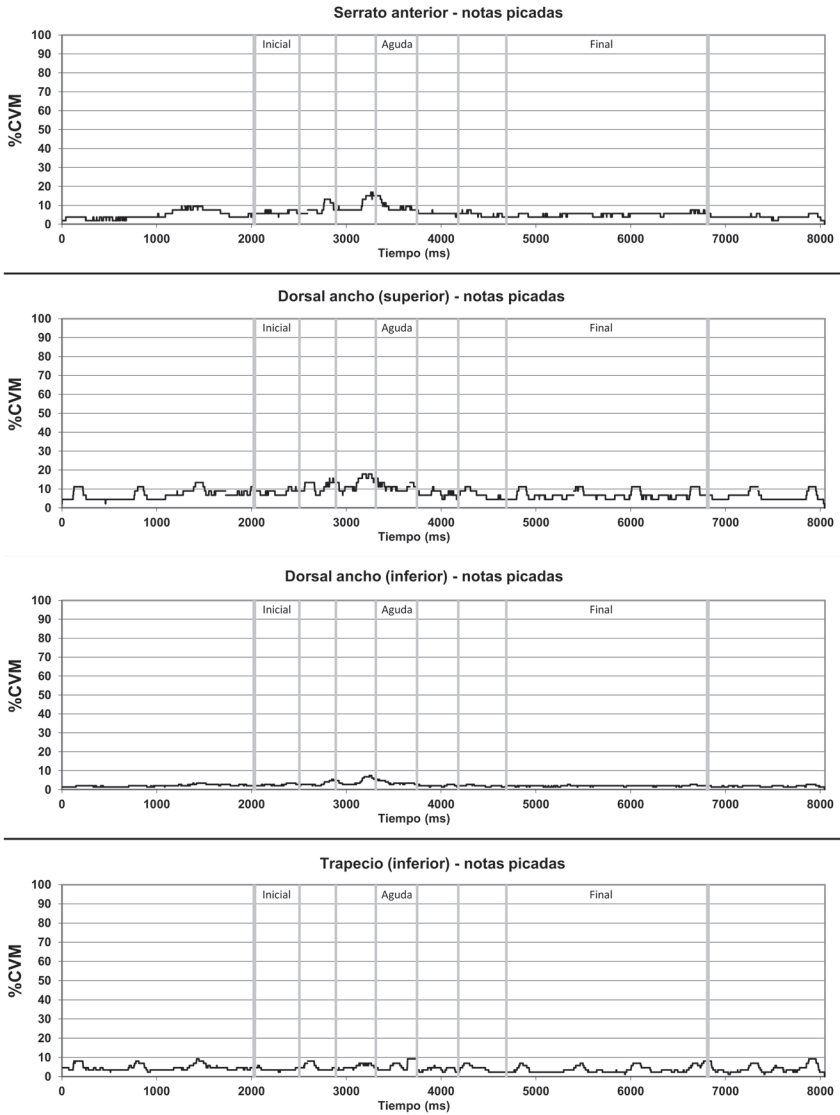


Figura 19. Gráficas de las notas picadas. Músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio.

Notas ligadas

Como veíamos anteriormente la vocalización de trece notas ligadas del grave al agudo y de nuevo hacia el grave.



Mostramos en la Tabla 4 los valores promedio del %CVM para cada músculo en cada una de las notas medidas en el mismo sujeto del caso anterior.

Como en las vocalizaciones anteriores el músculo que presentó más actividad durante la vocalización fue el transverso del abdomen, seguido de los otros dos músculos del abdomen y del intercostal externo.

En esta vocalización observamos que los valores de actividad más elevados se hallan en la nota aguda, como sucedía con las notas aisladas y el salto de octava, y no en la nota previa al agudo como hemos visto para las notas picadas. Este hecho se repite en todos los voluntarios.

Como en los registros anteriores los músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio presentan ligeros cambios en su grado de actividad.

Si analizamos las gráficas de actividad, vemos que en la nota aguda el transverso del abdomen alcanzó un pico de actividad superior al 100% del %CVM (se registró un valor del 100,18%). Podemos observar que paralelamente el oblicuo externo alcanzó un pico de actividad del 66,82%, el intercostal externo del 18,40%, y el recto del abdomen del 13,20%

Músculos	Notas ligadas – promedio %cvm													
	Inicial									Aguda				Final
Transverso del abdomen	13,40	15,32	17,11	23,22	33,65	58,00	32,43	28,01	25,11	22,84	26,72	23,47	28,35	
Recto del abdomen	9,28	8,47	9,48	12,46	10,44	12,34	9,47	9,28	7,28	8,23	8,23	6,71	11,32	
Oblicuo externo del abdomen	7,37	8,26	11,17	13,66	23,27	41,30	21,29	18,23	16,14	16,03	17,66	16,29	18,85	
Intercostal externo	7,08	5,95	5,22	9,44	10,07	14,05	10,88	9,34	8,10	8,08	7,73	7,71	11,61	
Serrato anterior	4,45	4,63	3,76	5,76	6,25	8,67	6,85	6,11	5,62	4,91	4,70	4,29	8,17	
Dorsal ancho (superior)	6,43	6,64	6,22	8,35	7,50	8,95	7,99	7,61	6,86	6,84	6,90	6,00	8,17	
Dorsal ancho (inferior)	2,02	2,06	1,87	2,64	2,38	3,40	2,53	2,22	2,33	2,22	2,04	2,03	3,23	
Trapezio (inferior)	4,82	3,81	3,93	4,22	3,86	4,63	4,48	3,75	3,49	4,42	4,36	3,84	10,99	

Tabla 5. Valores promedio del %CVM para las notas ligadas.

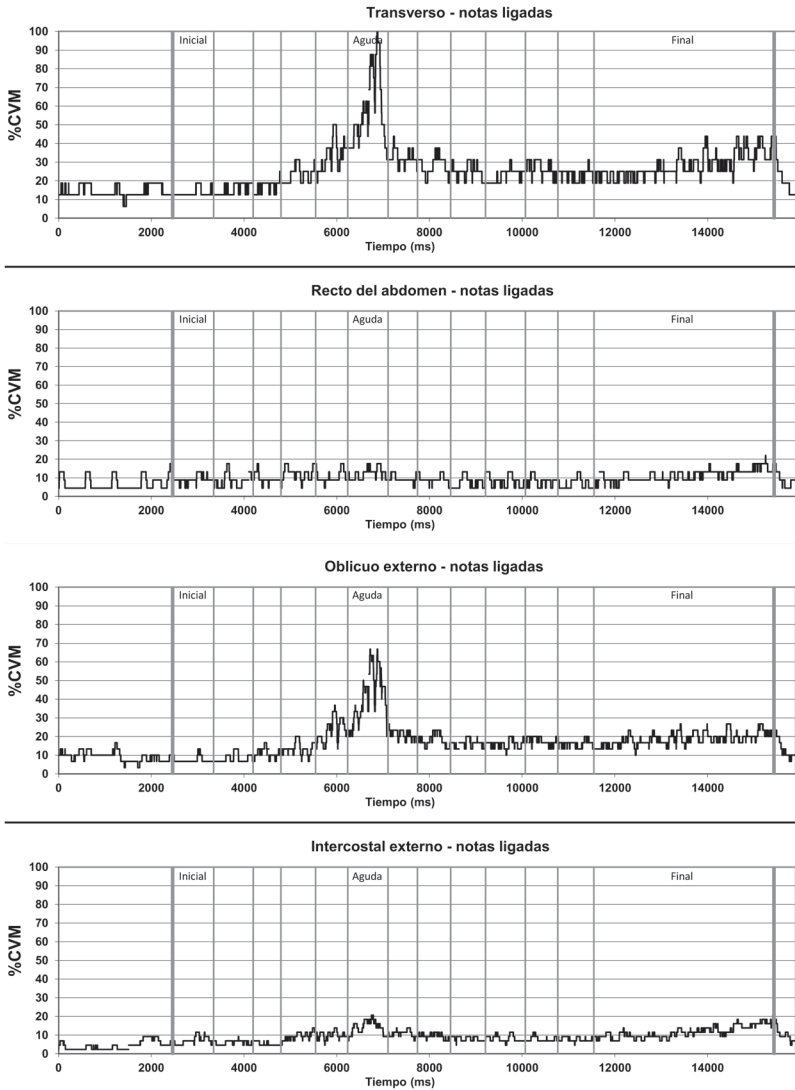


Figura 20. Gráficas de las notas ligadas. Músculos del abdomen e intercostal externo.

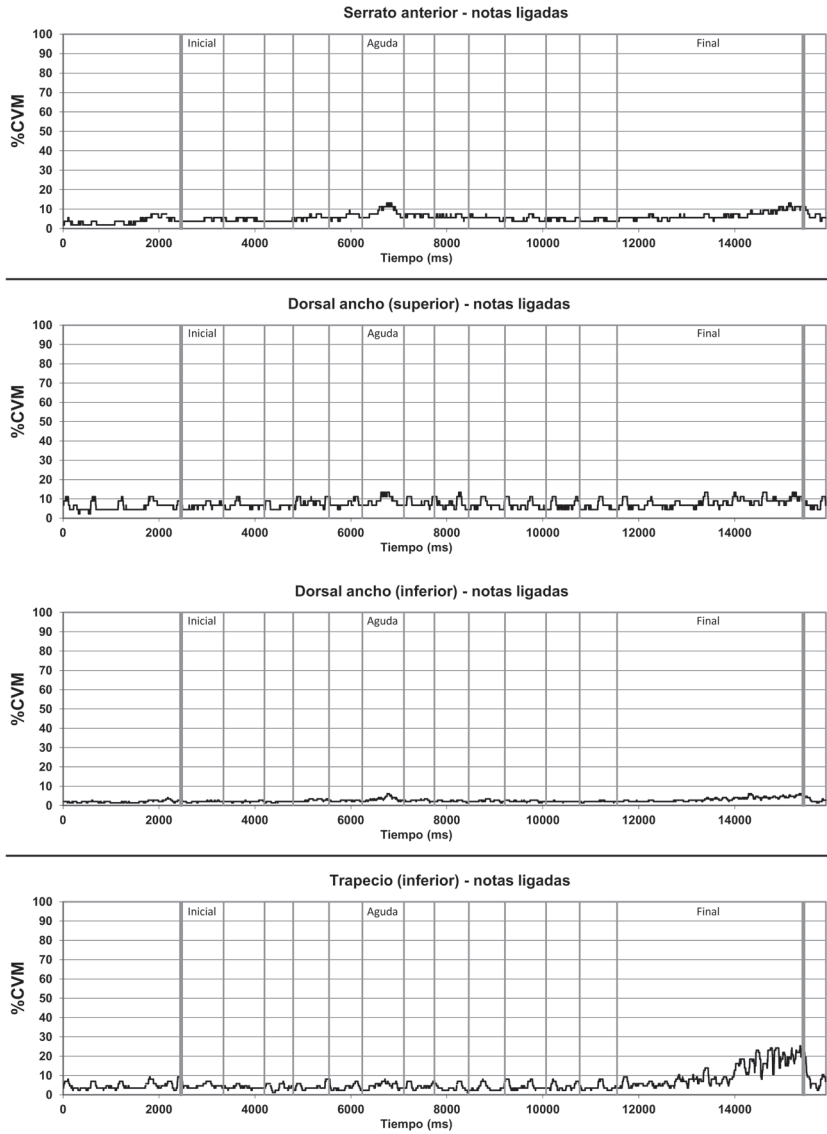


Figura 21. Gráficas de las notas ligadas. Músculos serrato anterior, dorsal ancho y trapecio.

Discusión y conclusiones

A la luz de los resultados, podemos pensar que hemos identificado dos grupos musculares entre los analizados.

Por un lado, podemos hablar de los músculos *ejecutores* o aquellos en los que su grado de activación se incrementa a medida que también es mayor el trabajo vocal. Estos serían el recto del abdomen, el transverso del abdomen, el oblicuo externo del abdomen y el intercostal externo. Estos músculos tendrían una acción directa sobre la ejecución de la acción. Asimismo, muestran diferencias en su grado de activación según el sonido (grave o agudo) y por tanto según el grado de dificultad o esfuerzo.

Por otro lado, existen aquellos que mantienen pocos cambios en su activación a pesar de los cambios en el esfuerzo requerido, a los que podemos llamar músculos *estabilizadores*, ya que pensamos que están manteniendo segmentos articulares en una determinada posición que interesa para facilitar la efectividad de los ejecutores. Dentro de este grupo incluimos el dorsal ancho, el serrato anterior y el trapecio.

En las personas con menor nivel técnico, se observa un comportamiento muscular más disperso y variable, probablemente debido a que no han obtenido aún un nivel de control motor adecuado. Ello concuerda con algunos estudios realizados por otros autores (Pettersen, 2005; Watson, Williams y James, 2012).

Perelló, Caballé y Guitart (1982, p. 118) definían el apoyo del sonido «como el punto en el cual se siente la solidez del mismo y en que se tiene la impresión de “poseerlo”, de “manejarlo”, de “dominarlo”. Un buen apoyo da estabilidad, seguridad y dominio de la emisión». Como decíamos anteriormente, el apoyo de la voz lo constituye la relación de equilibrio contracción/relajación del diafragma y la musculatura del abdomen. En el canto se trabaja para mantener el máximo tiempo posible la posición inspiratoria (lo que muchas veces se denomina tener la caja torácica abierta) durante la espiración, para que así la musculatura del abdomen pueda controlar el retorno del diafragma.

En un trabajo previo (Torres y Gimeno, 2008), apuntábamos la posibilidad de que esta función de mantenimiento de la posición inspiratoria fuese ejercida por el intercostal externo. Los resultados obtenidos parecen confirmar esta hipótesis ya que vemos que este músculo se activa en paralelo con los músculos del abdomen y participa en la ejecución de la acción. Este resultado concuerda

con el presentado por Pettersen (2005), quien vio en cantantes una activación conjunta del intercostal externo, el oblicuo externo y el recto del abdomen. Así, podemos pensar que el intercostal externo estaría manteniendo la caja torácica expandida contrarrestando la presión ejercida por los espiradores que tendería a hacer descender las costillas. Asimismo, este trabajo del intercostal impediría que el diafragma se relajara libremente, ya que para poderse relajar necesita que las costillas descendieran. Estos fenómenos son concordantes con lo expuesto por De Troyer (1983).

La función ejercida por el dorsal ancho como músculo inspirador ha sido objeto de controversia. Los libros de anatomía clásicos mencionan su papel como inspirador (Testut, 1912; Orts Llorca, 1964; Warwick y Williams, 1973; Prives, Lisenkov y Bushkovich, 1975). Sin embargo, según Kapandji, 1990, sólo podrá ejercer esta acción si sus fibras están estiradas, como cuando elevamos la extremidad por encima de la horizontal. Orozco-Levi et al. (1995), en un trabajo experimental realizado mediante electromiografía pudieron confirmar el papel inspirador del dorsal ancho y vieron que su actividad aumentaba progresivamente y de manera lineal a medida que aumentaba la presión inspiratoria.

También los textos clásicos de anatomía humana nos indican que se puede apreciar cómo el dorsal ancho se contrae en actos espiratorios violentos como la tos o el estornudo (Gardner, Grey y O'Rahilly, 1971; Warwick y Williams, 1973; Platzer, 1987). Posiblemente, este hecho llevó a pensar que se trataba de un músculo inspirador y espirador, como menciona Dinville (1989) en su libro de técnica vocal.

En nuestro estudio, hemos podido comprobar que el dorsal ancho se activa durante la espiración, pero consideramos que no actuaría como músculo espirador, sino que actuaría como estabilizador del sistema. Nuestros resultados coinciden con los de Watson, Williams y James (2012), quienes estudiaron mediante electromiografía la actividad de este músculo en seis cantantes, y concluyeron que el dorsal ancho tendría un papel importante en el mantenimiento de la expansión de la caja torácica, y que su papel sería mayor en cantantes entrenados.

Por su parte, Cala, Edyvean y Engel (1992), midieron la actividad de diversos músculos mediante electromiografía en sujetos realizando distintos ejercicios inspiratorios y vieron que el trapecio y el dorsal ancho actuarían, junto a otros músculos, como fijadores de la caja torácica impidiendo su depleción. En nuestro estudio hemos visto que dorsal ancho, trapecio y serrato anterior

presentan un comportamiento análogo, por lo cual consideramos que los tres músculos estarían jugando este papel estabilizador.

En los casos de la vocalización de notas picadas se observa que los voluntarios incrementaron la actividad de sus músculos ejecutores mostrando un pico justo en la nota anterior a la aguda. Como hemos visto, en el caso del sujeto cuyo pico de actividad se produjo tarde, la voz se oyó como precipitada.

En la vocalización de notas picadas se produce una interrupción del sonido entre nota y nota, lo que podría determinar que la musculatura se relajara en exceso y luego no pudiera ejercer, en el corto intervalo de tiempo que media hasta la siguiente nota, la suficiente fuerza para colocar la voz correctamente. Si comparamos la vocalización de notas picadas con la de notas ligadas, vemos que en esta última, la máxima actividad muscular se produjo en la nota aguda y no en la previa. Ello, corrobora nuestra idea de que este trabajo muscular está relacionado con el intervalo de silencio que hay entre la nota aguda y la nota anterior a ella, y se relaciona con la necesidad de “no dejar caer la voz”, lo que implica no dejar que la actividad muscular “caiga” por debajo de determinados valores. Pensamos, por tanto, que este pico de activación muscular responde a una actividad anticipatoria que prepara la acción muscular y su resultado en los momentos posteriores de mayor dificultad. La actividad anticipatoria de los músculos es un fenómeno ampliamente observado en situaciones de preparación de una acción o de “pre-ajustamiento” (Aruin y Latash, 1995; Carvalho y Almeida, 2009).

También hemos observado una actividad anticipatoria de la musculatura estudiada en la fase anterior al inicio de la vocalización. Desde el momento en que se oyó el tono hasta que se empezó a cantar, los distintos músculos aumentaron su actividad preparándose para poder ejercer a continuación su trabajo de manera correcta.

Estos fenómenos anticipatorios observados a nivel muscular, concuerdan con lo que sabemos desde el canto: para poder hacer una nota correctamente, principalmente si es dificultosa, hay que preverla y prepararla.

Referencias bibliográficas

- Aruin, A.S., y Latash, M.L. (1995). The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. *Exp Brain Res*, 106, 291-300.
- Cala, S.J., Edyvean, J. y Engel, L.A. (1992). Chest wall and trunk muscle activity during inspiratory loading. *J. Appl Physiol.* 73(6), 2373-2381.
- Carvalho, R. L. y Almeida, G. L. (2009). Assessment of postural adjustments in persons with intellectual disability during balance on the seesaw. *Journal of Intellectual Disability Research*, 53(4), 389-395. doi: 10.1111/j.1365-2788.2008.01147.x
- De Luca, C.J. (2006). Electromyography. En J.G. Webster, (ed.), *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, (pp. 98-109). Nueva Jersey: John Wiley Publisher.
- De Troyer, A. (1983). Cournand lecture: Mechanical action of the abdominal muscles. *Bull Eur Physiopathol Respir*, 19(6), 575-581.
- Dinville, C. (1989). *La voix chantée. Sa technique* (2ª ed.). París: Masson.
- Gardner, E., Grey D.J. y O'Rahilly, R. (1971). *Anatomía. Estudio por regiones del cuerpo humano*. Barcelona: Salvat.
- Kapandji, I.A. (1990). *Cuadernos de fisiología articular. Vol. 3. Tronco y Raquis* (2ª ed.). Barcelona: Masson.
- Massó, N., Rey, F., Romero, D., Gual, G., Costa, L. y Germán, A. (2010). Surface electromyography applications in the sport. *Apunts Med Esport*, 45(165), 121-130.
- Orozco-Levi, M., Gea, J., Monells, J., Aran, X., Aguar, M.C. y Broquetas, J.M. (1995) Activity of latissimus dorsi muscle during inspiratory threshold loads. *Eur Respir J.* 8(3), 441-445.
- Orts Llorca, F. (1964). *Anatomía humana* (3ª ed.). Barcelona: Editorial Científico-Médica.
- Perelló, J., Caballé, M. y Guitart, E. (1982). *Canto-dicción. Foniatria estética* (2ª ed.). Barcelona: Editorial Científico-Médica.
- Pettersen, V. (2005). Muscular patterns and activation levels of auxiliary breathing muscles and thorax movement in classical singing. *Folia Phoniatr. Logop.* 57, 255-277. doi: 10.1159/000087079
- Platzer, W. (1987). *Atlas de anatomía para estudiantes y médicos. Tomo 1: Aparato locomotor*. Barcelona: Omega.
- Prives, M., Lisenkov, N. y Bushkovich, V. (1975). *Anatomía humana. Tomo I* (2ª ed.). Moscú: Mir.
- Romanes, G.J. (ed.) (1987). *Cunningham. Tratado de anatomía* (12ª ed.). Madrid: Interamericana, División McGraw-Hill.
- Testut, L. (1912). *Tratado de anatomía humana. Tomo primero: osteología, artrología, miología* (6ª ed.). Barcelona: Salvat.
- Torres, B. (2006). Cabeza, cuello y tronco y miembro inferior. En *Anatomía interactiva del sistema locomotor Vol. 1, Colección Universitat núm. 18*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.

- 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. (2008). Generalidades y miembro superior. En *Anatomía interactiva del sistema locomotor Vol. 2, Colección Universitat* núm. 37. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.
- Torres, B. (2013). La Voz y Nuestro Cuerpo. Un Análisis Funcional. *Revista de Investigaciones en Técnica Vocal*, 1(1), 40-58.
- Torres, B. y Gimeno, F. (2008). *Anatomía de la Voz*. Barcelona: Paidotribo. (Edición en e-book 2011).
- Torres, B., Sardà, E., Vilaró, J., Gumila, B., Massó, N., Germán, A., Rey, F y Ruano-Gil, D. (2002). Muscular activity during diaphragmatic breathing in a singer. *Join Meeting of the British Association of Clinical Anatomists and Spanish Anatomical Society*. Barcelona.
- Torres, B., Sardà, E., Vilaró, J., Gumila, B., Massó, N., Germán, A., Rey, F y Ruano-Gil, D. (2003). Relaciones musculares en la respiración diafragmática. *Primer Congrés del Col·legi de Logopedes de Catalunya*. Barcelona.
- Warwick, R. y Williams, P.L. (Ed.). (1973). *Gray's anatomy. 35th edition*. Londres: Longman.
- Watson, A.H.D., Williams, C. y James, B.V. (2011). Activity patterns in latissimus dorsi and sternocleidomastoid in classical singers. *J. Voice*, 26(3), 95-105. doi: 10.1016/j.voice.2011.04.008