

Recibido: septiembre 2016
Aceptado: diciembre 2016

Evolución de las técnicas para el estudio de la función vibratoria de las cuerdas vocales

Evolution of the techniques for the study of the vibratory function of the vocal cords

Masao Kume,* Alfonso Ramírez Gorostiza*

La invitación por parte de la revista de la AMCAOF a colaborar con el presente artículo representa para mí una gran oportunidad de volver a integrarme a los programas científicos de su asociación que observo cada día más progresista por su gran esfuerzo en el trabajo y organización.

Considero importante escribir en este espacio sobre la vibración de las cuerdas vocales porque constituye la base para distinguir la voz normal y la patológica, lo que seguramente será de utilidad para sus miembros que manejan la rehabilitación vocal.

Introducción

La relación del fonocirujano con la foniatría y fonoaudiología debe ser siempre muy estrecha en la complementación de estudios, diagnósticos y tratamientos de los problemas de la voz.

La importancia de la vibración de las cuerdas vocales en la producción normal y patológica es un tema que ha ocupado por mucho tiempo a los científicos alrededor del mundo. Sin duda desde el principio el estroboscopia ha sido el equipo por excelencia en la investigación y estudio de estos problemas. Gracias a los grandes avances de la tecnología en años recientes se ha logrado una mejoría en los equipos en la obtención de imágenes y una mayor precisión en los diagnósticos.

En este trabajo nos referiremos a la revisión de las tecnologías existentes que nos han acompañado en los

últimos 40 años haciendo énfasis en los de más reciente aparición para que se tenga, en nuestra opinión, un conocimiento sobre los beneficios logrados.

Haremos un espacio para referirnos a otros equipos utilizados desde hace varios años, pero no muy difundidos en nuestro medio como la electroglotografía que tiene gran importancia en la observación de la vibración de las cuerdas vocales. También comentaremos sobre los equipos de vanguardia como la videoestroboscopia de alta definición (HD), la videoestroboscopia con fibroscopio flexible con sensor en la punta (Chip-tip), el video de alta velocidad y la videoquimografía de color. Todos ellos constituyen las cuatro técnicas básicas para el estudio de la vibración de las cuerdas vocales.

Datos históricos

Manuel García (1805-1906), reconocido pedagogo vocal, reportó la autolaringoscopia en la *Royal Society of London* en 1855 con el trabajo titulado *Observaciones sobre la voz humana*¹ fundamentando el inicio del conocimiento de sus movimientos y vibraciones.

García narró en forma única las bases fisiológicas de la producción del sonido vocal. Hubo después otros estudiosos que se dedicaron a perfeccionar las observaciones de García.

Debido a que las cuerdas vocales vibran a una alta frecuencia es difícil ver este fenómeno con la luz nor-

* Clínica para los Cuidados de la Voz, Otorrinolaringología, Medicina del Sueño y Trastornos de la Deglución. Departamento de Otorrinolaringología. Hospital Ángeles Pedregal. Fundación Mexicana de la Voz A.C.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/audiologia>

mal, entonces es necesario recurrir a un equipo que proporcione el efecto de cámara lenta para poder analizarlo. El primer intento para lograrlo vino del diseño de Oertel (1895)² que permitía observar el movimiento lento de la vibración gracias a un disco con perforaciones por donde se hacía pasar la luz de una lámpara. A causa de la mala calidad de la luz las imágenes obtenidas nunca fueron adecuadas, pero significó un gran progreso para futuras investigaciones.

Desde entonces surgieron algunas fuentes de luz estroboscópica que proyectaban una luz de xenón en el espejo frontal del observador iluminando un pequeño espejo tipo dental que permitía observar la laringe. Hubo más diseños como el estroboscopio indirecto de Timcke, pero en nuestra experiencia fue con un modelo Nagashima, también del tipo indirecto, que empezó en forma sistemática nuestra investigación del fenómeno vibratorio. Este equipo contaba con un panel frontal para observar la frecuencia fundamental y la posibilidad de seleccionar el número de destellos luminosos que emanaban de una fuente de luz de xenón de acuerdo con la voz del paciente (Figura 1).

Ninguno de estos equipos nos proporcionó una información clara de las características vibratorias.

La aparición de las cámaras de video que adaptaban un telescopio nos dio la oportunidad de observar con más detalle el ciclo vibratorio. Nuestra primera experiencia con estos equipos fue con el estroboscopio fabricado por Bruel & Kjaer de procedencia danesa (Figura 2).

El progreso tecnológico continuó y fue hasta 1997 cuando fue posible obtener imágenes de alta resolución con el equipo de Kay Elemetrics (hoy Pentax Medical). Este equipo consistía en una fuente de luz mixta de xenón y halógeno con un telescopio de 70 grados y 9 mm de

diámetro adaptado a una microcámara de alta resolución que nos mostró imágenes de muy buena calidad en comparación con los equipos previos (Figura 3).

Acompañado de un adaptador de electroglotografía presentaba en la pantalla del monitor la imagen laríngea, frecuencia fundamental, amplitud de la vibración y el mismo trazo electroglotográfico. Con una grabadora se documentaba en cintas de video VHS y SVHS, a partir de las cuales se obtenían fotografías para impresión en papel para información complementaria.

Diez años después en el año 2007, siguiendo con el mismo modelo de estroboscopia, se dio el cambio a un sistema digital para hacer la grabación en discos CD con



Figura 2. Modelo Bruel & Kjaer. Con este equipo se logró adaptar una cámara de tipo casero en 1976.



Figura 1. Modelo de Estroboscopio Nagashima de tipo indirecto que fue utilizado de 1973 a 1975.



Figura 3. Imagen de las cuerdas vocales lograda con fibroscopio flexible tipo chip-tip y videoestroboscopio de alta definición.

cámara CCD de tres chips, logrando imágenes de alta resolución. Tanto las imágenes como la información se archivaban en la computadora para revisiones ulteriores.

La tecnología continuó su avance y cada vez se obtenían imágenes más detalladas. En el año 2010 apareció el modelo de alta definición que producía mejores imágenes y así se perfeccionaron los diagnósticos.

Realizar la estroboscopia en pacientes con intolerancia al telescopio se resolvió con el diseño del fibroscopio llamado chip-tip con sensor de imagen en la punta, logrando un máximo acercamiento a las cuerdas vocales con tolerabilidad del paciente (Figura 4).

Electroglotografía

Son varios los estudios que pueden realizarse en el laboratorio de la voz, uno de ellos es la llamada electroglotografía, un método no invasivo descrito por Fabre en 1957. Es un equipo que permite registrar el fenómeno vibratorio basado en los cambios de impedancia eléctrica captado a través de dos electrodos colocados sobre la superficie del cuello a nivel del cartílago tiroideo (Figura 5).³

La electroglotografía está basada en la ley de Ohm que se refiere a que una corriente a través de una estructura será proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia. El contacto entre las cuerdas vocales optimiza la conducción de corriente y así se obtiene un gráfico.

Ilustra aspectos del área de contacto de las cuerdas vocales de un ciclo a otro. Monitoriza la fase de vibración en tiempo real al sincronizar el trazo con la estroboscopia determinando aspectos cualitativos y cuantitativos del fenómeno vibratorio.

Dentro de los aspectos cualitativos que pueden analizarse están la regularidad de la frecuencia y la amplitud.



Figura 4. Imagen de una lesión premaligna con video de alta definición.

Estudia las fases del ciclo glótico (fase abierta, en cierre, cerrada y apertura).

Es posible observar ciclos regulares como un senoide sin alteraciones y por otro lado existen oscilaciones irregulares, de doble pico, etcétera (Figura 6).

De la medición cuantitativa se obtiene la frecuencia fundamental, las alteraciones de la frecuencia (Jitter) y de la amplitud (Shimmer), así como el cociente de contacto.

Existen limitaciones para realizar la electroglotografía como el grosor tisular del cuello, la interferencia de la mucosa o los movimientos constantes del cuello o de la cabeza de algunos pacientes.

Aunque no se han encontrado patrones patognomónicos de la electroglotografía, algunos pueden orientar en gran medida hacia ciertas patologías como las parálisis de las cuerdas vocales que no producen contacto entre ellas, de tal manera que el registro es casi isoeléctrico.

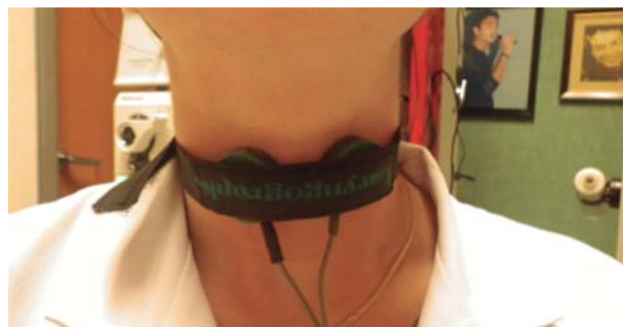


Figura 5. Transductor colocado en el cuello para obtener registros de electroglotografía.

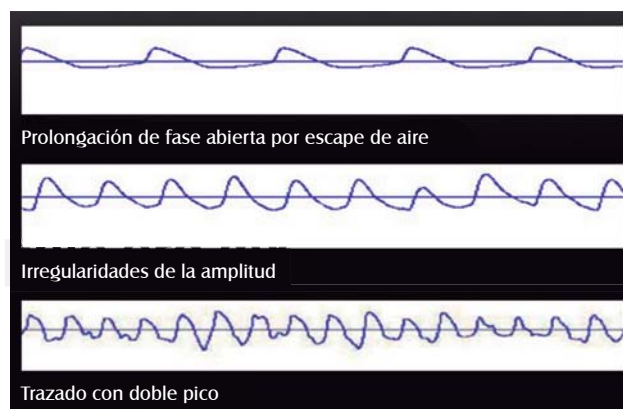


Figura 6. Tres registros gráficos de electroglotografía. El superior muestra espacios prolongados por incompetencia glótica. En el segundo se observa un registro irregular en un ciclo. En el tercero se aprecian registros totalmente irregulares por presencia de pólipo en una cuerda vocal.

Estroboscopia

La investigación y manufactura de estroboscopios continuó y se desarrolló un estroboscopio con fines industriales, sobre todo para poner a tiempo los motores de los automóviles. A este diseño se le dio posteriormente un uso clínico en laringología haciendo emitir un sonido de 100 Hz para el sexo masculino y 250 Hz para el femenino.

Unos años después un nuevo avance en la estroboscopia fue el hecho de lograr sincronizar la frecuencia de la voz emitida con los destellos de luz estroboscópica en forma automática (Schoenharl). Este estroboscopio fue diseñado por la marca Bruel & Kjaer que a través de un micrófono de contacto en el cuello coordinaba la frecuencia vocal con los destellos de luz.

Con la llegada del videoendoscopio y la grabación de videos con cámaras sensibles se obtuvieron imágenes muy interesantes dando pie al desarrollo de la moderna videoestroboscopia (Cornut, Bouchayer, 1988; Prytz, 1989; Yanagizawa, Godley, Muta, 1987).

Gracias a los avances en la tecnología de video de las cámaras CCD (*charge-coupled device*) se lograron imágenes de mejor calidad. Buscando siempre una resolución óptima, recientemente se han desarrollado la tecnología de alta definición (HD) y alta velocidad (HS).

Estroboscopia

La imagen estroboscópica de las cuerdas vocales continúa siendo una parte fundamental en el diagnóstico, terapia y decisiones fonoquirúrgicas en el manejo del tratamiento de los problemas de la voz. Sin embargo, los videoestroboscopios actuales son incapaces de producir imágenes vibratorias en voces muy alteradas, por ello la tendencia de desarrollar nuevas tecnologías como el video de color de alta velocidad, las imágenes de resonancia magnética y la tomografía de coherencia óptica. Metha, Delisky y Hillman mejoraron la definición y cuantificación del complejo mecanismo fonatorio, la facilidad de su uso y la sincronización con audio que produce una imagen laríngea muy cercana a la perfección.

Principios de la estroboscopia

Los principios científicos de la estroboscopia son bien conocidos, pero gran parte de la literatura atribuye erróneamente los efectos del estroboscopio a la ley de Talbot y a la persistencia de las imágenes en la visión.

Mehta y col.⁴ recientemente desenmascararon estos conceptos erróneos en un comentario que explica que dos diferentes percepciones visuales actualmente desempeñan un papel decisivo en la estroboscopia laríngea: 1. La percepción de un parpadeo-libre y de una imagen uniformemente iluminada (con un estroboscopio con promedios arriba de 50 Hz) y 2. La percepción de movimientos aparentes de una muestra de imágenes cuando no existe un movimiento real (con una muestra arriba de 17 Hz).⁵ Los modernos estroboscopios que integran los principios de la estroboscopia con tecnologías de sistemas de video cumplen estos dos requerimientos.

El proceso de grabación en Estados Unidos sigue los estándares de la *National Television System Committee* (NTSC) que captura aproximadamente 30 imágenes por segundo y en el cual cada cuadro comprime dos y medio cuadros llamados campos que son capturados a cerca de 60 Hz (el cuadro actual y el campo promedian 30/1.001 Hz y 60/1.001 Hz, respectivamente).⁶ En 1992 Kay Pentax introduce el sistema que controla los destellos de luz, así que sólo un destello ocurre por campo de video y elimina los artefactos que previamente se presentaban debido a múltiples exposiciones entre cada campo de video. Metha y Hillman presentaron un análisis entre la interacción, el promedio de estroboscopia, el promedio de la cámara de video y la frecuencia fundamental.

A pesar de que la tecnología ofrece un videoestroboscopio de alta definición, éste proporciona una imagen con mejor resolución pero no de acuerdo con los principios fundamentales de la estroboscopia antes mencionados en las voces con frecuencia periódica.⁷

Para conocimiento de los interesados, el equipo de Kay Pentax emite disparos de fuentes de luz de xenón que iluminan cada flash con duración de 5 microsegundos,⁸ mientras que otras fuentes emiten luces de diodo. Un método alternativo es el que emplea otra marca que aplica una luz constante, pero éste presenta una muestra por disparos electrónicos de la imagen del sensor de la cámara y en relación con el método, el flash o duración del disparo es demasiado corto para prevenir que se borren los artefactos que puedan aparecer debido a los movimientos rápidos de la cuerdas vocales que viajan a la velocidad de un metro por segundo.⁹

Videoestroboscopia de alta definición

Avances recientes en el acoplamiento de sistemas estroboscópicos con las imágenes de alta definición han

dado una resolución sin precedentes a las estructuras involucradas en la vibración de las cuerdas vocales (la vasculatura superficial, onda glótica, cierre glótico, entre otras). En el sistema HD de videoestroboscopia que ofrece Kay Pentax, por ejemplo, las grabaciones intercalan cuadros de video con una resolución espaciosa de $1,920 \times 1,080$ píxeles. Esta amplia resolución contrasta con la resolución estándar de 720×480 píxeles, por lo que se obtienen imágenes de excelente calidad.

Criterios visuales de la estroboscopia laríngea

Se han hecho esfuerzos para estandarizar los hallazgos estroboscópicos del fenómeno vibratorio. En la actualidad los valores considerados son los siguientes:

Frecuencia fundamental: detectada en el panel del estroboscopio.

Simetría de fase: promedio de vibración de cuerda vocal izquierda-derecha.

Amplitud: extensión del desplazamiento lateral.

Onda mucosa: extensión de la deformación del tejido.

Conducta vibratoria: presencia o ausencia de vibración en áreas particulares.

Actividad supraglótica: extensión de la compresión laríngea.

Bordes: promedio de suavidad y rectitud de las cuerdas vocales.

Nivel vertical: sobre el plano o fuera del plano en el contacto.

Fase de cierre: duración del cierre.

Regularidad: promedio de la periodicidad.

Cierre glotal: descripción del tipo de cierre.

Confiabilidad entre ciclos

En un estudio reciente¹⁰ se investigó la confiabilidad entre los ciclos en los 10 parámetros durante la estroboscopia. Aunque muchos de los parámetros fueron confiables, los juicios de fase de cierre, simetría de fase y regularidad exhibieron poca confiabilidad, lo que cuestionó su validez. Los dos parámetros de escalas en relación con el nivel vertical y cierre glotal se consideraron poco confiables, pues se sugirió que esta valoración podría contener poca información. Curiosamente los parámetros que mostraron mayor confiabilidad fueron la amplitud, la conducta vibratoria y el borde.

Comparativo entre videoestroboscopia y video de alta velocidad

Se sabe que las imágenes estroboscópicas tienen limitaciones inherentes por la forma que se obtienen. El efecto estroboscópico se produce si el movimiento es observado con adecuada periodicidad. Las imágenes estroboscópicas son incapaces de revelar el patrón vibratorio cuando exceden la disfonía moderada.¹¹ Gracias a la captación continua el video de alta velocidad de los ciclos nos muestra el total de las vibraciones que no dependen de la frecuencia fundamental emitida.

Video de alta velocidad

Los antecedentes del video de alta velocidad se basan en la llegada de la cinematografía. Esta tecnología fue aplicada a la laringe por Panconcelli-Calzia en 1929. Otros autores describieron esta técnica, pero la que más llamó la atención fue la presentación en 1957 del trabajo de Moore, Timke y Von Leden por parte de los Laboratorios Bell.

Esta tecnología puede tener un gran impacto en el futuro inmediato complementando un estudio para comprender mejor el mecanismo de la producción de la voz. Lo anterior se debe a que la estroboscopia no puede ofrecernos las cualidades vibratorias, ya que depende de una voz con movimientos periódicos captados por una frecuencia fundamental regular. Cuando existen voces muy alteradas el video de velocidad ilumina totalmente el ciclo vibratorio y es capaz de captar todas sus características (Figura 7).¹²



Figura 7. Imagen de video de alta velocidad durante la fase abierta de la vibración.

Videoquimografía

La imagen quimográfica es un método moderno para la evaluación de la conducta vibratoria de las cuerdas vocales que es crucial en la producción vocal.

Utilizar una cámara especial ofrece una imagen en tiempo real de alta velocidad que tiene sus ventajas en la clínica práctica diaria. Existen tres métodos para obtener estas imágenes: la inicial videoquimografía, la quimografía digital de alta velocidad y la estroboscopia.

En nuestra experiencia la videoquimografía de alta velocidad es la que utilizamos en un sinnúmero de imágenes obtenidas por video de alta velocidad con el fin de conocer las cualidades de la vibración y no sólo en aquellas con vibraciones aperiódicas. Hemos logrado observar con más detalle la asimetría, onda mucosa, irregularidades, el inicio y el final de la vibración (Figura 8).¹³

Conclusiones

El diagnóstico de los problemas de la voz ha tenido un desarrollo extraordinario en los últimos años. Partiendo de la estroboscopia convencional estamos llegando a la era de la videoestroboscopia digital, que gracias al gran avance en la resolución nos proyecta hacia una mayor precisión diagnóstica. Ha sido muy discutida la utilidad de la estroboscopia en las voces muy alteradas, ya que ésta no ofrece la imagen completa de la vibración de las cuerdas vocales. Debido a esto se le ha prestado demasiada atención a un complemen-

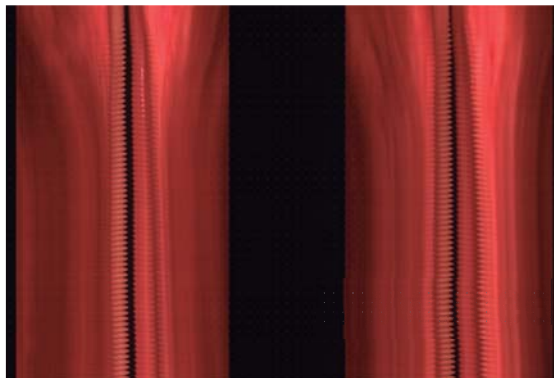


Figura 8. Dos imágenes de videoquimografía obtenidas a partir del video de alta velocidad. En la imagen izquierda correspondiente al tercio medio de las cuerdas vocales se observa regularidad de la onda vibratoria de la cuerda derecha y ausencia de la onda vibratoria izquierda por presencia de lesión inflamatoria. Estos hallazgos se extienden hasta el tercio posterior. En la imagen derecha correspondiente al tercio posterior de las cuerdas vocales se observa la extensión de las mismas alteraciones.

to de este equipo que es el video de alta velocidad, el cual al ofrecer una iluminación continua nos proporciona imágenes incluso en voces aperiódicas. Actualmente realizamos estos estudios a todos los pacientes con cualquier tipo de problema vocal con el fin de investigar qué ocurre en cada caso. A partir de las imágenes de alta velocidad la videoquimografía es otro recurso para conocer el estado de la vibración; ésta consta de imágenes fijas del comportamiento de los bordes de las cuerdas vocales de los sitios seleccionados (tercio anterior, medio y posterior) que complementan el estudio de la vibración. Dedicamos también algunas palabras a la electroglotografía, una técnica ya desarrollada con anterioridad que consiste en la obtención de un trazo gráfico de la vibración de las cuerdas vocales que se logra a través de un par de transductores colocados a los lados del cartílago tiroideo.

La fibrovideostroboscopia es otro tipo de exploración que se utiliza cuando, por algún motivo, no es posible introducir el telescopio por la boca, entonces el estudio se hace a través de la nariz, logrando un acercamiento a las cuerdas vocales que permite observar el ciclo vibratorio. Gracias a que este equipo es del tipo con sensor en la punta, se obtienen imágenes de excelente calidad.

REFERENCIAS

1. García M. Observations on the human voice. *Proc R Soc Lond.* 1855; 7: 397-410.
2. The laryngoscope and laryngostroboscopic examination. *Arch Laryngol Rhinol.* 1895; 3: 1-16.
3. Ford CN, Bless DM. *Electroglotography en Phonosurgery. Assessment and surgical management of voice disorders.* 1991. pp. 110-112.
4. Mehta DD, Hillman RE. Current role of stroboscopy in laryngeal imaging. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012; 20 (6): 429-436.
5. Mehta DD, Deliyski DD, Hillman RE. Why laryngeal stroboscopy really works: Clarifying misconceptions surrounding Talbot's law and the persistence of vision. *J Speech Lang Hear Res.* 2010; 53: 1263-1267.
6. *The Society of Motion Picture and Television Engineers.* SMPTE Standards. 2004.
7. Hillman RE, Metha DD. *The science of stroboscopic imaging.* In: Kendall KA, Leonard RJ. *Laryngeal evaluation: indirect laryngoscopy to high-speed digital imaging.* New York, NY: Thieme Medical Publishers, Inc; 2010. pp. 101-109.
8. Kay Pentax. *Instruction manual. Stroboscopic systems and components.* Montvale, NJ. 2008.
9. Schuster M, Lohscheller J, Kummer P, Eysholdt U, Hoppe U. Laser projection in high speed glottography for high precision measurements of laryngeal dimensions and dynamics. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2005; 262: 477-481. (PubMed: 15942801)
10. Nawka T, Konerding U. The interrater reliability of stroboscopic evaluations. *J Voice.* 2012; 26 (6): 812.e1-10.
11. Patel R, Dayley S, Bless D. Comparison of high speed digital imaging with stroboscopy for laryngeal imaging of glottal disorders. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2008; 117: 413-424. (PubMed 18646437)
12. Deliyski D. Laryngeal high speed videendoscopy in laryngeal evaluation. Kendall K, Leonard R. Chap 28, pp. 245-247.
13. Svec J, Schutte HK. Kimographic imaging of laryngeal vibrations. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012; 20: 458-465.