

Artículo de Revisión

Tipos de fibras de los músculos intrínsecos laríngeos de seres humanos: una revisión de la literatura

Christopher Fuentes Aracena ^{a, *}

^a Escuela de Fonoaudiología, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad Mayor, Chile.

RESUMEN

El estudio de las fibras musculares permite comprender con mejor detalle la composición de los músculos y sus características funcionales. Además, facilita la aplicación de programas de entrenamiento y rehabilitación basados en las vías energéticas que regulan la contracción muscular. Su estudio generalmente va unido al análisis de las cadenas pesadas de miosina (MyHC), las que informan sobre las características y propiedades funcionales del músculo. El objetivo de este trabajo fue sintetizar la evidencia científica disponible sobre la distribución de fibras musculares y de isoformas de cadenas pesadas de miosina de los músculos intrínsecos de la laringe de seres humanos. Se realizó una revisión sistemática de la literatura mediante el análisis de artículos encontrados en las bases de datos PubMed, EBSCOHost y SciELO. Los hallazgos informan sobre la existencia de fibras tónicas lentas y tipo I, II, IIA y IIX/IIB. Además, se reconoce la presencia de las isoformas MyHC-I, MyHC-IIA, MyHC-IIX, MyHC-Fetal, MyHC-L y MyHC-IIB. En conclusión, los músculos intrínsecos de la laringe presentan una mezcla de fibras y de isoformas de MyHC lentas y rápidas, la que obedece a adaptaciones y cambios evolutivos que han permitido, por ejemplo, las características fonatorias que presenta la voz del ser humano.

Palabras clave:

Tipo de Fibras Musculares; Cadena Pesada de Miosina; Músculos Laríngeos; Fonación

Fiber Types in Human Intrinsic Laryngeal Muscles: A Literature Review

ABSTRACT

The study of muscle fibers allows the composition of muscles and their functional characteristics to be understood in greater detail. In addition, it makes it possible to apply training and rehabilitation programs based on the energy pathways that regulate muscle contraction. Studying muscle fibers is generally associated with the analysis of myosin heavy chains (MHC) which provide information on the functional characteristics and properties of muscles. The objective of this study was to synthesize the available scientific evidence on the distribution of muscle fibers and myosin heavy chain isoforms present in the intrinsic laryngeal muscles of human beings. A systematic review of the literature was carried out and articles found on PubMed, EBSCOHost, and SciELO were analyzed. The findings show the presence of slow-tonic, type I, type II, type IIA, and type IIX/IIB fibers. Additionally, isoforms MHC-I, MHC-IIA, MHC-IIX, MHC-Fetal, MHC-L, and MHC-IIB can be found. In conclusion, intrinsic laryngeal muscles are composed of a combination of slow and fast fibers and MHC isoforms, derived from evolutionary adaptations and changes which have given way, among other things, to the phonetic characteristics of the human voice.

Keywords:

Muscle Fiber Types; Myosin Heavy Chain; Laryngeal Muscles; Phonation

* Corresponding Author: Christopher Fuentes Aracena
Email: chrfuentes@gmail.com

Recibido: 28-06-2022
Aceptado: 12-05-2023
Publicado: 15-07-2023

INTRODUCCIÓN

Las fibras musculares corresponden a la subunidad más pequeña dentro de un músculo (Braithwaite & Al Khalili, 2023). Se encuentran cubiertas por una capa de tejido conectivo denominada endomisio. Cuando se juntan múltiples fibras se conforma un fascículo, mientras que el conjunto de fascículos forma al músculo como tal (Carroll, 2007).

A grandes rasgos, se distinguen tres tipos de fibras en el interior de cada músculo (tipo I, IIA y IIX), las que se diferencian entre sí, según sus características contráctiles y metabólicas (Curry et al., 2012). Las fibras tipo I tienden a ser altamente resistentes, aunque su fuerza es escasa. Se encuentran diseñadas para actividades prolongadas y de intensidad baja a moderada (Lieber et al., 2017). Las fibras tipo IIA, en comparación a las tipo I, presentan menor resistencia a la fatiga y producen mayor fuerza. Debido a sus características híbridas, están diseñadas para actividades que presentan un componente aeróbico y anaeróbico (Karp, 2001). Las fibras tipo IIX poseen un metabolismo principalmente anaeróbico. Por esta razón, poseen mayor fuerza y menor resistencia a la fatiga que las de tipo I y IIA (Vikne et al., 2020).

Los avances tecnológicos han permitido observar una mayor variedad de fibras que las expuestas en la clasificación anterior. Dichas fibras se clasifican, según su grado de resistencia (de mayor a menor), en: I, IC, IIC, IIAC, IIA, IIAB y IIX o IIB (Lieber et al., 2017). Todas las fibras anteriormente mencionadas se han observado en seres humanos, sin embargo, las fibras tipo IIB suelen ser más comunes en mamíferos de pequeño tamaño (Talbot & Maves, 2016).

En el interior de la fibra se encuentran los filamentos de actina y miosina, los cuales mediante su interacción, producen la contracción muscular. A su vez, la molécula de miosina comprende un par de cadenas pesadas (MyHC) y otro par de cadenas livianas o ligeras (MyLC) (Sharma et al., 2018). La expresión del gen diferencial de MyHC permite la diferenciación entre fibras lentas y rápidas (Schiaffino & Reggiani, 2011). Funcionalmente, las MyHC determinan la velocidad de acortamiento o la resistencia de la fibra muscular y por consiguiente, se convierten en el principal marcador de las propiedades funcionales del músculo (Pette & Staron, 2000). En una fibra pueden existir múltiples isoformas de MyHC, sin embargo, la funcionalidad muscular está determinada por la de mayor predominancia (Graziotti et al., 2001). Basado en sus propiedades contráctiles, las MyHC pueden ser divididas en rápidas o lentas (tabla 1).

Tabla 1. Cadenas pesadas de miosina y fibras musculares en mamíferos (Pette & Staron, 2000).

| Nombre | Nomenclatura Cadena pesada de miosina | Tipo de fibra que expresan |
|---------|---------------------------------------|---|
| Rápidas | MyHC-IIB/IIX | Fibras IIB/X, IIBD, IIAB |
| Rápidas | MyHC-IIA | Fibras IIA, IIAB, IC |
| Rápidas | MyHC _{com} | Extraoculares |
| Rápidas | MyHC-II | Masticatorias |
| Lentas | MyHC-IB | Fibras I, IC |
| Lentas | MyHC- α | Extraoculares, diafragmáticas y maseterinas |
| Lentas | MyHCI _{ton} | Extraoculares y del tensor del tímpano |

Abreviatura: MyHC, myosin heavy chain (cadena pesada de miosina).

De modo general, los músculos sanos presentan una distribución heterogénea de fibras y de MyHC que permiten generar las capacidades físicas (fuerza, potencia y resistencia) que se requieren en la vida diaria (Talbot & Maves, 2016). En la laringe, las distribuciones de fibras que se han informado en los diversos estudios han sido contradictorias. Se ha indicado que los músculos intrínsecos laríngeos se han adaptado para realizar tareas veloces o de alta aceleración, por lo que tendrían un predominio de fibras rápidas (Cielo et al., 2011). Esta observación ha sido corroborada con estudios basados en la histoanatomía de los músculos laríngeos de mamíferos pequeños (Schiaffino & Reggiani, 2011). Mientras que, otros estudios realizados en seres humanos, han indicado un importante predominio de MyHC lentas en músculos como el tiroaritenoido (Hoh, 2005).

Esta variabilidad en los resultados obtenidos ha llevado a confusión y a la ausencia de consenso, con respecto a la distribución de fibras de los músculos laríngeos. Ello ha provocado que su utilidad en la evaluación e intervención fonoaudiológica sea escasa y contradictoria en el trabajo muscular, a diferencia del trabajo que se realiza en otras áreas vinculadas a la rehabilitación musculoesquelética (Agten et al., 2021; Hody et al., 2019; Lievens et al., 2020).

Múltiples son los beneficios que permite el conocimiento de la distribución de fibras de los músculos laríngeos. En primer lugar, favorece entender con mayor precisión la funcionalidad de cada músculo (Hoh, 2005), en segundo lugar, permite aplicar cargas de trabajo específicas para estimular alguna capacidad física de predominio muscular (fuerza, resistencia o potencia) (Sandage & Smith, 2017) y, en tercer lugar, promueve la utilización de

entrenamientos continuos o interválicos que permiten la adaptación específica de cada músculo y así mejorar su rendimiento en el tiempo (Johnson & Sandage, 2019).

Considerando que el conocimiento de las fibras de los músculos intrínsecos de la laringe y sus respectivas isoformas de MyHC permite beneficios como los expuestos, surge la pregunta que guía a esta investigación: ¿qué información entrega la evidencia científica disponible sobre la distribución de fibras y de MyHC de los músculos laríngeos de seres humanos?

El objetivo de este trabajo fue sintetizar la evidencia científica disponible sobre la distribución de fibras musculares y de isoformas de cadenas pesadas de miosina de los músculos intrínsecos de la laringe de seres humanos.

MÉTODO

La revisión sistemática de la literatura se llevó a cabo gracias a los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). De esta forma, se establecieron una serie de criterios que se detallan a continuación.

Estrategias de búsqueda

Durante el 7 y 13 de marzo del año 2022 se consultaron las bases de datos PubMed, EBSCOHost y SciELO. Se utilizaron como palabras claves los conceptos cricothyroid (cricotiroideo), posterior cricoarytenoid (cricoaritenideo posterior), lateral cricoarytenoid (cricoaritenideo lateral), transverse interarytenoid (interaritenideo transverso), oblique interarytenoid (interaritenideo oblicuo), thyroarytenoid (tiroaritenideo), intrinsic laryngeal muscles (músculos intrínsecos de la laringe); los cuales se combinaron con el término fiber type (tipo de fibra), mediante el booleano and. Adicionalmente, se incluyó el concepto myosin heavy chain (cadena pesada de miosina), el que se asoció a laryngeal muscles (músculos laríngeos), gracias al booleano and. Finalmente, en la búsqueda realizada en Pubmed, se utilizó el booleano not para eliminar el término MESH dietary fiber.

Criterios de elegibilidad

Fueron incluidos diseños experimentales y observacionales. Esto comprende a estudios de tipo ensayo clínico, cuasi-experimentales, descriptivos y descriptivos analíticos. Simultáneamente, no se consideraron límites con respecto a la fecha de publicación de los artículos. Con respecto al idioma, se incluyeron aquellos trabajos escritos en español, inglés y

portugués que tuviesen su abstract en inglés y cuyo contenido tenga relación con el objetivo de esta investigación. También, se consideraron estudios realizados en seres humanos, cuyo rango de edad fluctuó entre 1 mes y 99 años. Asimismo, fueron incorporados exclusivamente seres humanos cuyos músculos laríngeos se encontraron indemnes, incluyendo así, a estudios que analizaron músculos laríngeos declarados explícitamente como sanos o sin alguna alteración morfológica o metabólica.

Se han elegido todos aquellos trabajos donde el análisis se realizó mediante técnicas morfológicas, histoquímicas, bioquímicas e inmunohistoquímicas en los músculos intrínsecos de la laringe (cricotiroideo, tiroaritenideo, interaritenideo -rama oblicua y transversa-, y cricoaritenideo lateral y posterior).

El proceso de búsqueda fue realizado en inglés por el autor de esta revisión, donde, mediante la revisión del título y del abstract se permitió la inclusión de artículos que estuvieran en los idiomas previamente indicados.

En total, se efectuaron dos búsquedas independientes, la primera en el período del 7 y 8 marzo del año 2022 y la segunda en los días 12 y 13 de marzo del año 2022. En ambas etapas la búsqueda se realizó con las mismas estrategias previamente indicadas. El porcentaje de precisión entre ambas búsquedas fue del 92,9%. Se le solicitó a un revisor externo e independiente con 7 años en docencia universitaria en el área de patología y rehabilitación vocal, examinar los artículos en discordia y se acordó incluirlos.

En cada búsqueda, los resultados obtenidos se guardaron en una hoja de Excel, donde, posteriormente, se contrastaron. La eliminación de registros duplicados y la revisión de cada artículo se hizo de forma manual por el autor de esta revisión.

Extracción de los datos

De los artículos seleccionados se extrajo el nombre de quienes realizaron la investigación, año de publicación, muestra (sexo, edad y tamaño), tipo de estudio, metodología empleada (procedimientos generales), principales resultados y nivel de evidencia. La información indicada se extrajo de forma manual y se ordenó por año en una planilla del programa Excel, versión 2019.

Se utilizaron los niveles de evidencia propuestos por el Joanna Briggs Institute (JBI) (Pearson et al., 2005) para la evaluación de cada artículo.

RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos según criterios de búsqueda, nivel de evidencia, características de los participantes, músculos estudiados, técnica de análisis y tipos de fibras y de MyHC de los músculos intrínsecos laríngeos.

Resultados de la búsqueda

Se encontraron 251 estudios, los que se redujeron a un total de 219 luego de eliminar los registros duplicados. Posteriormente, mediante la revisión del título y el abstract, se seleccionaron 56 trabajos para elegibilidad. De estos, se excluyeron 44 artículos (treinta fueron trabajos realizados en animales, dos estaban

escritos en idiomas distintos a los establecidos, cuatro estudiaron a seres humanos con patologías que afectaban a los músculos intrínsecos, uno era una revisión de la literatura y siete tenían un objetivo distinto al definido en esta investigación). De esta forma, se incluyeron 12 estudios para ser analizados en esta revisión. En la figura 1 se encuentra el diagrama tipo PRISMA que detalla el proceso de búsqueda y elegibilidad de los artículos.

Nivel de evidencia

En relación al nivel de evidencia, el 100 % de los trabajos elegidos se encontró en la categoría de estudios observacionales/descriptivos de tipo 4b (ver tabla 2).

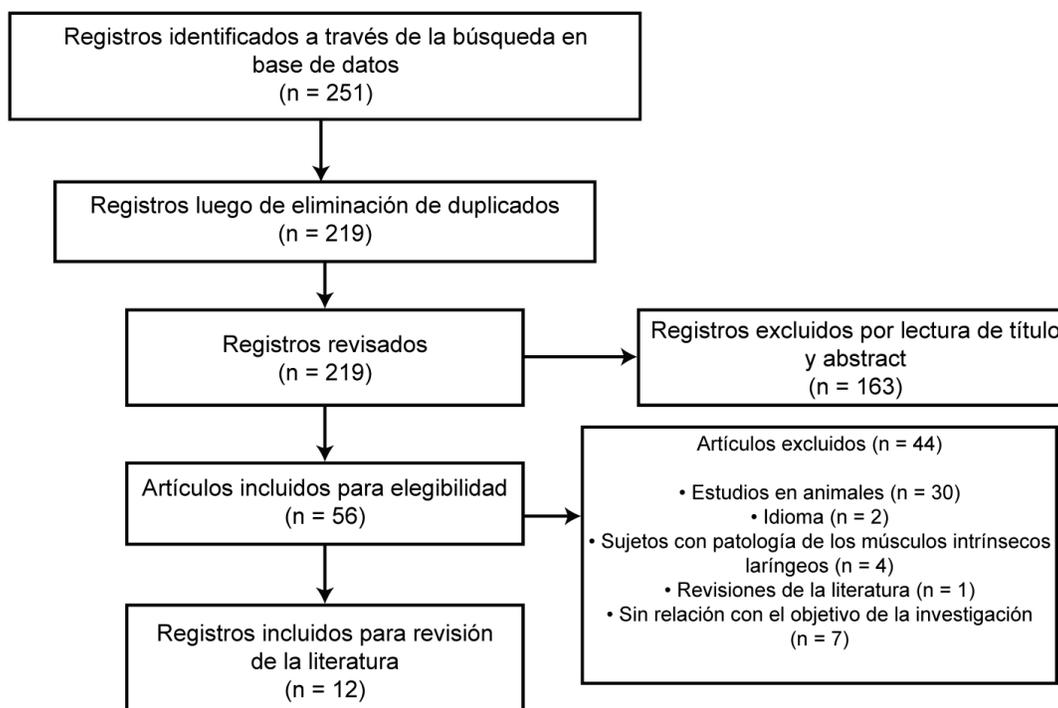


Figura 1. Diagrama de selección de artículos.

Características de los participantes

Se contabilizaron un total de 102 participantes (tabla 2), cuya edad fluctuó entre los 7 meses y 84 años, sin embargo, este dato no fue entregado en una de las investigaciones (Teig et al., 1978). Con respecto al sexo de los participantes, el 55.8 % eran hombres y el 25.4 % mujeres. No obstante, en tres de los estudios analizados no se indicó esta información (Li et al., 2004; Périé et al., 2000; Wu et al., 2000).

De los seres humanos estudiados, el 50 % eran personas vivas, cuyas laringes fueron extraídas como parte del tratamiento para el cáncer laríngeo. En estas personas, los músculos intrínsecos se encontraban sanos (Asanau et al., 2011; Claassen & Werner, 1992; Teig et al., 1978; Tellis et al., 2004; Toniolo et al., 2008; Wu et al., 2000). El 50 % restante eran personas fallecidas con laringes sanas y cuya data de defunción fue inferior a las 30 horas con respecto a la toma de muestra (Han et al., 1999; Li et al.,

2004; López et al., 2011; Périé et al., 2000; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013) (ver tabla 2).

Músculos estudiados

En el 50 % de los estudios se analizó la distribución de fibras de los músculos intrínsecos de la laringe (Asanau et al., 2011; Claassen & Werner, 1992; Han et al., 1999; López et al., 2011; Teig et al., 1978; Tellis et al., 2004), mientras que en el 50 % restante se describieron las isoformas de MyHC existentes en el interior de estos músculos (Li et al., 2004; Périé et al., 2000; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Toniolo et al., 2008; Wu et al., 2000).

En el 83 % de los trabajos se analizó al músculo tiroaritenoido (Claassen & Werner, 1992; Han et al., 1999; Li et al., 2004; López et al., 2011; Périé et al., 2000; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Teig et al., 1978; Toniolo et al., 2008; Wu et al., 2000), en el 66.7 % al músculo cricoaritenoido posterior (Asanau et al., 2011; Claassen & Werner, 1992; Li et al., 2004; Périé et al., 2000; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Toniolo et al., 2008; Wu et al., 2000), en el 41.7 % al músculo cricoaritenoido lateral (Claassen & Werner, 1992; Li et al., 2004; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Teig et al., 1978) en el 50 % al músculo interaritenoido (Claassen & Werner, 1992; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Teig et al., 1978; Tellis et al., 2004; Toniolo et al., 2008) y en el 41.7 % al músculo cricotiroideo (Claassen & Werner, 1992; Shiotani et al., 1999; Smerdu & Cvetko, 2013; Teig et al., 1978; Toniolo et al., 2008) (ver tabla 2).

Técnicas de análisis

En el 100 % de los estudios analizados se utilizaron métodos morfológicos, histoquímicos, bioquímicos e

inmunohistoquímicos para el estudio de las fibras e isoformas de MyHC de cada uno de los músculos intrínsecos de la laringe (ver tabla 2).

Tipos de fibras y de MyHC de los músculos laríngeos

En general, múltiples fibras se observaron en los músculos intrínsecos de la laringe, dentro de estas, se encontraron las de tipo I, II, IIA y IIX/IIB. Mientras que, con respecto a las MyHC, se presenciaron las isoformas MyHC-I, MyHC-IIA, MyHC-IIX y MyHC-Fetal (Périé et al., 2000). A su vez, se evidenciaron fibras e isoformas específicas, como MyHC-L (Toniolo et al., 2008), MyCH-IIB (Smerdu & Cvetko, 2013) y fibras tónicas lentas (Han et al., 1999) (ver tabla 3).

El único abductor de los pliegues vocales, el cricoaritenoido posterior, expresó un notorio predominio de fibras tipo I y tipo IIA (Asanau et al., 2011; Wu et al., 2000). Esta configuración fue similar en el músculo cricotiroideo (Shiotani et al., 1999; Wu et al., 2000). En ambos músculos se pudo observar, en menor grado, isoformas rápidas, como MyHC-IIX, MyHC-L (Toniolo et al., 2008) y MyHC-IIB (Smerdu & Cvetko, 2013) (ver tabla 3).

Con respecto a los músculos aductores de los pliegues vocales, el músculo tiroaritenoido expresó un leve predominio de fibras tipo I y IIA (Claassen & Werner, 1992; López et al., 2011). Además, manifestó fibras tónicas lentas (Han et al., 1999) e isoformas MyHC-L (Toniolo et al., 2008), y MyHC-IIB (Smerdu & Cvetko, 2013). A su vez, el músculo cricoaritenoido lateral presentó mayor concentración de fibras tipo II (Teig et al., 1978), mientras que en el músculo interaritenoido predominaron las fibras tipo I y IIA (Tellis et al., 2004; Toniolo et al., 2008) (ver tabla 3).

Tabla 2. Características generales de los estudios revisados.

| Autores / Año de estudio | Diseño de investigación / Nivel de evidencia | Características de los participantes | | | Principales procedimientos |
|--------------------------|--|--------------------------------------|------------|------------------------------|--|
| | | Edad (años)* | Sexo | Total de muestras estudiadas | |
| Teig et al., 1978 | Descriptivo/4b | N.I. | 7 H | 7 | Se diseccionaron laringes de personas sanas o con carcinoma unilateral (los músculos explorados se encontraban indemnes). Se examinaron los músculos TA, CT, IA y CAL. Cada músculo se dividió en ocho pedazos, los que fueron congelados a - 85 °C. Se cortaron secciones de 16 µm y, mediante técnicas histoquímicas, se analizó el tipo de fibra existente. |
| Claassen y Werner, 1992 | Descriptivo/4b | H: 45 a 70 | 7 H 4 M | 11 | Se examinaron 36 músculos intrínsecos sanos de personas con cáncer laríngeo: TA (9), CT posterior (11), IA (8), CAL (4) y CT (4). Una vez realizada la laringectomía total, se recolectaron los músculos a analizar y se |

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|--|-------------|----|--|
| | | M: 39 a 72 | | | almacenaron a 5 °C por un tiempo de 3 horas. Se formaron segmentos de 10 µm, los que, a través de técnicas histoquímicas, exhibieron el contenido de fibras presente en su interior. |
| Han et al., 1999 | Descriptivo/4b | 19 a 70 | 5 H 2 M | 7 | Se analizaron muestras cadavéricas de laringes sanas. La extracción de las muestras fue realizada de 5 a 12 horas luego de la defunción. Posteriormente, las muestras fueron congeladas a -70°C y a continuación, separadas en 12 grupos. El único músculo examinado fue el TA. |
| Shiotani et al., 1999 | Descriptivo/4b | 45 a 78 | 5 H 1 M | 6 | Se estudiaron laringes de personas sanas cuya data de fallecimiento no superase las 24 horas. Se examinaron los músculos TA (VOC), CAL, CAP, IA y CT. A través de pruebas inmunohistoquímicas se observó la composición sus MyHC. |
| Périé et al., 2000 | Descriptivo/4b | < 1 (7 meses) a 77 | N.I. | 5 | Se extrajeron los músculos TA y CAP de cadáveres con laringes indemnes, cuya fecha de defunción fue inferior a las 30 horas. Las muestras se congelaron a -80 °C. A través de electroforesis se observó la composición de las MyHC. |
| Wu et al., 2000 | Descriptivo/4b | 60 a 65 | N.I. | 9 | Se extrajeron laringes de personas con carcinoma unilateral. Se examinaron los músculos CAP y TA del lado sano. Se dividió el CAP en un segmento horizontal y otro oblicuo, y el TA en uno medial y en otro lateral. Las muestras fueron almacenadas a -20 °C. Luego se microdisecionaron 40 fibras y se examinó, mediante pruebas histoquímicas, la composición de sus de MyHC. |
| Li et al., 2004 | Descriptivo/4b | 55 a 75 | N.I. | 5 | Se observaron los músculos TA, CAP y CAL de seres humanos sanos cuya data de defunción fue menor a 24 horas. Las muestras fueron almacenadas a -80 °C. Se realizó análisis histoquímico para determinar la expresión de fibras IIX y IIB. |
| Tellis et al., 2004 | Descriptivo/4b | \bar{x} = 68 | 4 H 1 M | 5 | Se extrajo el músculo IA sano de personas con cáncer laríngeo. Luego de la laringectomía las muestras fueron almacenadas a -70 °C para, posteriormente, seccionar cada una en cortes de 10 µm. Se buscó determinar, mediante análisis histoquímico, el tipo de fibra existente en este músculo. |
| Toniolo et al., 2008 | Descriptivo/4b | 55 a 75 | 11 H 3 M | 14 | Se estudiaron los músculos intrínsecos sanos (TA, VOC, CT, IA y CAP) de personas con diagnóstico de cáncer laríngeo. El análisis realizado se llevó a cabo mediante electroforesis. |
| Asanau et al., 2011 | Descriptivo/4b | \bar{x} = 52 a 84 | 8 H 9 M | 17 | Fue analizado el músculo CAP sano de personas con diagnóstico de cáncer laríngeo. Se dividió el músculo en una rama horizontal y otra vertical. Se realizaron cortes de 10 µm, los que fueron analizados mediante técnicas histoquímicas e inmunohistoquímicas. |
| López et al., 2011 | Descriptivo/4b | H: \bar{x} = 52 M: \bar{x} = 60 | 6 H 4 M | 10 | Se extrajo el músculo VOC de personas que presentaron laringes sanas. Posteriormente, este se seccionó transversalmente en cortes de 7 mm y luego, en segmentos de 1 mm. Cada uno de estos fragmentos se compararon entre sí, mediante técnicas inmunohistoquímicas, para reconocer el tipo de fibra que contiene el músculo. |
| Smerdu y Cvetko, 2013 | Descriptivo/4b | 29 a 61 | 4 H 2 M | 6 | Se extrajeron los músculos CT, CAP, CAL, VOC e IA de cadáveres sin lesiones laríngeas, cuya fecha de fallecimiento fue inferior a las 24 horas. Se utilizaron pruebas inmunohistoquímicas para determinar la expresión de sus MyHC. |

Abreviaciones: H, hombre/s; M, mujer/es; N.I, no indicado; µm, micrómetro; ° C, grados Celsius; mm, milímetro (s); MyHC, myosin heavy chain (cadena pesada de miosina); CT, cricotiroideo; TA, tiroaritenoides; IA, interaritenoides; CAL, cricoaritenoides lateral; CAP, cricoaritenoides posterior; VOC, rama vocalis del tiroaritenoides.

* En ninguno de los estudios analizados se incluye la desviación estándar.

Tabla 3. Distribución de fibras y de cadenas pesadas de miosina de los músculos intrínsecos de la laringe.*

| A. Tipos de fibras | | | Músculo | | | |
|--|--|--|---|--|---|--|
| Autores / año de estudio | TA | VOC | CAP | CAL | IA | CT |
| Teig et al., 1978 | I: 35 ± 11.6 % II: 65 ± 11.6 % | N.E. | I: 67 ± 8.6 % II: 33 ± 8.6 % | I: 40 ± 5.2 % II: 60 ± 5.2 % | I: 46 ± 8.7 % II: 54 ± 8.7 % | I: 47 ± 6.1 % II: 53 ± 6.1 % |
| Claassen y Werner, 1992 | I: 53 % IIA 36 % IIB: 5 % | N.E. | I: 67% IIA: 22% IIB: 5% | I: 42, 51, 55 y 55 %* IIA: 14, 27, 40 y 58 %* IIB: 0, 5, 22 y 31 %* | I: 56 % IIA: 37.5 % IIB: 1 % | I: 31, 39, 52 y 54 %* IIA: 45, 48, 55 y 68 %* IIB: 0, 1, 1 y 6 %* |
| Han et al., 1999 | N.E. | Presenta FTL ¹ . VOC superior: 40-50 % VOC inferior: 25-30% | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. |
| Tellis et al., 2004 | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | I: 35 % IIA: 45 % IIX: 15 % | N.E. |
| Asanau et al., 2011 | N.E. | N.E. | V: I: 61% II-IIA: 3% IIA: 36% | H: I: 75% I-IIA: 2% IIA: 23% | N.E. | N.E. |
| López et al., 2011 | Mujeres: I: 47 % IIA: 24.7 % IIX: 28.2 % | Hombres: I: 48 % IIA: 25.2 % IIX: 26.7 % | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. |
| B. Isoformas de cadena pesada de miosina | | | | | | |
| Shiotani et al., 1999 | MyHC-I: 13.5 ± 5.7 % MyHC-IIA: 49.2 ± 6.8 % MyHC-IIB: 37.3 ± 11.4 % | MyHC-I: 24.7 ± 6.9 % MyHC-IIA: 66.7 ± 10.6 % MyHC-IIB: 8.6 ± 7.2 % | MyHC-I: 36.3 ± 5.5 % MyHC-IIA: 53.5 ± 9.2 % MyHC-IIB: 10.2 ± 6.0 % | MyHC-I: 18.8 ± 7.3 % MyHC-IIA: 57.1 ± 6.6 % MyHC-IIB: 24.1 ± 8.1 % | MyHC-I: 21.5 ± 8.5 % MyHC-IIA: 57.9 ± 9.7 % MyHC-IIB: 20.6 ± 4.7 % | MyHC-I: 34.6 ± 9.1 % MyHC-IIA: 61.1 ± 9.7 % MyHC-IIB: 4.3 ± 7.5 % |
| Wu et al., 2000 | Medial: MyHC-I: 35 % MyHC-IIA: 55 % MyHC-IIX: 10 % | Lateral: MyHC-I: 25 % MyHC-IIA: 45 % MyHC-IIX: 30 % | N.E. | MyHC-I: 40 % MyHC-IIA: 45 % MyHC-IIX: 10 % | N.E. | N.E. |
| Périé et al., 2000 | Predominio de MyHC-I y MyHC-IIA. En menor | N.E. | Predominio de MyHC-I y MyHC-IIA. | N.E. | N.E. | N.E. |

| | grado se observó MyHC-IIB [†] . Presencia de MyHC-fetal en la persona de 7 meses. | | Escasez de MyHC-IIB [†] . Presencia de MyHC-fetal en la persona de 7 meses. | | | |
|-----------------------|---|--|---|--|--|---|
| Li et al., 2004 | MyHC-I: 25 % MyHC-IIA: 40 % MyHC-IIX: 30 % | MyHC-I: 25 % MyHC-IIA: 35 % MyHC-IIX: 40 % | MyHC-I: 65 % MyHC-IIA: 35 % | MyHC-I: 30 % MyHC-IIA: 35 % MyHC-IIX: 35 % | N.E. | MyHC-I 40 %: MyHC-IIA: 60 % |
| Toniolo et al., 2008 | MyHC-I: 35 % MyHC-IIA: 45 % MyHC-IIX: 20 % | MyHC-I: 35 % MyHC-IIA: 25 % MyHC-IIX: 30 % MyHC-L ² : 10 % | MyHC-I: 40 % MyHC-IIA: 30 % MyHC-IIX: 25 % MyHC-L ² : 3 % | N.E. | MyHC-I: 30 % MyHC-IIA: 35 % MyHC-IIX: 20 % MyHC-L ² : 10 % | MyHC-I: 40 % MyHC-IIA: 40 % MyHC-IIX: 15 % MyHC-L ² : 5 % |
| Smerdu y Cvetko, 2013 | Existencia de MyHC-IIB ³ | N.E. | Existencia de MyHC-IIB ³ | N.E. | N.E. | Existencia de MyHC-IIB ³ |

Abreviaciones: TA, tiroaritenosoideo; CAL, cricoaritenosoideo lateral; IA, interaritenosoideo; CAP, cricoaritenosoideo posterior; CT, cricotiroideo; VOC, vocalis; N.E; No Estudiado; MyHC: Myosin Heavy Chain (cadena pesada de miosina); V, Vertical; H, Horizontal.

* En el estudio original se entregaron solamente los valores individuales, debido a las pocas personas estudiadas para estos músculos.

† La investigación no entrega porcentajes o valores exactos sobre la distribución de las MyHC.

¹ FTL (fibras tónicas lentas): variante más especializada de las fibras tipo I regulares. Poseen mayor resistencia y capacidad aeróbica que las fibras mencionadas (Han et al., 1999).

² MyHC-L: se caracteriza tener una velocidad de contracción extremadamente veloz (superior a las fibras IIB) (Sciote et al., 2002).

³ MyHC-IIB: expresa un tipo de fibra altamente fatigable, potente y extremadamente veloz (se corresponden con las fibras IIB) (Smerdu & Cvetko, 2013).

DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue sintetizar la evidencia científica disponible sobre la distribución de fibras musculares y de isoformas de MyHC de los músculos intrínsecos de la laringe de seres humanos. Los hallazgos encontrados indican la presencia de diversos tipos de fibras y de isoformas de MyHC, las que permiten que los pequeños músculos intrínsecos de la laringe participen en actividades abductoras, aductoras y tensoras.

Dentro de los estudios analizados, es notoria la predominante cantidad de fibras y de MyHC fuertes y rápidas (IIX y MyHC-IIB) en los músculos tiroaritenosoideo (López et al., 2011), interaritenosoideo (Tellis et al., 2004) y cricoaritenosoideo lateral (Li et al., 2004). Se ha estimado que esta distribución específica permitiría que dichos músculos puedan responder a ajustes intensos, de corta duración y de alta velocidad (Staron, 1997). Estas particularidades funcionales se requerirían principalmente cuando se activa el reflejo protector de la vía aérea o en actividades como el carraspeo o la risa (Tellis et al., 2004). Asimismo, el músculo interaritenosoideo también se encuentra provisto de MyHC de mayor velocidad y potencia que las

anteriormente mencionadas (Toniolo et al., 2008). Esto permitiría entender su importante rol en aquellas tareas que conllevan adaptaciones veloces y bruscas, tal como sucede en los cambios de registros durante la fonación (Chhetri et al., 2014) o en la misma protección de la vía aérea (Fregosi & Ludlow, 2014). Por esta variante histoanatómica, se ha establecido que el músculo interaritenosoideo es uno de los principales aductores de los pliegues vocales (Toniolo et al., 2008).

Clásicamente, se ha indicado que el músculo cricoaritenosoideo posterior tiene un importante predominio de fibras tipo I, lo que era justificado por su actividad permanente en la abducción necesaria para la respiración (Rammage et al., 2000). En parte, esta aseveración es corroborada por la distribución observada en los distintos estudios analizados. En este caso, son las fibras lentas y las MyHC-I las que se activarían para mantener la abducción (Asanau et al., 2011). Sin embargo, los hallazgos analizados también indican la presencia de MyHC-IIB (Shiotani et al., 1999) y fibras rápidas (Claassen & Werner, 1992), las que le permitirían realizar el movimiento abductor velozmente durante la fonación o en el ejercicio (Toniolo et al., 2008). De esta forma, la

abducción como tal se llevaría a cabo con el componente rápido del músculo, mientras que la mantención de esta posición estaría dada por sus unidades lentas y resistentes a la fatiga (Asanau et al., 2011). No obstante, el proceso abductor no sería de exclusividad del cricoaritenioideo posterior. Se ha indicado que las fibras y MyHC rápidas que presenta el músculo cricotiroideo le permitirían complementar el trabajo abductor en condiciones especiales (Mathew et al., 1988; Shiotani et al., 1999; Wu et al., 2000). Esto se debería básicamente a la ventaja mecánica que ofrece este músculo durante su contracción, la que favorece la movilidad anterior-horizontal del cartílago tiroideo y beneficia a la separación de los pliegues vocales (Chhetri et al., 2014). Esta coactivación entre los músculos cricotiroideo y cricoaritenioideo posterior se produciría en inspiraciones profundas y forzadas (como en el ejercicio) o cuando existe algún grado de oclusión de la vía aérea (Toniolo et al., 2008).

Las fibras más fuertes y veloces del músculo tiroaritenioideo se encuentran primordialmente en su porción lateral (Wu et al., 2000), mientras que aquellas de mayor resistencia y, por lo mismo, más preparadas para tolerar la fatiga, se encuentran en la región central o en la porción denominada vocalis (Han et al., 1999). Se ha estimado que el grado de resistencia que existe en la región central del músculo tiroaritenioideo se debe específicamente a la presencia de fibras tónicas lentas y a las MyHC-I y IIA (Li et al., 2004; Toniolo et al., 2008), las que, por sus características, permitirían satisfacer las demandas fonatorias diarias del ser humano (Sanders et al., 1998). Si los requerimientos aumentan y se solicita, por ejemplo, mayor intensidad vocal, serían las fibras tipo IIA las que se reclutan y ejercen su función con mayor predominio (Sandage & Smith, 2017). Mientras que, si se requiere ascender en la escala musical en modalidad de belting, el compartimento ubicado en la porción superior del músculo vocalis complementaría sus funciones con las fibras tipo I/IIA de los músculos cricotiroideo, cricoaritenioideo lateral e interaritenioideo (Shiotani et al., 1999; Tellis et al., 2004).

Tradicionalmente, el estudio sobre la distribución de las fibras de los músculos intrínsecos laríngeos se ha efectuado con mayor frecuencia en animales y algunos textos suelen recoger estos datos para inferir la histoanatomía humana (Andrade & McLoon, 2013). En general, los músculos interaritenioideo y cricoaritenioideo lateral poseen una distribución similar en los mamíferos, porque sus funciones básicas son semejantes (Schiaffino & Reggiani, 2011). Las grandes diferencias se advierten en los músculos cricotiroideo y tiroaritenioideo. En ratas y conejos, se ha observado sobre un 60 % de fibras tipo IIB en el músculo cricotiroideo y una proporción similar de fibras tipo IIX en el

músculo tiroaritenioideo (Rhee et al., 2004; Rhee & Hoh, 2008). Se cree que estas distribuciones se relacionan con la adaptación neuromotora que implican las elevadas frecuencias respiratorias de algunos mamíferos (Hoh, 2005). A su vez, en animales la presencia de fibras lentas es muy baja; en ratas se ha encontrado un 0 % en el músculo tiroaritenioideo y un exiguo 19 % en el músculo cricotiroideo (Rhee et al., 2004). En general, las distribuciones de fibras lentas para los animales suelen fluctuar entre el 4% y 43 %, donde las mayores proporciones están en los babuinos (Rhee & Hoh, 2008). Se ha estimado que la mayor distribución de fibras híbridas (IIA) y lentas en seres humanos, se debería principalmente a la demanda vocal, la que ha permitido una adaptación desde lo rápido hacia lo lento, para responder satisfactoriamente a actividades como el canto, la actuación o las conversaciones de la vida diaria (Rhee & Hoh, 2008; Titze, 2017).

Clínicamente, los resultados obtenidos permiten dirigir con mayor precisión la carga durante la ejercitación o en el entrenamiento de los músculos fonatorios. Esto se puede llevar a cabo gracias al entendimiento de las distintas vías energéticas que predominan durante la producción de la voz, donde (según los últimos hallazgos), habría mayor preponderancia aeróbica, oxidativa o mitocondrial (Lin et al., 2017; Nanjundeswaran et al., 2017; Tellis et al., 2011). En este caso, las fibras tipo I, IIA y las cadenas lentas son las que se activarían preferentemente para realizar la actividad muscular propia de la fonación (Johnson & Sandage, 2019). De este modo, el proceso de entrenamiento de estos músculos, tendría como objetivo la generación de ATP (adenosín trifosfato) de forma aeróbica, mediante la prescripción de entrenamientos continuos o interválicos, tal como sucede en deportistas, como los maratonistas (Groennebaek & Vissing, 2017).

Las repercusiones de lo anterior implicarían, por parte del clínico, reconocer las adecuadas cargas de trabajo que adapten y optimicen el funcionamiento de las fibras oxidativas de los músculos fonatorios. Por ende, es adecuado proponer programas de entrenamiento vocal que favorezcan la extracción de oxígeno dentro del músculo, el aumento y tamaño mitocondrial y el desarrollo de la densidad capilar, entre otros (Johnson & Sandage, 2019; Snell et al., 2020). Esto supone entender que cada tono que se utiliza en terapia (su intensidad y duración), implica respuestas metabólicas que pueden conducir a la sobrecarga patológica, a la mantención del rendimiento o a la adaptación; por lo que su aplicación debe ser razonada y guiada por disciplinas como la fisiología del ejercicio y las ciencias del entrenamiento (Delprado-Aguirre, 2020; Fuentes Aracena, 2018; Johnson & Sandage, 2019).

Las investigaciones analizadas corresponden a trabajos descriptivos con un insuficiente nivel de evidencia, sin embargo, la dificultad en la adquisición de las muestras impide su randomización, y los periodos de conservación requeridos dificultan su tratamiento en el tiempo. Por ello, este tipo de diseños son atingentes con la economía y accesibilidad que se necesitan para el manejo de estructuras frágiles y poco accesibles, como las fibras musculares (López et al., 2011).

Las mejoras tecnológicas que se han producido con el paso de los años, los periodos de conservación de las muestras y la ausencia de comprensión sobre la vida vocal de las personas examinadas, ha llevado a que las distribuciones observadas difieran entre sí (Wu et al., 2000). A pesar de lo anterior, el avance de la tecnología es considerado como el aspecto más sensible al momento de observar este tipo de variaciones. Lo anterior se ha reportado en otras regiones del cuerpo humano, donde las recientes técnicas de análisis han logrado mostrar nuevas formas de respuesta y de adaptación de las fibras lentas al ejercicio (Deshmukh et al., 2021). De este modo, los hallazgos encontrados en estudios realizados entre los años '70 y '90 se deben considerar como parte del desarrollo de la temática y no como las distribuciones más cercanas a la realidad (Talbot & Maves, 2016).

Esta revisión contó con una serie de limitaciones, las que incluyen a la escasa cantidad de artículos, la omisión de información que presentaron algunos trabajos; tales como la edad de los participantes o su experiencia vocal (Li et al., 2004; Périé et al., 2000; Teig et al., 1978; Wu et al., 2000) y la insuficiente claridad en la expresión de algunos resultados (Claassen & Werner, 1992). Finalmente, esta revisión fue efectuada solo por un investigador, lo que afecta a la validez de la búsqueda realizada e impide reducir la probabilidad de sesgo de selección.

Es necesario realizar revisiones narrativas y sistemáticas sobre procesos vinculados a las fibras musculares, tales como la bioenergética de los músculos fonatorios o la prescripción del ejercicio vocal, según la fisiología del ejercicio. De este modo, generar propuestas que permitan la aplicación de la fisiología muscular (tomando como base a la fibra y su funcionamiento) en la intervención y entrenamiento vocal.

CONCLUSIÓN

Según la evidencia disponible, los músculos intrínsecos de la laringe de los seres humanos presentan fibras tipo tónicas lentas, I, IIA, IIX e isoformas MyHC-I, MyHC-IIA, MyHC-IIX, MyHC-L y MyHC-IIB. Su estructura, a nivel de fibras, se ha adaptado

debido a las funciones que con el tiempo ha adquirido la laringe. De esta forma, el músculo tiroaritenideo presenta una alta especialización que le permite participar predominantemente en la producción de la voz; los músculos cricotiroideo y cricoaritenideo posterior exhiben fibras e isoformas veloces que se activan durante la respiración, y el músculo interaritenideo posee una histoanatomía específica para actuar durante la protección de la vía aérea.

REFERENCIAS

- Agten, A., Verbrugge, J., Stevens, S., Eijnde, B. O., Timmermans, A., & Vandenebeele, F. (2021). High Intensity Training Increases Muscle Area Occupied by Type II Muscle Fibers of the Multifidus Muscle in Persons with Non-Specific Chronic Low Back Pain: A Pilot Trial. *Applied Sciences*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/app11083306>
- Andrade, F. H., & McLoon, L. K. (2013). The Craniofacial Muscles: Arguments for Uniqueness. En L. K. McLoon & F. Andrade (Eds.), *Craniofacial Muscles: A New Framework for Understanding the Effector Side of Craniofacial Muscle Control* (pp. 3–7). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4466-4_1
- Asanau, A., Timoshenko, A. P., Prades, J.-M., Galusca, B., Martin, C., & Féasson, L. (2011). Posterior Cricoarytenoid Bellies: Relationship Between Their Function and Histology. *Journal of Voice*, 25(2), e67–e73. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.11.004>
- Braithwaite, J. P., & Al Khalili, Y. (2023). Physiology, Muscle Myocyte. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544225/>
- Carroll, R. G. (Ed.). (2007). *Elsevier's integrated physiology*. Mosby. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-04318-2.50001-7>
- Chhetri, D. K., Neubauer, J., Sofer, E., & Berry, D. A. (2014). Influence and interactions of laryngeal adductors and cricothyroid muscles on fundamental frequency and glottal posture control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 2052–2064. <https://doi.org/10.1121/1.4865918>
- Cielo, C. A., Elias, V. S., Brum, D. M., & Ferreira, F. V. (2011). Músculo tiroaritenideo e som basal: Uma revisão de literatura. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, 16, 362–369. <https://doi.org/10.1590/S1516-80342011000300020>
- Claassen, H., & Werner, J. A. (1992). Fiber differentiation of the human laryngeal muscles using the inhibition reactivation myofibrillar ATPase technique. *Anatomy and Embryology*, 186(4), 341–346. <https://doi.org/10.1007/BF00185983>
- Curry, J. W., Hohl, R., Noakes, T. D., & Kohn, T. A. (2012). High oxidative capacity and type IIX fibre content in springbok and fallow deer skeletal muscle suggest fast sprinters with a resistance to fatigue. *Journal of Experimental Biology*, 215(22), 3997–4005. <https://doi.org/10.1242/jeb.073684>
- Delprado-Aguirre, F. (2020). Fisiología del ejercicio en la práctica de la vocología colombiana: Una necesidad. *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la Salud*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.46634/riics.31>
- Deshmukh, A. S., Steenberg, D. E., Hostrup, M., Birk, J. B., Larsen, J. K., Santos,

- A., Kjøbsted, R., Hingst, J. R., Schéele, C. C., Murgia, M., Kiens, B., Richter, E. A., Mann, M., & Wojtaszewski, J. F. P. (2021). Deep muscle-proteomic analysis of freeze-dried human muscle biopsies reveals fiber type-specific adaptations to exercise training. *Nature Communications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20556-8>
- Fregosi, R. F., & Ludlow, C. L. (2014). Activation of upper airway muscles during breathing and swallowing. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 116(3), 291–301. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00670.2013>
- Fuentes Aracena, C. (2018). *La carga vocal: Definición, fonotrauma y prescripción*. Editorial Brujas.
- Graziotti, G. H., Ríos, C. M., & Rivero, J.-L. L. (2001). Evidence for Three Fast Myosin Heavy Chain Isoforms in Type II Skeletal Muscle Fibers in the Adult Llama (Lama glama). *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 49(8), 1033–1044. <https://doi.org/10.1177/002215540104900811>
- Groennebaek, T., & Vissing, K. (2017). Impact of Resistance Training on Skeletal Muscle Mitochondrial Biogenesis, Content, and Function. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2017.00713>
- Han, Y., Wang, J., Fischman, D. A., Biller, H. F., & Sanders, I. (1999). Slow tonic muscle fibers in the thyroarytenoid muscles of human vocal folds; a possible specialization for speech. *The Anatomical Record*, 256(2), 146–157. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0185\(19991001\)256:2<146::AID-AR5>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0185(19991001)256:2<146::AID-AR5>3.0.CO;2-8)
- Hody, S., Croisier, J.-L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in Physiology*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Hoh, J. F. Y. (2005). Laryngeal muscle fibre types. *Acta Physiologica Scandinavica*, 183(2), 133–149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-201X.2004.01402.x>
- Johnson, A. M., & Sandage, M. J. (2019). Exercise Science and the Vocalist. *Journal of Voice*, 35(3), 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.09.007>
- Karp, J. R. (2001). Muscle Fiber Types and Training. *Strength & Conditioning Journal*, 23(5), 21. https://journals.lww.com/nsca-scj/Citation/2001/10000/Muscle_Fiber_Types_and_Training.4.aspx
- Li, Z.-B., Lehar, M., Nakagawa, H., Hoh, J. F. Y., & Flint, P. W. (2004). Differential expression of myosin heavy chain isoforms between abductor and adductor muscles in the human larynx. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 130(2), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2003.09.009>
- Lieber, R. L., Roberts, T. J., Blemker, S. S., Lee, S. S. M., & Herzog, W. (2017). Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0318-y>
- Lievens, E., Klass, M., Bex, T., & Derave, W. (2020). Muscle fiber typology substantially influences time to recover from high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 128(3), 648–659. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00636.2019>
- Lin, T.-C., Chen, J.-C., Liu, C.-H., Lee, C.-Y., Tsou, Y.-A., & Chuang, C.-C. (2017). A feasibility study on non-invasive oxidative metabolism detection and acoustic assessment of human vocal cords by using optical technique. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16807-2>
- López, M. J., Zárate, M., Cantín, M., Zavando, D., & Suazo Galdames, I. (2011). Immunohistochemical Fiber Type Profile in the Human Vocal Muscle. *International Journal of Morphology*, 29(4), 1158–1161. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022011000400014>
- Mathew, O. P., Woodson, G. E., Sant'Ambrogio, F. B., & Sant'Ambrogio, G. (1988). Respiratory Activity of the Cricothyroid Muscle. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*, 97(6), 680–687. <https://doi.org/10.1177/000348948809700619>
- Nanjundeswaran, C., VanSwearingen, J., & Abbott, K. V. (2017). Metabolic Mechanisms of Vocal Fatigue. *Journal of Voice*, 31(3), 378.e1-378.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.09.014>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pearson, A., Wiechula, R., Court, A., & Lockwood, C. (2005). The JBI model of evidence-based healthcare. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 3(8), 207–215. <https://doi.org/10.1111/j.1479-6988.2005.00026.x>
- Périé, S., Agbulut, O., Guily, J. L. S., & Butler-Browne, G. S. (2000). Myosin Heavy Chain Expression in Human Laryngeal Muscle Fibers: A Biochemical Study. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 109(2), 216–220. <https://doi.org/10.1177/000348940010900218>
- Pette, D., & Staron, R. S. (2000). Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microscopy Research and Technique*, 50(6), 500–509. [https://doi.org/10.1002/1097-0029\(20000915\)50:6<500::AID-JEMT7>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1097-0029(20000915)50:6<500::AID-JEMT7>3.0.CO;2-7)
- Rammage, L., Morrison, M., & Nichol, H. (2000). *Management of the Voice and Its Disorders* (2^a ed.). Cengage Learning.
- Rhee, H. S., & Hoh, J. F. Y. (2008). Immunohistochemical Analysis of Myosin Heavy Chain Expression in Laryngeal Muscles of the Rabbit, Cat, and Baboon. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 56(10), 929–950. <https://doi.org/10.1369/jhc.2008.951756>
- Rhee, H. S., Lucas, C. A., & Hoh, J. F. Y. (2004). Fiber types in rat laryngeal muscles and their transformations after denervation and reinnervation. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry: Official Journal of the Histochemistry Society*, 52(5), 581–590. <https://doi.org/10.1177/002215540405200503>
- Sandage, M. J., & Smith, A. G. (2017). Muscle Bioenergetic Considerations for Intrinsic Laryngeal Skeletal Muscle Physiology. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(5), 1254–1263. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-S-16-0192
- Sanders, I., Han, Y., Wang, J., & Biller, H. (1998). Muscle spindles are concentrated in the superior vocalis subcompartment of the human thyroarytenoid muscle. *Journal of Voice*, 12(1), 7–16. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(98\)80070-2](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(98)80070-2)
- Schiaffino, S., & Reggiani, C. (2011). Fiber Types in Mammalian Skeletal Muscles. *Physiological Reviews*, 91(4), 1447–1531. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2010>

- Sciote, J. J., Morris, T. J., Horton, M. J., Brandon, C. A., & Rosen, C. (2002). Unloaded Shortening Velocity and Myosin Heavy Chain Variations in Human Laryngeal Muscle Fibers. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 111(2), 120–127. <https://doi.org/10.1177/000348940211100203>
- Sharma, A., Agarwal, M., Kumar, A., Kumar, P., Saini, M., Kardon, G., & Mathew, S. J. (2018). *Myosin Heavy Chain-embryonic is a crucial regulator of skeletal muscle development and differentiation* (p. 261685). bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/261685>
- Shiotani, A., Westra, W. H., & Flint, P. W. (1999). Myosin Heavy Chain Composition in Human Laryngeal Muscles. *The Laryngoscope*, 109(9), 1521–1524. <https://doi.org/10.1097/00005537-199909000-00030>
- Smerdu, V., & Cvetko, E. (2013). Myosin Heavy Chain-2b Transcripts and Isoform Are Expressed in Human Laryngeal Muscles. *Cells Tissues Organs*, 198(1), 75–86. <https://doi.org/10.1159/000351293>
- Snell, E. N., Plexico, L. W., Weaver, A. J., & Sandage, M. J. (2020). Quantifying Vocal Power: Correlation of Whole-Body Anaerobic Power to Vocal Function Measures. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(8), 2597–2608. https://doi.org/10.1044/2020_JSLHR-20-00110
- Staron, R. S. (1997). Human Skeletal Muscle Fiber Types: Delineation, Development, and Distribution. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(4), 307–327. <https://doi.org/10.1139/h97-020>
- Talbot, J., & Maves, L. (2016). Skeletal muscle fiber type: Using insights from muscle developmental biology to dissect targets for susceptibility and resistance to muscle disease. *WIREs Developmental Biology*, 5(4), 518–534. <https://doi.org/10.1002/wdev.230>
- Teig, E., Dahl, H. A., & Thorkelsen, H. (1978). Actomyosin Atpase Activity of Human Laryngeal Muscles. *Acta Oto-Laryngologica*, 85(3–4), 272–281. <https://doi.org/10.3109/00016487809111935>
- Tellis, C. M., Rosen, C. A., Carroll, T. L., Fierro, M., & Sciote, J. J. (2011). In vivo oxygen consumption and hemoglobin levels in human thyroarytenoid muscle. *The Laryngoscope*, 121(11), 2429–2434. <https://doi.org/10.1002/lary.22225>
- Tellis, C. M., Thekdi, A., Rosen, C., & Sciote, J. J. (2004). Anatomy and Fiber Type Composition of Human Interarytenoid Muscle. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 113(2), 97–107. <https://doi.org/10.1177/000348940411300203>
- Titze, I. R. (2017). Human Speech: A Restricted Use of the Mammalian Larynx. *Journal of Voice*, 31(2), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.06.003>
- Toniolo, L., Macchi, V., Porzionato, A., Paoli, A., Marchese-Ragona, R., De Caro, R., & Reggiani, C. (2008). Myosin heavy chain isoforms in human laryngeal muscles: An expression study based on gel electrophoresis. *International Journal of Molecular Medicine*, 22(3), 375–379. https://doi.org/10.3892/ijmm_00000033
- Vikne, H., Strøm, V., Pripp, A. H., & Gjøvaag, T. (2020). Human skeletal muscle fiber type percentage and area after reduced muscle use: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(8), 1298–1317. <https://doi.org/10.1111/sms.13675>
- Wu, Y. Z., Crumley, R. L., Armstrong, W. B., & Caiozzo, V. J. (2000). New Perspectives About Human Laryngeal Muscle: Single-Fiber Analyses and Interspecies Comparisons. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 126(7), 857–864. <https://doi.org/10.1001/archotol.126.7.857>