

Patrón electromiográfico global de la laringe humana.

Función de las conexiones laríngeas.

Tesis doctoral



Katarzyna Alicja Kolanczak

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
FACULTAT DE MEDICINA

Departament de Cirurgia
Unitat Docent Sant Pau

Patrón electromiográfico global de la laringe humana.

Función de las conexiones laríngeas.

Tesis doctoral presentada por Katarzyna Alicja Kolanczak
para optar al grado de doctor.

2013

Don Miguel Quer i Agustí, catedrático de Otorrinolaringología de la
Universidad Autónoma de Barcelona

Certifica:

Que la tesis doctoral

“Patrón electromiográfico global de la laringe humana.

Función de las conexiones laríngeas.”

presentada por Katarzyna Alicja Kolanczak ha sido realizada bajo la dirección conjunta del Dr. Cesar Orús i Dotú y yo mismo y reúne todos los requisitos necesarios para su tramitación, presentación y posterior defensa delante del tribunal correspondiente.

Barcelona a 28 de febrero de 2013

Firmado:

Prof. Miquel Quer i Agustí

Dr. César Orús i Dotú

*Vivir no es sólo existir,
sino existir y crear,
saber gozar y sufrir
y no dormir sin soñar.
Descansar, es empezar a
morir.*

Gregorio Marañón

A mí Familia

- ÍNDICE -

1. INTRODUCCIÓN	13
o Reseñas históricas.....	15
o Patrón clásico de la inervación de la laringe.....	19
o Parálisis de la cuerda vocal.....	27
o Desarrollo de la inervación de la laringe humana en el período embrionario.....	33
o Descripción de la neuroanatomía actual de la laringe.....	35
o Los músculos intrínsecos de la laringe.....	43
o Reflejo glótico.....	59
o Experimentos animales.....	65
o Conceptos básicos de la electromiografía.....	67
2. HIPÓTESIS.....	85
3. OBJETIVOS.....	87
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	89
5. RESULTADOS.....	97
6. DISCUSIÓN.....	171
7. CONCLUSIONES.....	205
8. BIBLIOGRAFÍA.....	207
9. AGRADECIMIENTOS.....	217
10. RESUMEN.....	221

Desde hace años estamos experimentando un extraordinario progreso en todos los aspectos de nuestra vida. Las nuevas tecnologías nos permiten sustituir muchos de los órganos de nuestro cuerpo incluyendo los complicados trasplantes de la cara. En el campo de la otorrinolaringología, a pesar de todo el avance a nivel científico y técnico, todavía no podemos ofrecer al paciente la posibilidad del trasplante de laringe garantizando su funcionalidad. De hecho, ni siquiera somos capaces de explicar con exactitud, porque después de la misma lesión del nervio recurrente la cuerda vocal puede adoptar diferentes posiciones.

La dificultad para conseguir buenos resultados, tanto en el trasplante de la laringe, como en los intentos de reinervación de la cuerda vocal paralizada se debe a la complejidad de la coordinación entre las distintas funciones de la laringe. La protección de las vías respiratorias bajas, asegurar el paso de aire y la conquista de la fonación como el último escalón de la evolución marcan el camino desde la respuesta totalmente refleja e involuntaria hacia la creación de una respuesta de inicio voluntario de la fonación. La integración de todas estas funciones requiere un sistema nervioso muy complejo.

La anatomía clásica describe que la laringe está inervada por el nervio laríngeo superior con sus dos ramas y el nervio recurrente ¹, sin embargo, este modelo de inervación parece ser insuficiente para explicar la biomecánica de la laringe. Por este motivo, desde hace siglos existe el afán imparable por describir la neuroanatomía de la laringe con todos los detalles y por descubrir su implicación en cada una de las funciones.

En los últimos 100 años se han realizado muchos estudios anatómicos de los nervios laríngeos, que están revolucionando el concepto clásico de la neuroanatomía de la laringe. Entre los descubrimientos más destacados se encuentran los que han demostrado la existencia de diferentes patrones de conexiones entre los tres nervios laríngeos de forma ipsilateral y contralateral y que en definitiva podrían servir como fuente de inervación secundaria para los músculos. Sin embargo, teniendo en cuenta que el estudio anatómico no nos proporciona la información sobre la función de las

conexiones nerviosas (si es sensitiva, motora, mixta o vegetativa), ni sobre el sentido de las fibras nerviosas, se ha de recurrir a otras técnicas como la electromiografía. Esta herramienta se ha utilizado desde hace años en el diagnóstico y tratamiento de las alteraciones de la voz y permite estudiar la inervación de la laringe.

Se han publicado varios estudios electromiográficos en animales, que intentan establecer el patrón motor de la laringe centrándose en determinados nervios o músculos. En la actualidad existe solamente un estudio en humanos que valore el comportamiento electromiográfico de la musculatura laríngea tras estimulación directa de los nervios laríngeos ². El objetivo de esta tesis es hacer una primera aproximación al estudio global de la respuesta electromiográfica de la laringe, intentando establecer el papel que juegan las conexiones en la movilidad de la cuerda vocal.

A lo largo de millones de años de evolución nuestra especie desarrolló y perfeccionó el maravilloso don de la comunicación verbal a través de un órgano que desde la función protectora de las vías respiratorias fue modificándose y transformándose para adaptarse a la función fonatoria. La aparición del primer lenguaje simbólico basado en los sonidos, requirió cambios morfológicos de muchas estructuras, algunas de ellas probablemente muy anteriores al desarrollo de un cerebro lo suficientemente complejo como para pensar de modo simbólico. Hace unos 2 millones de años el Homo habilis utilizaba un lenguaje articulado muy rudimentario para transmitir los conocimientos que permitían la confección de bastos utensilios. La evolución siguió perfeccionando las estructuras y cuando aparece el Homo sapiens hace 195.000 años, este ya es capaz de producir sonidos claramente diferenciados y variados gracias a la localización baja de la laringe, cambios en la posición y estructura del hioides y disminución del prognatismo con la consiguiente elevación de la bóveda palatina. Pero la aparición del lenguaje articulado se debe sobre todo a la especialización del cerebro que aumenta su tamaño y en la corteza cerebral se desarrollan áreas específicas del lenguaje (hemisferio izquierdo) y otras de síntesis (lóbulos frontales) que posibilitan el lenguaje simbólico basado en significantes acústicos. Existen muchas teorías sobre sus orígenes. Laureano Castro y Miguel Toro sugieren que la capacidad lingüística evolucionó, bajo la acción de la selección natural, desde un sistema basado en imitación rudimentaria a un sistema de transmisión cultural acumulativo, basado en verdadera imitación y en la capacidad de aprobar y desaprobar la conducta aprendida por los hijos. Probablemente esto requirió el desarrollo de circuitos neuronales entre distintas regiones del neocórtex y de éste con el tálamo³. Obviamente este paso no sería posible sin un desarrollo paralelo de las estructuras musculares, cartilagosas, nerviosas y vasculares que hacen realidad la comunicación verbal. Pero lo más importante es un sistema de control para coordinarlo todo. La pronunciación de una sola sílaba requiere la coordinación en el tiempo y el espacio de un mínimo de 70 músculos y de 8 a 10 partes distintas del cuerpo, desde el diafragma a los labios⁴.

Desde hace muchos siglos el hombre intenta entender la naturaleza del cuerpo humano investigando su constitución, reglas de su funcionamiento y secretos de su adaptación. A través de los relatos que dejaron los egipcios hace 5000 años se sabe que entonces ya conocían los secretos de la anatomía humana y dominaban el arte de curación. Este dominio pertenecía a grupos muy selectos de la sociedad egipcia.

La primera descripción del control de la voz aparece en el siglo sexto antes de Cristo de mano del hindú Sushruta Samhita. Entonces se creía que la disfonía era la consecuencia de las lesiones de los vasos del cuello ⁵.

En los tiempos de los griegos toda la sabiduría procedía de la pura observación. En aquel periodo existía la prohibición explícita de la disección del cuerpo humano después de la muerte lo que causó una verdadera dificultad para la adquisición de los conocimientos anatómicos. A pesar de esto los escritos médicos de Hipócrates reunidos en la obra Corpus Hipocráticus fueron la biblia del médico casi durante 500 años. En el siglo III antes de Cristo la prohibición griega fue levantada brevemente durante unas décadas lo que proporcionó al Erasistratus de Ceos la oportunidad de utilizar una técnica de investigación no permitida hasta ese momento. Sus estudios pueden ser considerados pioneros en aprendizaje de la anatomía humana donde, además asigna un valor especial al cerebro y observa la diferencia entre los nervios motores y sensoriales ⁶. La disección fue nuevamente prohibida y Galeno (130-200 d.C.) tuvo que extrapolar sus conocimientos del mundo animal introduciendo un sesgo importante en sus conclusiones. Este hecho no quita el mérito de haber identificado los siete pares craneales, además de apuntar al cerebro como el órgano que controla la voz. Galeno describe la trayectoria del nervio vago que desciende desde el cerebro en ambos lados del cuello hasta el corazón y después revierte su trayecto y asciende hacia la laringe causando la movilidad de las cuerdas. Además demuestra en un modelo animal que cortando el nervio a nivel de cuello la voz del animal se daña y pierde su resonancia ⁵.

No fue hasta el año 100 de la nueva era cuando el Rufus de Efeso observa que en realidad no son las lesiones vasculares responsables de la alteración de la voz sino las lesiones de los nervios ⁵. En la misma época Marino describe el nervio neumogástrico y muchos siglos más tarde el italiano Domenico de Marchetti (1626-1688) lo nombra como vago, de “vagar” en latín, por su errático y prolongado recorrido ⁷.

La anatomía humana recobra su importancia cuando se levanta de nuevo la prohibición de la disección en los humanos y en el año 1316 se publicaron los primeros textos de anatomía escritos por Mondino de Luzzi (1270-1326) con visible influencia del mundo árabe. El siguiente gran paso lo dan artistas quienes en el siglo siguiente (época del Renacimiento) hicieron disecciones anatómicas en cadáveres humanos y dejaron dibujos de sus estudios. Uno de los más grandes anatomistas de la época fue Leonardo da Vinci (1452-1519) quien poseía una gran curiosidad por descubrir los secretos del cuerpo humano, aunque fue ignorado por sus contemporáneos. Sus dibujos incluyen la primera representación anatómica del nervio recurrente ⁵.

En los siglos siguientes se alcanzan los conocimientos que permiten definir las bases de la inervación de la laringe dando fundamento a la teoría clásica de la inervación de la musculatura laríngea. Se asumía que la inervación de todos los músculos intrínsecos de la laringe provenía del nervio recurrente, que la rama externa del nervio laríngeo superior llevaba las fibras motoras hacia el músculo cricotiroideo y que la rama interna de este mismo nervio era puramente sensitiva.

A los finales del siglo XIX los primeros experimentos en perros anestesiados con éter confunden a los investigadores ya que durante la estimulación del nervio recurrente obtienen dos tipos de respuestas - la abducción si el perro estaba anestesiado de forma profunda y de la aducción de las cuerdas cuando la anestesia era superficial. Este hecho les lleva a expresar la teoría que el nervio recurrente se compone de dos tipos de fibras motoras unas para mantener la respiración y otros para la fonación, aunque no consiguen demostrarlo utilizando los métodos de disección de aquellos tiempos. La cuestión de la inervación del músculo cricoaritenideo posterior permanece abierta ya

que parece mucho más complicada permitiendo preservar la función respiratoria independientemente de la función fonatoria ⁸.

Con la introducción de la laringoscopia indirecta hacia el año 1806 aparecen dudas sobre las causas que llevan a las cuerdas vocales adoptar la posición diferente en las lesiones del nervio recurrente. Se especula sobre la influencia de la forma de la laringe, de la edad, de condiciones de los músculos, y también aparecen primeras menciones sobre la inervación del músculo interaritenoides, sus múltiples ramas y la existencia del foramen tiroideo ⁹.

En los años 20 del siglo pasado algunos autores mantenían la convicción de que la inervación de los músculos intrínsecos de la laringe procede del nervio recurrente y no existían evidencias de la inervación cruzada a nivel de diferentes músculos ¹⁰. Sin embargo, siguiendo este patrón era muy difícil explicar diferentes fenómenos clínicos como por ejemplo la diferente posición que adopta la cuerda vocal en la lesión del nervio recurrente. Estos hechos ponen en evidencia la necesidad de la actualización del patrón tanto anatómico, como funcional de la laringe porque el patrón hasta ahora aceptado de la inervación de la laringe se basa en estudios anatómicos poco actualizados.

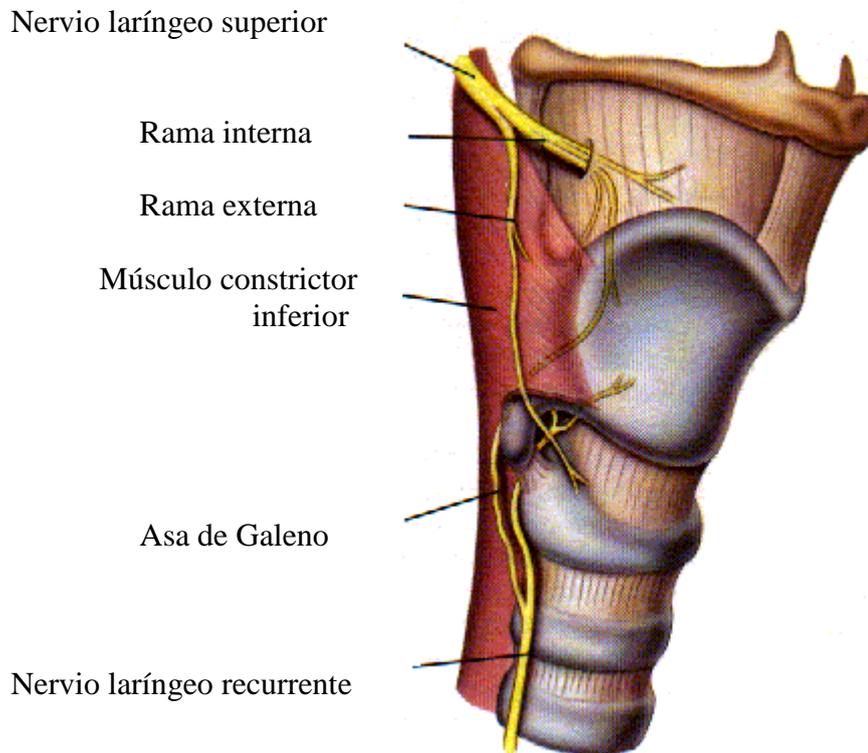


Fig. 1 La innervación de la laringe según el patrón clásico ¹¹.

Según la descripción de los anatomistas clásicos la innervación de la laringe procede fundamentalmente del nervio vago o X par craneal (Fig.1). Es un nervio que posee un territorio de innervación muy extenso, ya que abarca vísceras del cuello, tórax y abdomen, por lo tanto, presenta mucha complejidad estructural. En definitiva podemos afirmar que el nervio conduce cuatro modalidades de impulsos:

- **Impulsos eferentes motores voluntarios:** inervan los músculos estriados de la laringe y faringe que tienen su origen real en el núcleo ambiguo localizado en la formación reticular
- **Impulsos aferentes sensitivos generales** (dolor, temperatura, tacto y propiocepción) e **impulsos aferentes sensoriales gustativos:** las fibras sensitivas y sensoriales de la mucosa del paladar, faringe y laringe, que

terminan probablemente, en parte en el núcleo espinal del trigémino y en parte en el núcleo solitario con las fibras gustativas

- **Impulsos eferentes secretomotores parasimpáticos** (glándulas) son nervios involuntarios: tienen su origen en dos núcleos situados bajo del piso del cuarto ventrículo

Durante el largo recorrido del nervio vago encontramos muchas ramas nerviosas pero nos centraremos en las que intervienen en la inervación de la laringe. Revisando los estudios de disección anatómica podemos conocer en detalle el trayecto y localización topográfica exacta de las siguientes ramas ¹²:

1. **El nervio laríngeo superior.** Nace del extremo inferior del ganglio inferior del nervio vago y se dirige inferior, medial y anteriormente hacia la pared de la faringe. En su trayecto descendente pasa profundamente al plano de las carótidas y cerca del origen de la arteria lingual y del asta mayor del hueso hioides. Antes de entrar a la laringe se divide en dos ramas terminales, la rama interna de mayor tamaño y la rama externa que es más fina ¹³ (Fig.2).

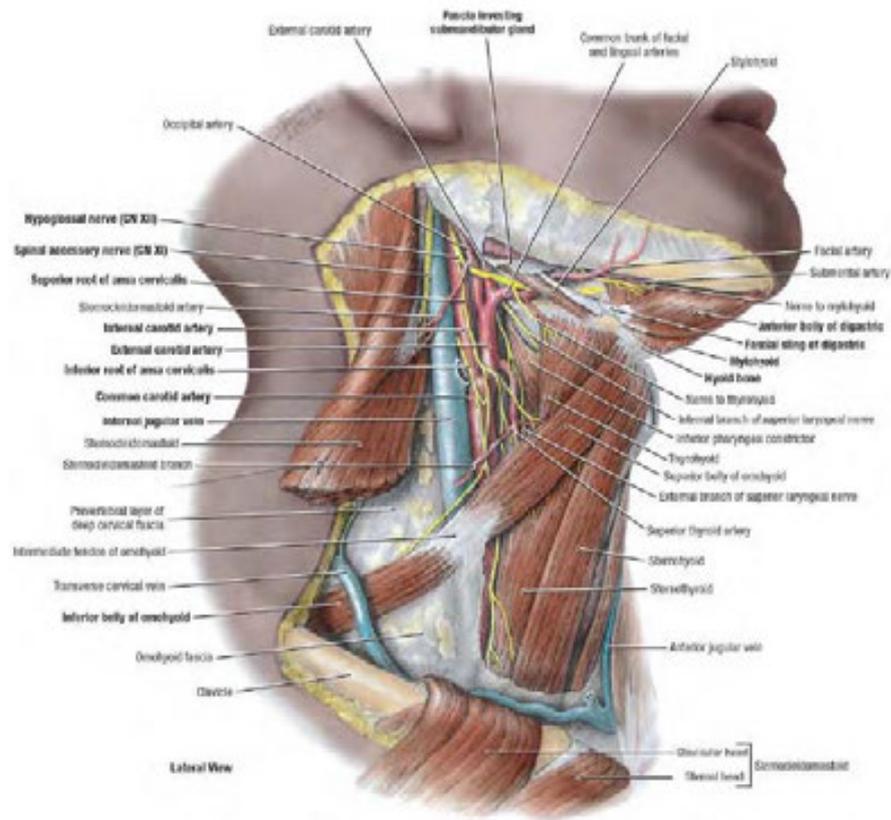


Fig. 2 Trayecto de la rama externa e interna del nervio laríngeo superior en relación con estructuras vasculares y músculos ¹.

- La rama externa también llamada rama inferior, desciende a lo largo y en un plano anterior a la inserción anterior del músculo constrictor inferior de la faringe acompañando a los vasos tiroideos superiores. Llega a nivel del músculo cricotiroides donde se divide en dos ramas: una que inerva al músculo y otra que lo perfora y discurre por el borde inferior del cartílago tiroides para terminar en la mucosa del ventrículo laríngeo y en la porción infraglótica de la laringe ¹⁴. Según la concepción clásica su función primordial es la de aportar inervación motora al músculo cricotiroides (Fig.3).

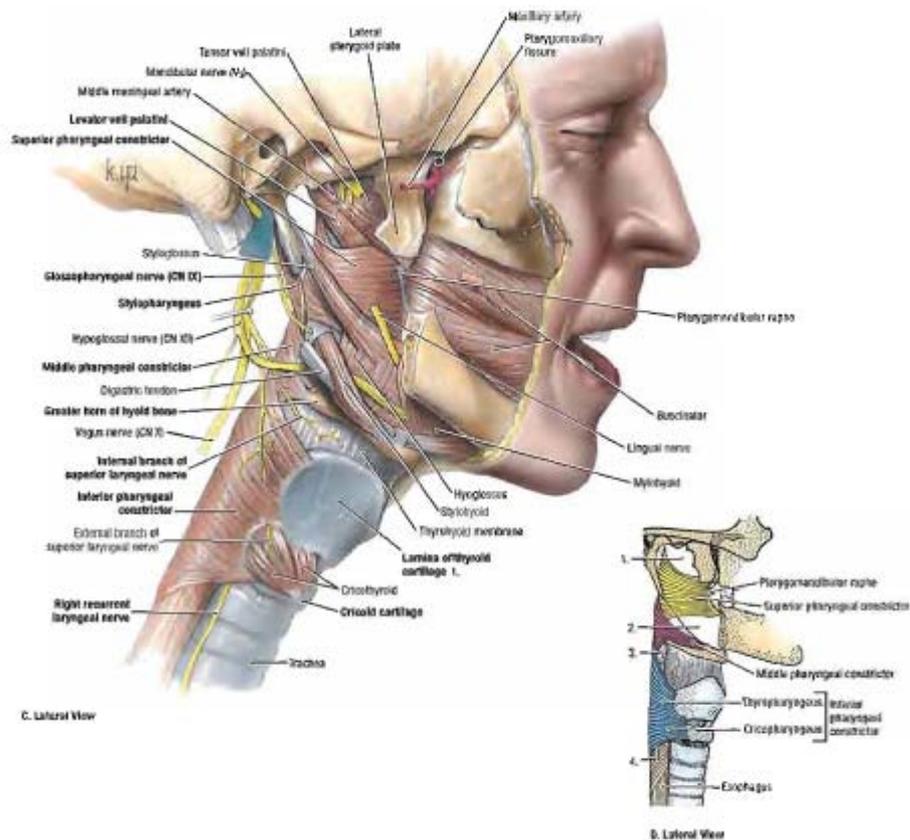


Fig. 3 Detalle del trayecto del nervio laríngeo superior ¹.

- El nervio laríngeo interno considerado clásicamente como exclusivamente sensitivo mide entre 1.8-2 mm de diámetro, discurre en el plano inferior al asta mayor del hueso hioides, posteriormente discurre sobre la membrana tirohioidea, primero en un plano posterior al músculo tirohioideo y después entre el músculo y la membrana. El trayecto de la rama interna hasta su punto de entrada a la laringe mide alrededor de 6.95 mm ¹⁵.

Después el nervio atraviesa la membrana tirohioidea inferiormente a la arteria laríngea superior por el mismo orificio que ésta y al llegar a la mucosa se divide en sus ramas terminales. El orificio está situado aproximadamente 1 o 2

cm anterior al ligamento tirohioideo lateral y a igual distancia del hueso hioides y del cartílago tiroides. A continuación el nervio se divide en tres ramas bien definidas ¹⁶ de 1mm de diámetro la de mayor tamaño ¹⁵ (Fig.4):

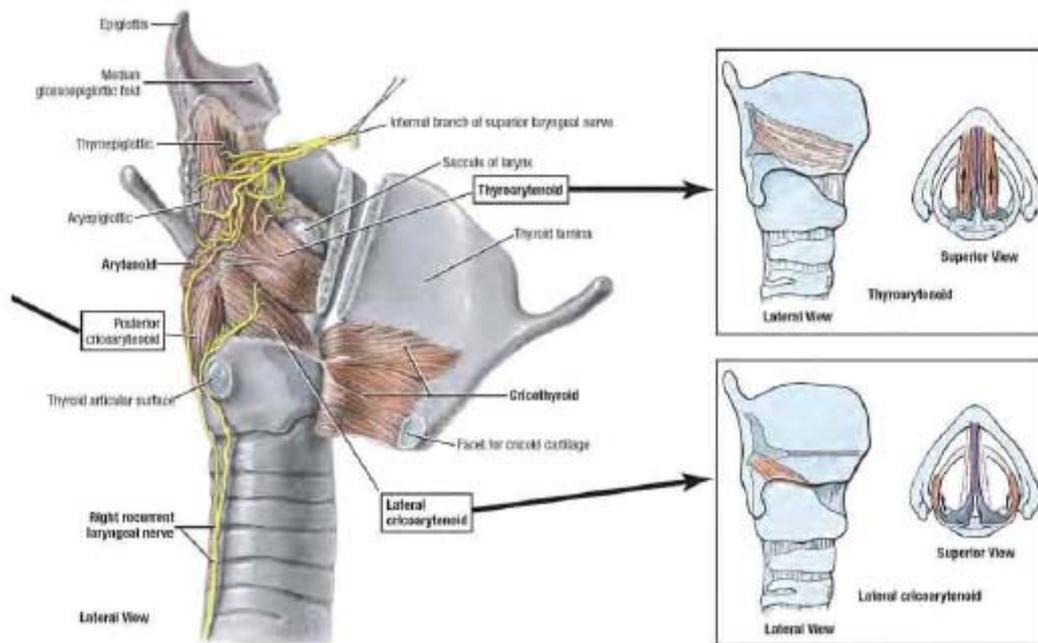


Fig. 4 Trayecto de la rama interna del nervio laríngeo superior ¹.

- **La rama superior** se dirige al borde superior de la epiglotis y después a su cara lingual.
- **La rama horizontal** se dirige hacia la línea media formando un haz de finos filamentos que se dividen en varias ramas y secundariamente se subdividen en ramas más pequeñas. Una de las ramas se dirige cranealmente para inervar la mucosa de la valécula y pliegue glosopiglótico. Otra se dirige hacia la cara lingual de la epiglotis y desde aquel lado las pequeñas fibras perforan la epiglotis para terminar en la mucosa de su cara laríngea ¹⁴. La tercera sigue trayecto horizontal

al tronco principal y subdividiéndose forma un plexo nervioso hasta alcanzar el vestíbulo laríngeo, pliegues ventriculares, ventrículos laríngeos y el músculo tiroaritenoides. Da inervación sensitiva y secretora a la mucosa de la laringe por encima de las cuerdas vocales. Es interesante observar como las ramas que inervan el vestíbulo, pliegues, ventrículo y el músculo tiroaritenoides forman a lo largo de su trayecto numerosas conexiones entre ellas, dando una imagen del plexo ¹².

- **La rama posteroinferior** transcurre en la mucosa del seno piriforme y se une con la rama correspondiente del nervio recurrente formando el asa de Galeno. Antes de su unión da dos ramas. Una se dirige hacia la zona posterior del pliegue aritenopiglótico para terminar en la cara posterior del cartílago aritenoides. La otra rama atraviesa el músculo interaritenoides formando un plexo y posteriormente alcanza la comisura posterior de la laringe.

2. El nervio laríngeo recurrente. Es sobre todo un nervio motor voluntario que inerva todos los músculos intrínsecos de la laringe, con excepción del músculo cricotiroideo. También lleva inervación sensitiva y secretora para la mucosa ubicada por debajo de las cuerdas vocales (subglotis).

Su origen, trayecto y relaciones son diferentes en el lado derecho e izquierdo. El nervio laríngeo recurrente derecho tiene una ubicación cervical y se desprende del nervio vago anteriormente a la arteria subclavia. Rodea esta arteria pasando primero en un plano inferior y después en el plano posterior. Sigue un trayecto oblicuo superior y medial hasta llegar al surco que forman a la derecha la tráquea y el esófago ascendiendo por este canal hasta entrar en la laringe. En el lado izquierdo el nervio recurrente tiene un origen intratorácico y se desprende del nervio vago a la altura de la cara inferior del arco de la aorta. Se dirige posteriormente y forma un asa que rodea la porción horizontal del arco de la aorta y, a veces, también el ligamento arterioso. Pasa por el ángulo de unión del

ligamento arterioso y el arco e inferiormente al ligamento arterioso. El nervio laríngeo recurrente izquierdo se dirige precozmente por el plano superior hacia la laringe con recorrido vertical. En este trayecto se apoya sobre la cara anterior o anterolateral izquierda del esófago. A la altura del extremo inferior de la glándula tiroidea, los dos nervios laríngeos recurrentes establecen relaciones muy variables con la arteria tiroidea inferior. Al llegar al extremo superior de la tráquea se introducen profundos al músculo constrictor inferior de la faringe y penetran bajo la mucosa que reviste los senos piriformes. En el curso de su trayecto, cada nervio laríngeo recurrente suministra numerosas ramas colaterales: ramas cardíacas cervicales inferiores, que nacen del asa del nervio laríngeo recurrente y terminan en el plexo cardíaco posterior. Además da ramas esofágicas, traqueales y faríngeas para el músculo constrictor inferior de la faringe ¹⁶ (Fig. 5).

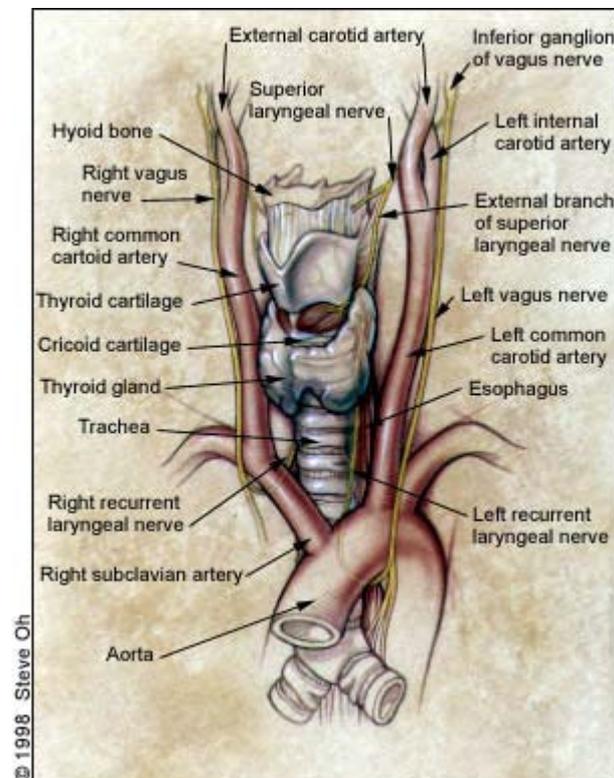


Fig. 5 Recorrido del nervio vago y recurrente en ambos lados. Steve Oh ¹⁷.

El nervio recurrente entra en la laringe lateralmente al ligamento de Berry (Gruber) que constituye una referencia por su relación con el mismo nervio. El ligamento de Berry es una capa del tejido conjuntivo que forma parte de la envoltura de la fascia de la tráquea y que se une con la cápsula tiroidea por detrás y se adhiere firmemente al cartílago cricoides ¹⁸.

El nervio traspasa la membrana cricotiroidea acompañando a la arteria laríngea inferior y se divide antes de llegar a la articulación cricotiroidea en dos ramas terminales, una anterior y otra posterior. Morisson ha estudiado la división del nervio recurrente en 200 disecciones. Describe la división del nervio recurrente en dos ramas en la mayoría de los casos (78%) que se produce antes de entrar en la laringe (43% de los casos), a nivel del cruce con la arteria tiroidea inferior (54% de las disecciones) ¹⁹.

- **La rama posterior** continúa el trayecto ascendente del tronco principal y transcurre por encima de los músculos cricoaritenoides posterior e interaritenoides para unirse con la rama posterior del nervio laríngeo superior formando la mencionada asa de Galeno.
- **La rama anterior** que pasa por detrás de la articulación cricotiroidea inicialmente mantiene el trayecto vertical donde da ramas para el músculo cricoaritenoides posterior e interaritenoides. Entonces dibuja un trayecto oblicuo al entrar en el espacio paraglótico y apoyándose sobre el músculo cricoaritenoides lateral termina su trayecto en el músculo tiroaritenoides. A lo largo de su recorrido da ramas colaterales para todos los músculos intrínsecos de la laringe excepto para el músculo cricotiroideo.

Ambos nervios laríngeos llevan fibras simpáticas y parasimpáticas.

La primera descripción de la parálisis de las cuerdas vocales aparece en el año 1856. A partir de esta fecha es cuando realmente empieza el debate sobre la inervación de la laringe²⁰.

Las cuerdas vocales paralizadas pueden adoptar diversas posiciones y por eso, provocar diferente clínica, desde síntomas poco marcados hasta una dificultad respiratoria grave (Fig.6). Precisamente la posición que adopta la cuerda vocal sirve de referencia para las clasificaciones, pero existen muy pocos estudios que investiguen el impacto biomecánico de la lesión.

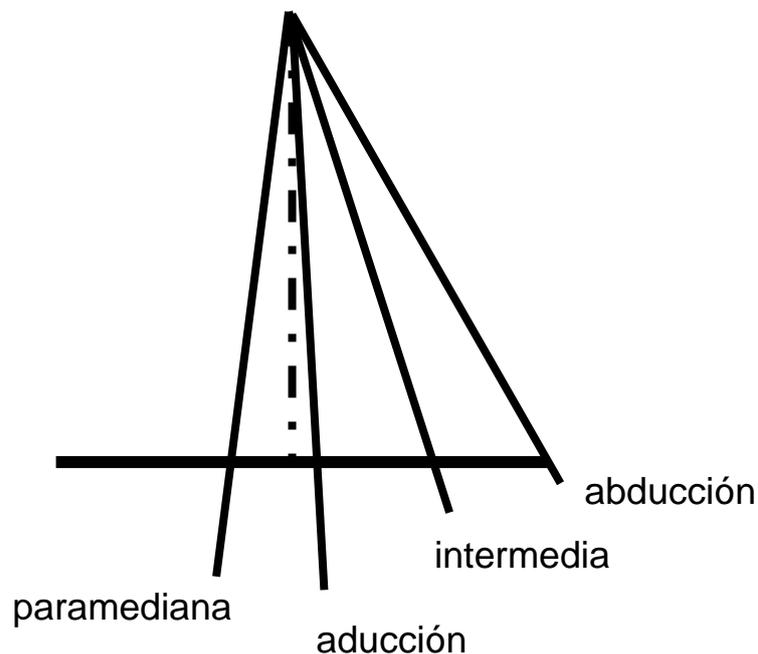


Fig. 6 Posición que puede adoptar la cuerda vocal paralizada.

1. Parálisis en aducción.

La cuerda queda inmóvil cercana a la línea media. Es la posición de la cuerda vocal que puede comprometer la vida del paciente por la importante dificultad respiratoria que causa si es bilateral. Sin embargo la voz parece poco alterada.

2. Parálisis en posición paramediana.

La cuerda vocal queda en posición entre la aducción e intermedia. Se produce un acortamiento de su longitud, se incurva y el aritenoides se adelanta respecto al contralateral. La respiración no se altera ya que la cuerda vocal sana mantiene su normal movilidad. La voz pierde intensidad y adquiere un componente aéreo muy marcado. Si la afectación es bilateral se denomina el Síndrome de Riegel y la dificultad respiratoria puede llegar a ser severa. Se ha hipotetizado que corresponde a la lesión del nervio recurrente.

3. Parálisis en posición intermedia.

Se la conoce también como parálisis en posición cadavérica. Aparece disnea de esfuerzo y disfonía variable en caso de compromiso unilateral. La cuerda sana puede con el tiempo sobrepasar la línea media al final de la aducción (aducción compensadora), lo que alivia la disfonía. La voz parece bitonal con cierta fatiga vocal. La hipótesis hasta ahora más aceptada para explicar su posición es la que postula que la posición de la cuerda se debe posiblemente a la afectación de ambos nervios laríngeos, por alteración del nervio vago en su porción alta, antes de la salida de la rama del nervio laríngeo superior (lesiones supranucleares, intracraneales y de foramen yugular: Síndrome de Collet Siccard, Vernet, Schmidt, Avellis y Jackson)

4. Parálisis en abducción.

La cuerda queda en posición de máxima separación de la línea media. La posición de la cuerda favorece el escape de aire después de la inspiración, lo que hace imposible algunas de las tareas como toser. La voz puede afectarse de la manera

variable y no existe disnea. La cuerda sana puede desarrollar una aducción compensatoria.

Inicialmente se describieron dos hipótesis que intentaron definir las causas de las variaciones de la posición de la cuerda vocal y las modificaciones de esta posición en el tiempo.

Semon y Rosenbach en los finales del siglo XIX propusieron que las fibras nerviosas que inervan los músculos abductores fueran más sensibles a la lesión que aquellas que inervan los músculos aductores, causando principalmente, en la lesión progresiva del nervio, la posición media de la cuerda y posteriormente su desplazamiento lateral. Además parecía que los cambios patológicos observados post-mortem se centraban solamente en el músculo cricoaritenoides posterior ²¹. Pero las observaciones clínicas coinciden poco con esta teoría, porque con frecuencia se observa en el tiempo el movimiento de la cuerda desde la posición lateral hacia la línea media.

Otra teoría propuesta a principios del siglo XX por Wagner y Grossman sostenía que en la parálisis del nervio recurrente la cuerda vocal se mantiene en la posición paramediana gracias a la acción del músculo cricotiroideo ipsilateral. Esta hipótesis fue apoyada por primeros estudios, donde la mejoría clínica en la parálisis recurrencial bilateral coincidía con la denervación o exéresis del músculo cricotiroideo ²¹. Sin embargo, estudios experimentales más actuales donde se compara la configuración de la glotis y la resistencia del flujo de aire transglótico entre animales con lesión del nervio recurrente, con la lesión combinada del nervio recurrente y del nervio para el músculo cricotiroideo, concluyen que la posición de la cuerda no depende de la integridad neural del músculo cricotiroideo y ambos grupos presentan similar acortamiento de la cuerda vocal paralizada ²².

A lo largo del siglo XX han surgido nuevas hipótesis basadas en la inervación residual de las cuerdas vocales. Hirano en el año 1987 mediante los estudios electromiográficos demostró la existencia de actividad voluntaria en la cuerda vocal paralizada, tras la

sección del nervio recurrente que en las fases iniciales fue atribuida a la denervación incompleta de la musculatura laríngea y en las fases más avanzadas a la existencia de regeneración nerviosa y reinervación muscular. Una década más tarde Nasri presentó la hipótesis de la inervación residual del mismo músculo tiroaritenoides que podría modificar la posición de la cuerda paralizada dado la existencia de doble inervación, por un lado desde el nervio recurrente y por el otro desde la rama del nervio laríngeo externo ²¹.

El fenómeno de la reinervación se conoce y estudia desde hace casi dos siglos siguiendo estudios sobre parálisis laríngeas. En los años 50 Hoffman sugirió la posibilidad de que los mismos músculos, privados de su inervación, producían algún tipo de sustancia estimulante favoreciendo la regeneración axonal ^{23,24}. Unos años más tarde Hiroto observó que en la parálisis de la cuerda vocal los primeros potenciales se registran a los dos meses desde la lesión aguda del nervio recurrente y que difieren en su amplitud y número de los potenciales normales ²¹.

No obstante, la existencia de la regeneración nerviosa no significa la recuperación de su funcionalidad, sino que se traduce en sinkinesias (la actividad en forma de sacudidas irregulares del músculo reinervado) que probablemente se debe a la distribución aleatoria de las fibras regeneradas y por la isométrica contracción simultánea de los músculos antagonistas. En efecto la reinervación de la laringe resulta en poca movilidad o genera los movimientos contraproducentes.

Crumley y McCabe en el año 1982 observaron que tras la sección del nervio recurrente la reinervación es impredecible y aleatoria. Las ramas nerviosas del nervio recurrente que inerva el músculo cricoaritenoides posterior, son fibras que provocan la contracción lenta, mientras que las fibras que inervan los músculos tiroaritenoides y cricoaritenoides lateral causan una contracción rápida. Este hecho tiene su importancia si consideramos que las fibras de contracción lenta tienen capacidad de reinervación de muchas más fibras musculares que las fibras rápidas ²¹. No podemos ignorar la posible influencia de la reinervación sobre la posición de la cuerda vocal paralizada. Aunque

los músculos abductores poseen un gran número de las fibras musculares, las fibras nerviosas aductoras son cuatro veces más numerosas ^{25,26}, lo que resulta en más probabilidad de reinervación y finalmente que el vector de las fuerzas este a favor de la aducción.

La probabilidad de la aparición de las sinkinesias desanimó a muchos investigadores en la búsqueda de mejores resultados de reanastomosis sobre todo del nervio recurrente.

Como conclusión podemos decir que la variabilidad en la posición de la cuerda vocal paralizada es difícil de justificar basándonos exclusivamente en patrón clásico de inervación motora. Además basándose en la experiencia clínica se sabe que la misma lesión del nervio puede causar diferente posición de la cuerda y que la misma disposición de la cuerda puede ser resultado de la lesión del nervio a diferente nivel. En la actualidad, el debate sobre la posición que adopta la cuerda vocal paralizada se decanta por un mecanismo multifactorial que interactúa entre sí dependiendo de la magnitud de la lesión nerviosa. Debemos tener también en cuenta varios conceptos básicos, como por ejemplo que ²²:

1. La lesión del nervio vago conlleva la desconexión de la regulación motora, no solamente de los músculos laríngeos intrínsecos. También afecta a los músculos faríngeos y puede influir en la configuración de la glotis. Además la lesión a este nivel elimina la información sensitiva de los receptores de la laringe, faringe, la tráquea y los pulmones.
2. Es lógico que la compleja estructura del nervio vago se puede ver afectada en diferente grado, desde la lesión de varias fibras hasta la interrupción del tronco en su totalidad, provocando diferencias en la posición de la cuerda vocal.
3. La ramificación del nervio recurrente en su porción extralaríngea facilitaría las lesiones aisladas de las ramas para el único músculo abductor causando la posición medial o paramediana de la cuerda paralizada.

4. La atrofia muscular puede influir sobre la posición de la cuerda especialmente si aparece fibrosis en los músculos aductores provocando que la cuerda adopte una posición medial.
5. La afectación de la inervación del músculo cricotiroideo no tiene repercusión sobre la posición de la cuerda vocal.
6. La doble inervación del músculo interaritenoides a través de ambos nervios recurrentes podría justificar el desplazamiento medial de la cuerda paralizada que adopta una posición paramediana e intermedia.
7. El fenómeno de la inervación residual o regeneración de fibras nerviosas es el mecanismo que con mayor probabilidad es la responsable de las variaciones de la posición de la cuerda vocal paralizada de, las variaciones en la posición del aritenoides, del tono de la cuerda, su volumen y la onda de la mucosa²¹.

A pesar del enorme progreso de la ciencia y la multitud de los trabajos de investigación, sigue siendo vigente la observación hecha por Cody en el año 1946 que sostenía que es imposible diagnosticar el nivel de la lesión nerviosa basándose en la posición que adopta la cuerda vocal²⁷. Por esta razón están surgiendo nuevas hipótesis, entre las que destacan las centradas en definir el papel de las conexiones entre los nervios laríngeos, como la que se explora en esta tesis.

Para entender la complicada estructura de la inervación que hace posible el funcionamiento de la laringe es necesario conocer su origen embrionario.

El periodo embrionario es un momento especial en la formación de las complicadas estructuras del cuerpo humano que adquieren progresivamente su forma siguiendo un orden interno del que podemos ser testigos gracias a los estudios anatómicos.

Si nos centramos en la inervación de la laringe, el nervio laríngeo superior se identifica a la quinta semana de gestación (embriones de 6.7 mm) y el nervio recurrente se detecta una semana más tarde. Siguiendo el trayecto del nervio laríngeo superior se puede observar una pequeña rama que se despega del nervio justo después de su separación del nervio vago y se dirige hacia la faringe. La siguiente rama que da el nervio laríngeo superior es la rama externa que desciende al principio casi en paralelo al cuerno superior del tiroides, cruza de la manera oblicua el borde posterior de la lámina de tiroides (mientras tanto enviando en algunos casos una pequeña ramita al foramen tiroideo que posiblemente se une con la rama anterior del nervio recurrente) y finalmente acaba descendiendo por debajo del borde inferior de tiroides para alcanzar el músculo cricotiroideo. La rama interna del nervio laríngeo superior desciende lateralmente al cuerno superior del cartílago tiroides entrando en la laringe entre el cuerno mayor de hioides y lámina del cartílago tiroides. Posteriormente la rama se divide en una posterior que se dirige hacia atrás a la faringe y otra que asciende hacia la parte posterior de la epiglotis. Hay además pequeñas ramitas que se dividen y alcanzan el mesénquima por encima del ventrículo.

El nervio recurrente atraviesa la parte tirofaríngea del constrictor inferior de la faringe antes de alcanzar la laringe. Se divide en dos grandes ramas a nivel de la articulación cricotiroidea. Una de estas ramas discurre profundamente pasando entre el cartílago cricoides y el borde posterior de tiroides y alcanza el músculo cricoaritenoso lateral y tiroaritenoso donde entra desde la parte posterior y se divide en varias ramitas largas. La otra rama más superficial y posterior discurre por encima del músculo

cricoaritenideo posterior e interaritenideo inervando a ambos. Existen también muchas ramitas que alcanzan la faringe y el mesénquima ²⁸.

La neuroanatomía de la laringe humana considerada como patrón clásico establecido y aceptado desde hace siglos es un modelo de inervación muy estricto y compartimentado. No obstante, basándose en los conocimientos actuales podemos apreciar un cambio en la percepción de los conceptos neuroanatómicos de la laringe sugiriendo la existencia de múltiples conexiones en forma de plexos e inervación doble de los músculos. De los recientes estudios de la neuroanatomía de la laringe humana se sabe que ²⁹:

1. Existen frecuentes conexiones entre los diferentes nervios laríngeos. Se ha podido constatar que las hemilaringes presentan un mínimo de dos anastomosis y que en la laringe existe un total de ocho tipos de conexiones entre los tres pares de nervios que la inervan.
2. No existe una división estricta entre las ramas aductoras y abductoras y el origen de las diferentes ramas se establece en base de la posición topográfica del nervio recurrente.
3. Todos los músculos intralaríngeos pueden recibir más de una rama nerviosa.
4. El origen de las ramas musculares del nervio recurrente no es constante.

Estas diferencias en la prevalencia y morfología de diferentes conexiones nerviosas, así como la variabilidad en el número y origen de las ramas para los músculos intrínsecos, sugiere que estas variaciones en la inervación motora individual podrían explicar la diferente posición de la cuerda vocal paralizada, como lo explica la presencia de inervación residual y sinkinesias ²⁹.

A continuación se describen las principales conexiones que se establecen entre los nervios laríngeos fruto del trabajo de disección de 206 hemilaringes publicado en la tesis doctoral de Eva Maranillo (Fig.7). El patrón de conexiones descrito en esta tesis se ha utilizado para explicar los hallazgos electromiográficos de la presente tesis:

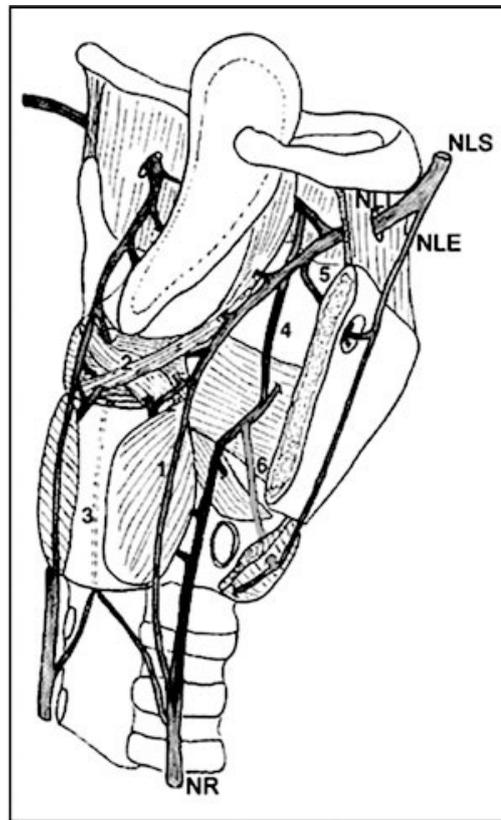


Fig. 7 Esquema de las anastomosis laríngeas ²⁹.

1. Asa de Galeno
2. Plexo profundo de la anastomosis aritenoidea
- 2' Plexo superficial de la anastomosis aritenoidea
3. Anastomosis cricoidea
4. Anastomosis tiroaritenoidea
5. Anastomosis del foramen tiroideo
6. Anastomosis cricotiroidea

1. PATRÓN DE CONEXIÓN ENTRE EL NERVIO RECURRENTE Y EL NERVIO LARÍNGEO INTERNO.

1.1 ASA DE GALENO

Está formada clásicamente por las ramas posteriores de los nervios laríngeo interno y el nervio recurrente, transcurriendo en la mucosa de hipofaringe sobre los músculos cricoaritenoides posterior e interaritenoides. En el 95% de los casos se encuentra un solo tronco nervioso de diámetro variable³⁰, que da varias ramas a la mucosa de la faringe. La frecuencia con la que se encuentra esta conexión oscila entre 16% y 100% según el estudio. Desde el punto de vista morfológico se considera que asa de Galeno contiene fibras motoras y propioceptivas para los músculos y articulaciones, aunque existen discrepancias entre diferentes autores³¹.

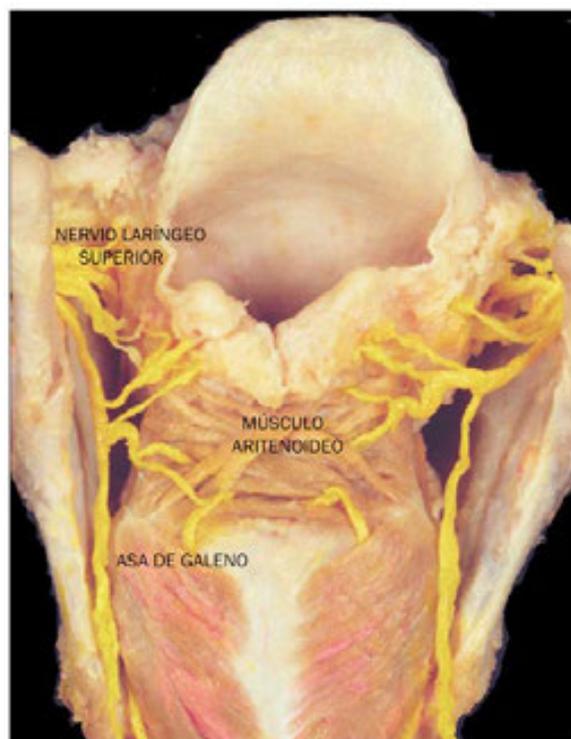


Fig. 8 Asa de Galeno³².

1.2 CONEXIÓN TIROARITENOIDEA

Está formada por las ramas anteriores de los nervios laríngeo interno y el nervio recurrente y se encuentra sobre la superficie del músculo tiroaritenoides.

Su prevalencia es de un 14% en los estudios de disección anatómica y en todos los casos es unilateral.

1.3 CONEXIÓN ARITENOIDEA

Tiene forma de plexo nervioso donde se entrelazan ramas del nervio laríngeo interno y nervio recurrente. Está situada en el músculo interaritenoides. Se definen dos partes del plexo, una superficial cuya prevalencia varía desde 3% hasta 100% y otra parte profunda encontrada en un porcentaje parecido entre 9% y 100% de los casos estudiados (Fig.9). Es interesante la disposición del tipo de conexiones porque varían según el componente del plexo aritenoides. La porción superficial del plexo establece conexiones ipsilaterales mientras que la parte profunda posiblemente posee conexiones tanto ipsilaterales como contralaterales. El plexo, dado su procedencia contiene fibras motoras, sensitivas y de inervación propioceptiva.



Fig. 9 Plexo aritenóideo profundo ³⁰.

1.4 CONEXIÓN CRICOIDEA

Es una conexión presente en 60% de los casos, que se localiza en la parte anterior de la lámina del cartílago cricoides. Une las dos pequeñas ramas procedentes del nervio recurrente que surgen antes que entre en la laringe y las ramas que nacen en la parte profunda del plexo aritenóideo. De la conexión surgen pequeñas ramas que inervan la mucosa de la parte posterior de subglotis.

2. PATRÓN DE CONEXIÓN ENTRE EL NERVIO RECURRENTE Y EL NERVIO LARÍNGEO EXTERNO.

2.1 CONEXIÓN CRICOTIROIDEA

La conexión está formada por el nervio laríngeo externo que atraviesa el músculo cricotiroides y la rama anterior del nervio recurrente. Se localiza superficialmente respecto al músculo cricoaritenoides lateral, tiroaritenoides o entre las fibras del mismo músculo tiroaritenoides. La anastomosis habitualmente tiene forma de una única rama, aunque en ocasiones puede ser doble (Fig.10). Se han descrito también unas fibras que parten desde la anastomosis hacia el músculo tiroaritenoides, músculo cricotiroides, articulación cricotiroides y la mucosa subglótica. También, se ha encontrado, en algunos casos la rama nerviosa que nace en el nervio recurrente y alcanza el músculo cricotiroides. La prevalencia de la conexión cricotiroides se encuentra entre 6% y 68% de los casos³⁰.

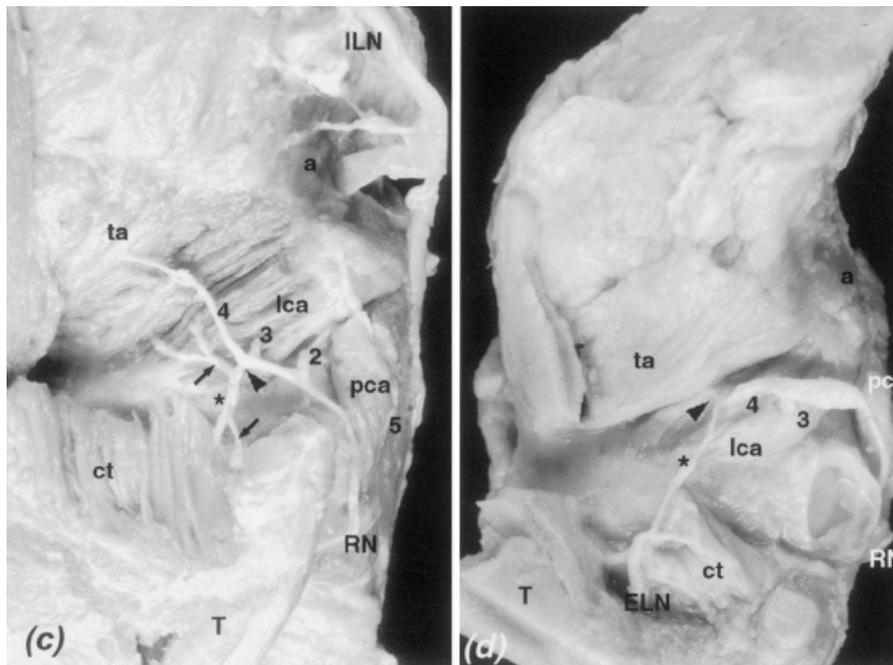


Fig. 10 Conexión cricotiroides. ILN nervio laríngeo interno, T lámina lateral del cartílago tiroides, ct músculo cricotiroides, lca músculo cricoaritenoides lateral, pca músculo cricoaritenoides posterior, ta músculo tiroaritenoides, a músculo aritenoides, 1,2,3,4 ramas musculares para el músculo cricoaritenoides posterior, cricoaritenoides lateral y tiroaritenoides, 5 ramas comunicantes, asterisco conexión cricotiroides⁹³.

3. PATRÓN DE CONEXIÓN ENTRE EL NERVIO LARÍNGEO INTERNO Y EL NERVIO LARÍNGEO EXTERNO

3.1 CONEXIÓN DEL FORAMEN TIROIDEO

Está formada por una rama colateral del nervio laríngeo externo y una de las ramas anteriores del nervio laríngeo interno pasando a través del foramen tiroideo (Fig.11). Su prevalencia oscila entre 4% y 30% de los casos estudiados. Se considera que la anastomosis tiene función sensitiva.



Fig. 11 Conexión del foramen tiroideo. Visión posterolateral izquierda de la laringe ³⁰.

Teniendo en cuenta el carácter de nuestro estudio en el que se realiza la electromiografía de los músculos intralaringeos, analizaremos brevemente la situación de cada uno de los músculos estudiados, centrándonos en la función que desempeña, el papel que juega en la posición de la cuerda vocal y en el patrón de inervación que posee basándonos en los conocimientos actuales.

La laringe es un órgano que encontramos en la encrucijada de la vía respiratoria y digestiva. Gracias a la evolución, la especie humana ha sido dotada con la capacidad de comunicación verbal, de expresar emociones a través de la risa y lloro, sin olvidar las funciones básicas durante la respiración, la deglución o reflejo de la tos.

Los músculos de laringe, aunque son pocos, desempeñan múltiples funciones con extraordinaria precisión que resulta posible gracias al complejo control ejercido por el sistema nervioso. Sorprende la variedad de los movimientos de las cuerdas vocales, tan distintos para cada una de las funciones, por ejemplo la apertura máxima de las cuerdas en el momento del bostezo, la apertura durante la inspiración con leve acercamiento durante la espiración, la posición paramediana de las cuerdas cuando pronunciamos “s” o el acercamiento a la posición media durante la fonación, sin olvidar la capacidad de cierre de la glotis durante la tos y durante la deglución.

Los músculos de la laringe se clasifican en intrínsecos (se originan y se insertan en el marco de la laringe) y extrínsecos responsables de anclar la laringe a otras estructuras de la cabeza y cuello (Fig.12).

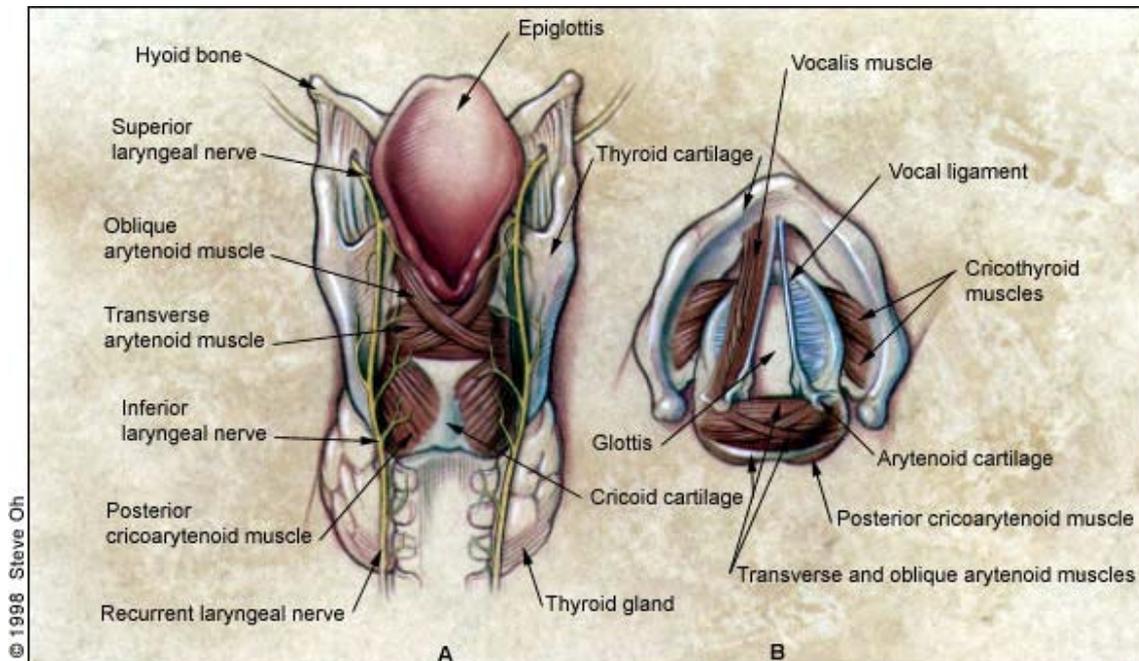


Fig. 12 Músculos de de la laringe. Steve Oh. KO Studios ¹⁷.

Los movimientos de la cuerda vocal pueden ser en el sentido de apertura (durante respiración) denominados abductores, o hacia el cierre (en fonación) denominados aductores. Una tercera función de esta musculatura es el incremento de la tensión de la cuerda vocal. De allí viene la clasificación clásica de los músculos intrínsecos en aductores (músculos tiroaritenoides, cricoaritenoides laterales, interaritenoides) y abductores (músculo cricoaritenoides posterior) y por último el músculo cricotiroides que alarga y tensa la cuerda vocal.

Aunque hay que mencionar que esta división simplista de los músculos parece cada vez menos cierta, a la vista de la participación activa de todos los músculos en cada uno de los movimientos de las cuerdas vocales ³³.

Los músculos intrínsecos modifican la posición, la forma y tensión de las cuerdas vocales gracias a la cierta movilidad existente entre el cartílago tiroides, cricoides y

aritenoides, lo que permite cambios en la inclinación de los cartílagos entre sí y variación de las distancias.

Hay que mencionar también la función de los músculos extrínsecos que cambian la posición de la laringe subiéndola (como el músculo tirohioideo) durante la deglución y bajándola para obtener la voz de tono bajo (como el músculo esternotiroideo). La mayoría de las funciones que desempeña la laringe posiblemente implica tanto los movimientos de los músculos intrínsecos como de los extrínsecos, aunque existen pocos estudios sobre estas relaciones.

El cartílago aritenoides es la pieza clave en los movimientos de las cuerdas vocales. La combinación entre la geometría única de la articulación cricoaritenoidea y la acción de los músculos intrínsecos provoca cambios en la posición de aritenoides en relación con el cartílago cricoideo (con participación de los músculos cricoaritenoideo posterior y cricoaritenoideo lateral), con el cartílago tiroideo (músculo tiroaritenoideo) o con el cartílago contralateral gracias a la actuación del músculo interaritenoideo, lo que se traduce en diferentes movimientos de las cuerdas vocales ³⁴ (Fig.13).



Fig. 13 Articulación cricoaritenoidea ³⁵.

A lo largo de estas últimas décadas se han publicado diversas investigaciones sobre los músculos que han revelado, que un músculo concreto considerado como una “unidad funcional”, en realidad se compone de varias partes llamadas compartimentos.

Los criterios anatómicos del compartimento son muy amplios y comprenden aspectos macroscópicos con la presencia de partes de músculo separadas por una fascia y con una inervación individual, hasta grupos de las fibras musculares compartiendo la misma orientación espacial. A nivel histológico existe una agrupación de fibras de la contracción lenta o de contracción rápida. También existen diferencias en la densidad de los elementos sensitivos como órganos de Golgi en los tendones y los husos³⁶.

Se ha podido demostrar que la información sensitiva que se origina en el receptor sensitivo de un compartimento puede ser discriminada por el sistema nervioso central y provocar la respuesta motora de ajuste solamente en el compartimento específico donde está presente el órgano sensorial³⁷.

Todos estos indicadores de compartimentación, aunque definidos por los métodos anatómicos, se considera que reflejan las diferencias funcionales³⁶.

MÚSCULO CRICOARITENOIDEO POSTERIOR

El músculo cricoaritenoides posterior es, quizás, el músculo intrínseco más estudiado, tanto en animales como en humanos. Se origina en la superficie posterior de la lámina cricoides y las fibras se insertan en el proceso muscular del cartílago aritenoides (Fig.14). Dado su localización es comprensible que desarrolle diversas funciones.

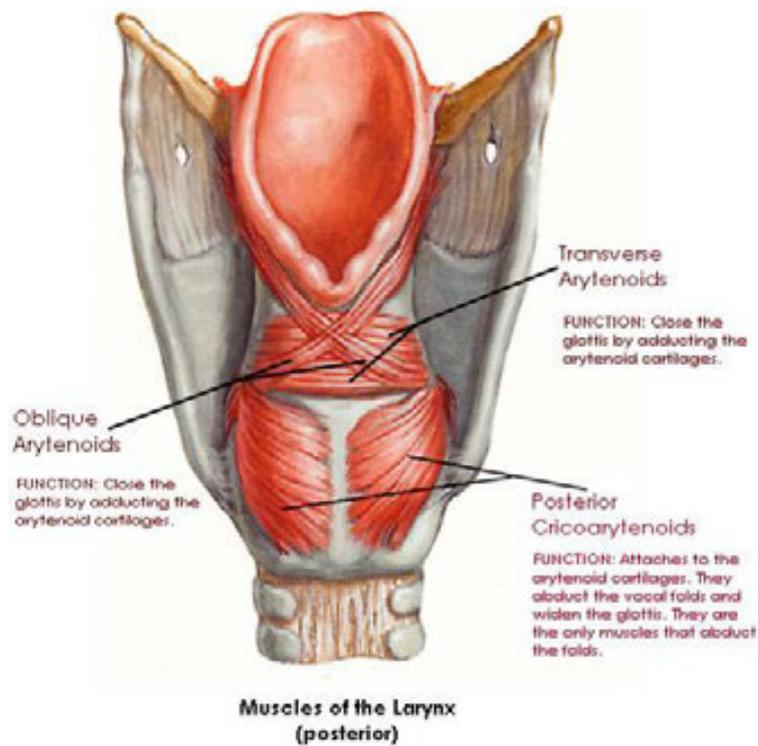


Fig. 14 Músculos de la laringe (visión posterior).
Músculo cricoaritenoides posterior y aritenoides transverso y oblicuo ³⁸.

Gracias a su constante nivel de activación estabiliza la posición de aritenoides. Con la contracción plena abre el paso glótico en la inspiración y, a veces, durante la espiración. También actúa separando las cuerdas vocales en los momentos de pausa durante la fonación y contrarresta la contracción de los músculos cricotiroideo y tiroaritenoides. Un simple bostezo, tos, hipo o sollozo son imposibles de realizar sin la participación activa de este músculo.

La variedad de los movimientos de la cuerda vocal se debe a la especial disposición de la articulación cricoaritenoides que tiene una forma cilíndrica. Pero la articulación cricoaritenoides no es la única responsable de tanta variedad.

El Fabricus en el año 1600 fue el primero en sugerir que el músculo cricoaritenoides posterior está formado por dos vientres, uno horizontal que desplaza la apófisis

muscular hacia atrás y medialmente y un vientre vertical que es responsable del movimiento lateral de la apófisis ³⁹. Los estudios anatómicos de la laringe humana realizados por Bryant identifican claramente dos compartimentos en el músculo cricoaritenoides posterior separados por fascia y con diferente inserción a nivel de aritenoides. El vientre medial tiene la trayectoria horizontal, mientras que el vientre lateral es más oblicuo ⁴⁰.

Es de gran interés para entender la movilidad de las cuerdas vocales conocer la existencia de dos vientres del mismo músculo con inserciones independientes sobre el aritenoides que, en teoría, se pueden contraer independientemente y, además, a diferentes velocidades, dependiendo de la proporción de fibras musculares rápidas.

La parte oblicua del músculo que se inserta en la zona superior del proceso muscular del aritenoides sería responsable del movimiento del balance hacia atrás del aritenoides, lo que provocaría la abducción máxima de los procesos vocales. Dado que es un vientre que se contrae con mucha velocidad su función puede observarse durante los movimientos de la respiración profunda en el ejercicio. El vientre horizontal por su inserción medial sobre el proceso muscular desplaza el aritenoides medialmente y dado que posee muchas fibras lentas, posiblemente es responsable de la contracción tónica, estabilizando la posición del proceso vocal durante la fonación y contrarrestando la tensión de otros músculos.

Es probable que los vientres participen conjuntamente en los movimientos activándose, en mayor o menor grado, dependiendo de la ventaja mecánica en el movimiento.

Inervación del músculo cricoaritenoides posterior.

Se sabe que la estimulación eléctrica de cada uno de los vientres del músculo por separado resulta en un movimiento diferente del aritenoides y de la cuerda vocal.

Basándose en la experiencia del modelo canino, Sanders buscó las similitudes con la laringe humana, demostrando la existencia de dos compartimentos neuronales bien definidos con sus ramas correspondientes. En 60% de los casos estas ramas surgen del nervio recurrente de forma independiente y separada. La primera de las ramas inerva los músculos vertical y oblicuo, íntimamente unidos en la laringe humana mientras que la segunda rama alcanza el vientre horizontal ⁴¹. Estas observaciones demuestran que el músculo cricoaritenideo posterior tiene ramas funcionalmente distintas.

Estudios anatómicos recientes revelan que el músculo puede recibir hasta 5-6 ramas directas desde la rama anterior del nervio recurrente. Sin embargo en el 70- 90% de los casos el músculo cricoaritenideo posterior tiene conexiones con las ramas que inervan al músculo interaritenideo. Esta complejidad y variabilidad de la inervación no sólo se da entre individuos sino que también ocurre entre los dos lados de una misma laringe ⁴².

MÚSCULO TIROARITENOIDEO

Se origina en la cara interna de la lámina del cartílago tiroides y de la superficie externa de la membrana cricovocal. Se inserta en la superficie anterolateral del cartílago aritenoides (Fig.15). A lo largo de su trayecto aparece como una estructura triangular alargada y tridimensional, con un borde que se proyecta hacia la luz de las vías respiratorias.

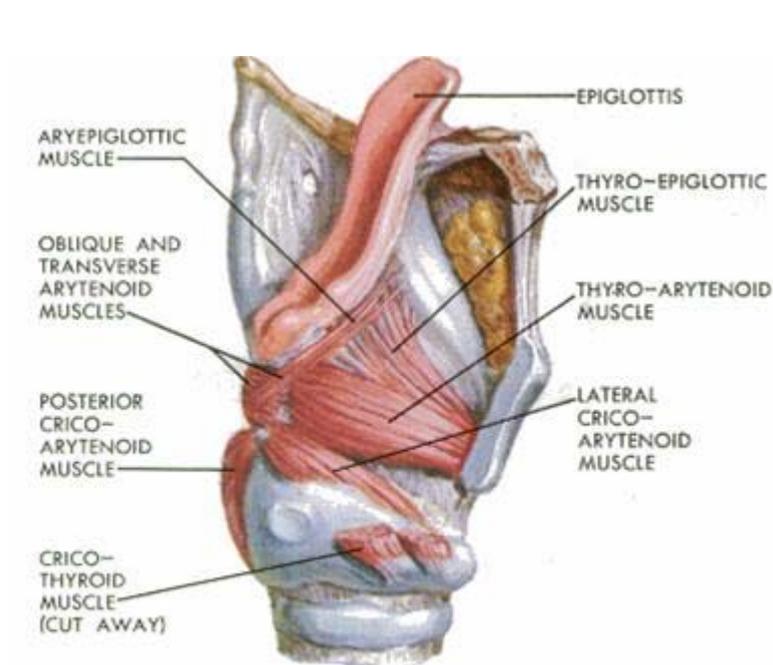


Fig. 15 Músculos de la laringe (visión lateral) ³⁸. Músculo tiroaritenoides, cricoaritenoides lateral, cricoaritenoides posterior, aritenoides oblicuo y transversos.

Algunos autores consideran que este músculo está constituido por dos partes: una más medial llamada músculo vocal (*vocalis*) que participa en la fonación y una parte lateral (*muscularis*) que constituye el volumen principal del músculo y participa, sobre todo, en el movimiento aductor de la cuerda. Se cree que no existe separación ni fascia entre las dos partes. Esta división anatómica se confirma en estudios histológicos con pacientes realizados por Sanders donde se aprecian diferencias en el tipo de las fibras musculares que contiene cada compartimento. La parte muscular tiene una alta proporción de fibras de contracción rápida posiblemente especializadas en la aducción rápida necesaria para la protección de vías respiratorias. En cambio, la parte vocal contiene en su mayoría fibras de contracción lenta con una especial distribución de los husos reflejando su participación en los movimientos finos y delicados de la fonación. Además si nos fijamos en detalles histológicos podemos dividir la parte vocal en dos subcompartimentos, el superior e inferior. El superior contiene más tejido conectivo entrelazado entre los pequeños fascículos que contienen fibras musculares de formas atípicas. En cambio las fibras musculares del compartimento inferior parecen tener forma de un único y largo haz muscular. Posiblemente estas diferencias entre ambas

partes se reflejan en la biomecánica de las cuerdas vocales, tan singular en los humanos, ya que aunque el componente inferior es común en muchos animales la parte superior es única y aparece solamente en la especie humana ⁴³.

En los estudios de Sanders realizados a los finales de los años 90 se confirmó la presencia de los husos a nivel de este músculo. Hasta entonces no existía consenso sobre su existencia, por las dificultades técnicas que presentaba su estudio histológico, ni tampoco sobre su posible función. Sanders encontró hasta 18 husos por músculo, aunque con una estructura diferente a la encontrada en otros músculos. Según el autor los husos se agrupan en forma de arco justo por debajo del ligamento vocal extendiéndose a lo largo de la superficie superior y medial del músculo tiroaritenideo. La compleja función de las cuerdas vocales se corresponde con la sorprendentemente sofisticada arquitectura anatómica. Estudios desarrollados por Han apuntan en la misma dirección. En teoría la actividad del músculo tiroaritenideo acorta la cuerda vocal, incrementa su tensión interna y cambia su forma. Pero para poder ejercer cada una de estas funciones el músculo tiroaritenideo debe tener capacidad de reclutar diferentes partes del músculo por separado, por lo que estos autores concluyen que el músculo tiroaritenideo posiblemente es un músculo que posee diferentes componentes con distintas funciones ^{44,45}.

Resumiendo se puede afirmar que la particular arquitectura tridimensional de la parte vocal de la cuerda y las diferencias anatómicas entre los subcompartimentos sugieren la presencia de dos entidades independientes funcionalmente y es posible que estén controlados por separado por el sistema nervioso ³⁶.

Doble inervación motora del músculo tiroaritenideo.

Las primeras sugerencias sobre la doble inervación del músculo tiroaritenideo proceden de la investigación realizada por Martin en el año 1734 ⁴⁶.

Posteriormente los estudios realizados por Lemere en 1932 en laringe canina indicaron la existencia de una rama del nervio laríngeo superior que penetraba en el músculo tiroaritenoides inervando la mucosa de la parte antero-inferior de cuerda vocal. Lemere supuso que esta rama inervaría al músculo tiroaritenoides, pero no consiguió demostrarlo utilizando la electromiografía. Hubo que esperar 60 años hasta que Sanders consiguió demostrar la existencia anatómica de la inervación entrecruzada dentro del músculo tiroaritenoides entre las ramas del nervio recurrente y de la rama externa del nervio laríngeo superior. Solo faltaba la confirmación de la existencia de las ramas motoras procedentes del nervio laríngeo superior. Los estudios de Wu demostraron que tras la sección del nervio recurrente, la función fonatoria de los perros se restablecía posiblemente gracias a la función del nervio laríngeo superior⁴⁶. Hace unos años Nasri realizó un experimento “in vivo” para determinar la función de estas ramas en el modelo canino. Este experimento parece demostrar que la actividad motora de la rama procedente del nervio laríngeo superior se centra en el tercio anterior de la cuerda vocal⁴⁷.

Por lo tanto podemos concluir que la inervación del músculo tiroaritenoides procede sobre todo del nervio recurrente y que posiblemente, las ramas externa e interna del nervio laríngeo superior también participan.

MÚSCULO INTERARITENOIDEO

Es un músculo localizado en la parte posterior de la glotis. Se origina en uno de los aritenoides y sus fibras se dirigen hacia el vértice del otro lado dibujando una forma de letra U. Las fibras musculares que se insertan sobre la parte medial del proceso muscular de aritenoides presentan dos trayectos uno oblicuo y otro transverso.

Las fibras transversas están ubicadas en profundidad y su contracción provoca el acercamiento de la base de aritenoides a la línea media. La mayoría de estas fibras son de contracción lenta y son muy resistentes a la fatiga. La parte oblicua del músculo en forma de X parece ser una continuación de los músculos ariepiglóticos y provoca la

rotación del ápex de aritenoides medialmente en el movimiento de aducción ayudando al cierre de glotis y a la creación de la presión subglótica ⁴⁸.

Hasta hace poco se creía que la función del músculo se reducía al mantenimiento de la posición durante la fonación. Sin embargo, la complicada estructura de los husos encontrados en este músculo y la alta proporción de fibras de contracción rápida (60%) nos muestra un músculo capaz de contraerse a gran velocidad y además de modificar el grado de acortamiento según la tarea. En la actualidad sabemos que el músculo además de aproximar ambos aritenoides cerrando la parte posterior de glotis durante la fonación, mantiene la posición de las cuerdas durante la fonación prolongada y participa en los movimientos rápidos de aducción durante la deglución. También estabiliza la articulación cricoaritenoidea durante la abducción en la inspiración forzada ³³.

No obstante los estudios anatómicos de Olthoff revelan que no existe ninguna separación entre las dos partes del músculo e histológicamente confirman un entretamado de fibras transversas e oblicuas. Además parece ser que el músculo interaritenoideo es un solo músculo dado que no se encuentra ninguna separación en la línea media ¹⁴.

Inervación del músculo interaritenoideo.

La inervación de este músculo es la más compleja de todos los músculos intrínsecos de la laringe. Ya el año 1882 Mandelstamm sugirió una inervación recurrente bilateral al observar su comportamiento intacto en la parálisis unilateral del recurrente. Esta hipótesis se confirmó en múltiples estudios anatómicos tanto al nivel animal como en los humanos realizados a lo largo del siglo XIX. Luschka, el otro gran anatomista sugirió la inervación motora procedente de la rama interna del nervio laríngeo superior. Hoy en día se conoce la existencia de dos plexos nerviosos, uno superficial y otro profundo. En estos plexos se entrecruzan las fibras nerviosas procedentes del nervio

laríngeo superior interno y del nervio recurrente ipsi y contralateral. La rama para el músculo interaritenoides procede del nervio recurrente suele tener origen a nivel del tercio medio del músculo cricoaritenoides posterior. Recorre un trayecto de aproximadamente 2 cm por debajo del músculo cricoaritenoides posterior, cercano a la articulación cricoaritenoides, y entra en el músculo interaritenoides, subdividiéndose en 2 a 4 ramas que forman dos planos, el superficial y otro profundo. Cada grupo de ramas inerva una parte del músculo y además pequeñas ramitas crean una extensa red de interconexiones y plexos que sobrepasa la línea media. La inervación por parte del nervio laríngeo superior suele consistir en 2 a 4 ramas que al entrar en el músculo se subdividen en 5-10 ramitas, de las cuales, la mayoría alcanza la mucosa de la comisura posterior y la subglotis, pero algunas terminan inervando el propio músculo ⁴⁹.

En el año 1938 Todd demostró la existencia de placas motoras en las terminaciones intramusculares de la rama interna del nervio laríngeo superior. Su existencia fue confirmada de nuevo por Vogel en el año 1952 y posteriormente por Sanders (1994) con la utilización de una sofisticada técnica de tinción de fibras. Basándose en estos datos se ha sugerido que el músculo interaritenoides posee una inervación motora procedente de la rama interna del nervio laríngeo superior ¹⁴.

Precisamente este entretejido excepcional de fibras nerviosas originadas en ambas ramas del recurrente y de las ramas internas del laríngeo superior puede proteger al músculo interaritenoides cuando se produce una lesión nerviosa ³³.

MÚSCULO CRICOTIROIDEO

El músculo cricotiroideo es un tanto peculiar dado que es el único músculo intrínseco de la laringe que está localizado por fuera de esta. Se origina en la cara lateral del arco anterior del cartílago cricoides. Posee por lo menos tres compartimentos (Fig.16). Las fibras que se dirigen hacia arriba, a la parte posterior del borde inferior de la lámina

tiroidea, forman la porción recta. La porción oblicua está formada por fibras que se dirigen hacia atrás y lateralmente, hacia el cuerno inferior del cartílago tiroides. La última porción se localiza, en la parte más profunda, por debajo de la porción recta y oblicua. Es la porción más pequeña, con fibras de disposición horizontal que se originan en el borde superior del cartílago cricoides en un plano anterior al origen del músculo cricoaritenoides lateral y acaba en la parte interna del borde inferior del cartílago tiroides y su cuerno inferior⁵⁰.

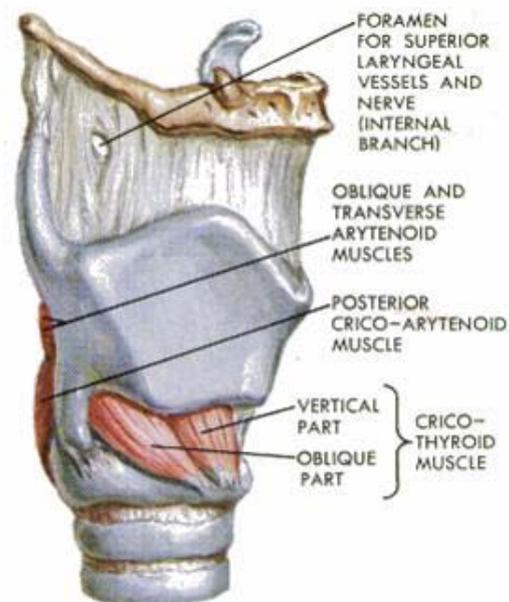


Fig. 16 Músculo cricotiroideo parte oblicua y vertical. Visión lateral³⁸.
 Foramen para los vasos laríngeos superiores y el nervio (rama interna).
 Músculo aritenoides oblicuo y transversos. Músculo cricoaritenoides posterior.

Se cree que cada una de las partes ejerce diferentes acciones. El vientre recto provoca rotación de la articulación cricotiroidea, cierra el ángulo entre los cartílagos tiroides y

cricoides, inclinando la parte anterior del cartílago tiroides hacia abajo provocando el alargamiento de la cuerda vocal y aumentando su tensión. La función del vientre oblicuo es controvertida en humanos, aunque se supone que podría causar el movimiento de deslizamiento del cartílago tiroides hacia delante y por encima del cartílago cricoides tensando la cuerda vocal ³⁴.

En los estudios experimentales de Hong sobre un modelo canino se ha descrito dos tipos de movimiento de la articulación causado por la contracción de cada vientre por separado. La parte recta provoca desplazamiento en el plano vertical a causa de la rotación de la articulación cricotiroidea. La parte oblicua provoca desplazamiento en el plano horizontal con movimiento anterior de la articulación ⁵¹.

En definitiva, la contracción del músculo provoca aducción y aumento de tensión de la cuerda.

Sin embargo la función de este músculo es más compleja como se pone en evidencia en los estudios de Suzuki. Este autor demostró durante la inspiración la contracción progresiva del músculo cricotiroideo junto con el músculo cricoaritenideo posterior. La participación de este músculo en la inspiración podría parecer contraproducente por la acción de estrechar la luz glótica, pero el movimiento de la elongación de la cuerda vocal provoca en realidad una ampliación de la superficie de apertura glótica por el aumento en un 30% del diámetro antero-posterior. Este fenómeno podría sugerir que ambos músculos cricoaritenideos posteriores y músculos cricotiroideos están bajo control del centro respiratorio medular con la información aferente procedente del tórax ⁵².

Si profundizamos más en el estudio de la estructura estriada de este músculo, hasta llegar a nivel de las mismas fibras, observamos un comportamiento parecido al músculo cardíaco, extraocular, esofágico, tiroaritenideo, semitendinoso y cricofaríngeo. La extensa y complicada estructura de ramificaciones y bifurcaciones de las fibras le proporciona al músculo el carácter único ⁵³.

Inervación del músculo cricotiroideo.

Según la neuroanatomía clásica el músculo cricotiroideo percibe inervación exclusivamente de la rama externa del nervio laríngeo superior. Sin embargo los estudios más recientes apuntan a que podría recibir inervación también del nervio recurrente, a través de la conexión cricotiroidea.

La rama externa del nervio laríngeo superior, en la mayoría de los casos (62.5% en el estudio de Mu), se divide en varias ramas, aproximadamente a 2 cm de la entrada en el músculo y solamente en el 37.5% entra como un tronco único. Cuando se divide fuera del músculo, lo más frecuente es que lo haga en dos ramas (41.6%). En algunos casos (4.2%) puede tener hasta cinco ramas.

El nervio entra en el músculo en su parte superolateral, entre dos vientres, el oblicuo y el recto, dando su primera rama a la parte oblicua.

La inervación de la porción oblicua suele proceder de una, o como máximo dos ramas, y transcurre en la parte media del músculo. Al vientre horizontal le llegan finas ramas nerviosas procedentes de las ramas que inervan la parte oblicua. La parte recta posee la inervación más abundante de los tres vientres y suele basarse en varias ramas directas procedentes de la rama externa del nervio laríngeo superior a la entrada al músculo cricotiroideo. La compartimentalidad en la inervación de cada uno de los vientres sugiere que cada parte puede realizar una actividad distinta de forma independiente ⁵⁰.

En el 46% de los casos alguna rama del nervio laríngeo superior ⁵⁰ traspasa el músculo cricotiroideo dirigiéndose a la porción inferior del músculo tiroaritenosoide donde forma una red de múltiples ramitas y conexiones con la rama del nervio recurrente. La inervación del músculo tiroaritenosoide por parte del nervio laríngeo superior procedente de su rama externa parece tener componente motor, como se ha podido demostrar en un modelo animal en el que al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior se obtiene la contracción del músculo tiroaritenosoide ⁵⁰.

El reflejo de cierre glótico proporciona la protección a las vías respiratorias bajas. Se consigue por la aducción simultánea de ambas cuerdas vocales como respuesta final a un estímulo que activa los mecanorreceptores y quimiorreceptores de la mucosa supraglótica, glótica y especialmente de la zona de aritenoides. El reflejo de protección de las vías respiratorias es tan importante que la velocidad de contracción del músculo tiroaritenosoide se encuentra entre las más rápidas ⁴⁵.

Las primeras aproximaciones al reflejo fueron hechas por Doty y Bosna en 1956 al estimular el nervio laríngeo superior en monos, perros y gatos. Estos autores demostraron mediante electromiografía la participación de los músculos laríngeos aductores en el cierre glótico durante la deglución, lo que interpretaron como el propio reflejo de protección ⁵⁴.

Es un reflejo polisináptico y aunque en condiciones óptimas es una protección eficaz, existen múltiples factores que pueden frenarlo como la anestesia general, la sedación o disminuir considerablemente su eficacia. La alteración del reflejo ocurre en hipotermia, inspiración, aumento de la pCO₂ arterial o disminución de la pO₂ y cuando aumenta la presión intratorácica. Por el contrario se observa un aumento de la respuesta refleja en caso de hipertermia, en la fase de espiración, cuando disminuye la pCO₂ y aumenta la pO₂ y en condiciones de la presión intratorácica negativa ^{55,56}.

El cierre brusco de la glotis, como respuesta a la estimulación aferente, se puede investigar utilizando la estimulación eléctrica de la rama interna del nervio laríngeo superior tanto en animales como en humanos.

Si registramos la respuesta aductora mediante la electromiografía en los sujetos despiertos, tras estimulación percutánea podemos observar dos tipos de respuesta (Fig.17):

1. la precoz ipsilateral (R1) por contracción del músculo tiroaritenosoide que aparece con retraso de unos 17 ms desde el momento de la estimulación y

- la respuesta tardía que es bilateral (R2), aparece con una latencia de 60 ms y cierra ambas cuerdas vocales durante un corto periodo de tiempo ⁵⁷.

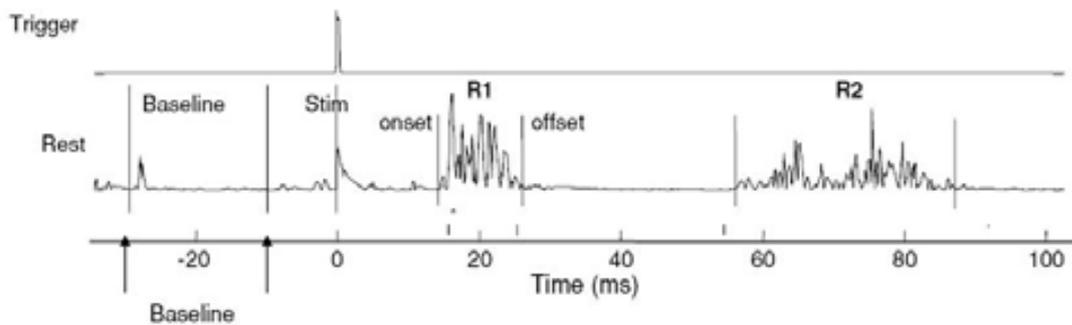


Fig. 17 Respuestas R1 y R2 en el músculo tiroaritenoido a la estimulación eléctrica del nervio laríngeo superior. Modificado ⁵⁸

En los estudios experimentales realizados por Sasaki al estimular de manera unilateral la rama interna del nervio laríngeo superior se describen hasta tres tipos de respuesta refleja ^{59,60}:

- Una primera respuesta muy rápida de aducción de la cuerda ipsilateral (R1), que aparece con una latencia de aproximadamente 10-18 ms en estudios experimentales en animales bajo anestesia general. Esta respuesta de corta latencia se ha observado también, de manera constante, en los humanos en condiciones de anestesia general.
- Una segunda respuesta evocada de corta latencia (entre 10 y 18 ms) con la aducción simultánea de la cuerda contralateral. Esta respuesta también es conocida como reflejo cruzado aductor. Aunque este tipo de reflejo es habitual en gatos anestesiados, es menos evidente en los perros y muy raro en los humanos.
- La tercera respuesta incluye la respuesta de larga latencia R2 (entre 50 y 80 ms) con

la consecuente respuesta de ambas cuerdas vocales. Esta respuesta tiene poca incidencia si empleamos anestesia general y se observa con más frecuencia en sujetos despiertos ⁵⁷.

Parece ser que ambas respuestas reflejas (R1 y R2) son independientes si consideramos su comportamiento tras el incremento progresivo de la intensidad del estímulo del nervio laríngeo superior, sugiriendo que cada uno de los componentes del reflejo puede utilizar una vía neural distinta ⁶¹.

Reflejo glótico durante anestesia general.

En el modelo animal en condiciones de anestesia general se ha observado la aparición de la respuesta ipsilateral con independencia del grado de anestesia. Sin embargo la respuesta contralateral desaparece conforme se profundiza el grado de anestesia. El reflejo aparece con la estimulación directa de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad aplicada entre 1 y 2 mA ⁶².

Posiblemente los grados profundos de anestesia afectan a la facilitación central del reflejo, predisponiendo a la pérdida del reflejo glótico. Teniendo en cuenta estas observaciones, es sumamente difícil observar la presencia del reflejo aductor cruzado R1 y de larga latencia R2 en los animales y humanos en condiciones de anestesia general profunda ⁶³.

La respuesta refleja en cualquier músculo está vinculada a la presencia de los husos que son los sensores que detectan cambios de la longitud de las fibras. Su estimulación resulta en la contracción refleja de las fibras motoras en su compartimento. Parece ser que recientemente se ha podido confirmar la presencia de los husos también en el músculo tiroaritenoides, aunque tienen una distribución, morfología y función muy peculiar y diferente de los encontrados en otros músculos. Se agrupan en forma del arco

por debajo del ligamento vocal extendiéndose a lo largo de la superficie superior y medial del músculo. Esta distribución de los husos posiblemente permite que el sistema nervioso central controle los cambios de la longitud de la parte más móvil de las cuerdas vocales³⁶.

Finalmente cabe apuntar que el reflejo de cierre glótico proviene de la estimulación de los mecanorreceptores y quimiorreceptores de la mucosa y no se desencadena con estiramiento de los músculos intrínsecos de la laringe⁶⁴.

La influencia de la relajación muscular en la aparición del reflejo.

En los experimentos animales se ha demostrado que la relajación muscular provoca el aumento del umbral para los reflejos de la vía respiratoria y disminuye la magnitud de su respuesta. Posiblemente este fenómeno se debe al cambio en la retroalimentación (feedback) sensitiva desde la laringe. Aparece la modificación del patrón de los receptores causada por la relajación muscular y la que modifica posteriormente la respuesta del centro respiratorio⁶⁵.

La influencia del propofol y fentanilo sobre los reflejos.

Los reflejos que protegen la vía respiratoria como la tos, espiración y apnea pueden ser abolidos durante la anestesia general. El propofol es un anestésico intravenoso utilizado con mucha frecuencia, habitualmente en combinación con fentanilo. El propofol utilizado de la manera aislada no influye de la manera importante en los reflejos de la vía respiratoria. Sin embargo, el fentanilo actúa a nivel del sistema nervioso central deprimiendo la respiración que a su vez provoca aumento de la hipercapnia. Es capaz de frenar el reflejo tusígeno a nivel central.

Se ha observado que con el aumento de la dosis de fentanilo durante la anestesia con propofol se alteran los reflejos de las vías aéreas en modo dosis dependiente excepto la apnea con laringoespasma que es el menos vulnerable especialmente en condiciones de normocapnia y ventilación mecánica ⁶⁶.

Las investigaciones sobre la inervación de la laringe en diferentes modelos animales nos ayudan a entender la complejidad de la neuroanatomía humana y su funcionalidad.

La laringe canina es el modelo preferido y ha sido empleada en muchos de los experimentos dado su parecido en tamaño y anatomía a la laringe humana. Aunque existen diferencias como por ejemplo la falta del ligamento vocal en la laringe del perro⁶⁷. Gracias a este modelo a lo largo de los siglos se empieza a dibujar un entretramado de conexiones entre los nervios laríngeos que discrepan del patrón clásico de la inervación. En 1932 Lemiere estudiando la inervación de la laringe canina observó que la rama externa del nervio laríngeo superior no solamente proporciona la inervación al músculo cricotiroideo sino que en ocasiones también atraviesa el músculo tiroaritenosoide dirigiéndose a la mucosa inferior de la cuerda vocal en su porción anterior. Consideró que el nervio laríngeo externo debía inervar al músculo tiroaritenosoide aunque no lo pudo confirmar mediante la estimulación de la rama por falta de respuesta del músculo. Medio siglo más tarde, Sanders utilizando nuevas técnicas de tinción demuestra la existencia de la conexión entre el nervio laríngeo externo y el músculo tiroaritenosoide, en 4 de las 10 disecciones. La rama cruzaba el seno piriforme y entraba lateralmente en el músculo tiroaritenosoide. Pero tampoco pudo confirmar la existencia de fibras motoras.

Hubo que esperar hasta los años noventa cuando Nasri (1997) realizó un estudio in vivo en el modelo canino y consiguió la confirmación electromiográfica de la presencia de fibras motoras en la conexión entre el nervio laríngeo externo y el músculo tiroaritenosoide. También demostró que la mayor actividad de esta rama se centra en el tercio anterior de la cuerda vocal⁴⁷.

Existe otra conexión, denominada anastomosis de Galeno cuya función no está bien establecida. La conexión entre el nervio recurrente y la rama interna del nervio laríngeo superior fue estudiada en el modelo canino por Vogel en los años 50, y asumió su naturaleza exclusivamente sensitiva al no obtener contracción muscular durante la estimulación eléctrica. Las nuevas investigaciones neuroanatómicas de Henry (1988)

ponen en duda esta conclusión al encontrar indicios que la conexión contiene tanto elementos sensitivos como motores. Hay que mencionar también los estudios de Freche y Boudin que al estimular el nervio laríngeo superior se obtiene la contracción tónica de las cuerdas vocales y las bandas ventriculares ³¹. También existen estudios que demuestran que algunas fibras de la rama interna del nervio laríngeo superior terminan en el músculo interaritennoideo, aportando posiblemente la inervación motora ⁶⁸.

Otro de los modelos animales utilizado en la investigación fue el conejo. En el estudio de disección de las laringes de conejos se encuentra algunas características comunes de distribución de los nervios con un modelo humano. En este modelo se demostró que el nervio recurrente aporta las ramas separadas al músculo abductor (cricoaritennoideo posterior) y a los músculos aductores (tiroaritennoideo, interaritennoideo, cricoaritennoideo lateral). También se confirmó la presencia de algunas de las conexiones internerviosas entre las ramas que inervan al músculo cricoaritennoideo posterior e interaritennoideo, entre las ramas que inervan el músculo tiroaritennoideo e interaritennoideo y finalmente entre las ramas que inervan el músculo interaritennoideo y cricoaritennoideo lateral ⁶⁹.

También se investigó la inervación de la laringe en gatos. Los estudios han proporcionado información sobre la inervación en la zona subglótica que hasta ese momento se pensaba que dependía exclusivamente del nervio recurrente. Tanaka (1986) descubre que en la inervación de la subglotis participa también el nervio laríngeo interno y además lo hace de manera bilateral ⁶⁸.

La valoración general que puede extraerse de todos estos estudios experimentales en animales es que el patrón de inervación motor de la laringe es mucho más complejo que lo que describe la neuroanatomía clásica y por tanto apoyan la hipótesis fundamental de esta tesis. Sin embargo en humanos falta la demostración que las conexiones entre los tres nervios laríngeos tienen función motora.

Para poder investigar la función de los nervios y patrones de la inervación muscular recurrimos a la electromiografía. Esta exploración tiene muchas implicaciones sobre todo en el diagnóstico. Proporciona información de la integridad nervioso-muscular, de la velocidad de la conducción nerviosa, nos ayuda a diferenciar la compresión del daño nervioso e identifica los signos de denervación, fasciculaciones, miotonías y neuromiotonías en los músculos. Pero también tiene utilidad en el estudio de anatomía funcional.

La electromiografía es un registro de los potenciales generados voluntariamente en el músculo. En nuestro estudio, dado las condiciones intraoperatorias en realidad se utilizó la neuroelectromiografía. Esto implica el registro de potenciales como resultado de la estimulación eléctrica directa de los troncos nerviosos que mantienen la conexión anatómica o funcional con la zona de registro.

Se establece que respuesta eléctrica en un músculo cuando se estimula un nervio demuestra que la inervación de ese músculo depende de ese nervio, siempre y cuando se haya evitado la contaminación eléctrica.

La base de la exploración electrofisiológica es el registro de los potenciales que provienen de las células excitables, es decir de las células capaces de generar por si mismas los impulsos electroquímicos en sus membranas y utilizarlos para la transmisión de señales a lo largo de ellas. La capacidad de mantener la diferente concentración de iones entre el espacio extra e intracelular crea un potencial de membrana que se mantiene gracias a la impermeabilidad de la membrana en reposo.

Potenciales eléctricos de suficiente intensidad en la membrana axonal provocan cambios en la actividad de los canales iónicos que dependen del voltaje. El potencial de acción creado induce una corriente eléctrica en las zonas cercanas de la membrana abriendo los canales. De esta forma se crea un nuevo potencial de acción, que se propaga a lo largo del axón o de la fibra muscular. Posteriormente se repolariza la membrana gracias a la bomba de Na^+ - K^+ que trabaja contra el gradiente iónico⁷⁰.

a. UNIDAD MOTORA.

En el músculo podemos distinguir la unidad funcional básica llamada la unidad motora (UM). La UM comprende un grupo de fibras musculares inervado por una única motoneurona de la médula espinal o de un núcleo motor del tronco cerebral. La despolarización recorre todo el axón de la motoneurona hasta las terminaciones sinápticas provocando la despolarización, casi sincrónica, en todo el conjunto de fibras musculares de la unidad motora.

La unidad contráctil de la musculatura del esqueleto es la fibra muscular, que al ser estimulada se contrae. La activación de cada fibra muscular se realiza a través del axón de la fibra motora que la inerva. La actividad de una unidad motora es el elemento individualizable mínimo de la contracción muscular.

El número de fibras musculares que contiene cada unidad motora se conoce como tasa de inervación y es la que determina la finura de los movimientos que pueda ejercer el músculo. El análisis cuantitativo de las unidades motoras realizado por Humberto Santo Nieto en 128 hemilaringes humanas evidencia que la media oscila entre 268 para el músculo interaritenoides y 431 para el músculo cricotiroideo, sin que se demuestre la influencia de la edad ni el lado estudiado. También disponemos de datos sobre el tamaño de la UM en la musculatura intrínseca de la laringe humana según los cuales, la más pequeña es la UM del músculo tiroaritenoides, le siguen las del músculo cricoaritenoides posterior, lateral e interaritenoides (Fig.18). La unidad motora más grande la posee el músculo cricotiroideo que supera en 3 veces la UM del músculo tiroaritenoides⁷¹.

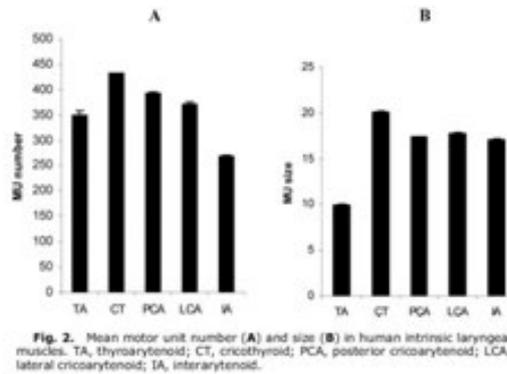


Fig. 18 Número y tamaño de las unidades motoras de los músculos intrínsecos de la laringe. MU: unidad motora ⁷¹.

La fuerza de contracción del músculo depende del número de unidades motoras que reciban la orden de la despolarización y también de la frecuencia de estimulación de cada axón.

b. POTENCIAL DE LA UNIDAD MOTORA (PUM)

El potencial de la unidad motora (PUM) es la representación temporo-espacial del fenómeno eléctrico ocasionado por la contracción de las fibras que constituyen la unidad motora.

El electromiograma (EMG) registra la actividad del músculo y en él se puede distinguir la activación de las unidades motoras, las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de las unidades entre sí.

Cada unidad motora ocupa un territorio donde es posible registrar su actividad. En la práctica dado que las fibras se entrelazan con las unidades vecinas el territorio de registro es algo mayor al que realmente ocupan sus fibras.

Una de las dificultades que se presenta a la hora de interpretar el resultado de EMG es el fenómeno de “cross talk” que no es más que la existencia de las señales que proceden de los músculos adyacentes a los estudiados. Dan lugar a falsos positivos. Se sospecha una respuesta positiva falsa cuando aparecen respuestas musculares en zonas que no pueden ser explicadas por la presencia de alguna conexión anatómica. Además los registros suelen tener una morfología y amplitud diferente de los potenciales verdaderos. El riesgo de obtener respuestas de las zonas vecinas se puede reducir utilizando electrodos bipolares y en el caso de estimulación directa del nervio, utilizando preferentemente los terminales bipolares.

c. LA MORFOLOGÍA DEL POTENCIAL DE LA UNIDAD MOTORA (PUM)

El potencial de la unidad motora se define por diferentes parámetros (Fig.19):

1. **La duración.** Se define como el tiempo desde la deflexión inicial al retorno a la línea de base y refleja el número y dispersión espacial de las fibras musculares de la unidad motora.

Los valores medios normales se hallan entre 5 y 15 ms pero pueden variar según el músculo, edad y temperatura. Para el registro realizado en condiciones de anestesia general empleando el electrodo de aguja bipolar se obtiene una duración media del potencial de acción de $4,3 \pm 0,4$ ms⁷².

2. **La amplitud** del PUM corresponde a la distancia entre picos del registro del PUM y refleja la actividad de un relativo escaso número de fibras musculares

d. POTENCIALES CARACTERÍSTICOS EN EL ELECTROMIOGAMA (EMG).

La actividad espontánea se caracteriza por la presencia de potenciales de la unidad motora (PUM) que representan la suma de distintos potenciales de acción de los grupos de fibras musculares que se están contrayendo casi simultáneamente. Pueden presentar una morfología monofásica, bifásica o trifásica y en ocasiones polifásica. Su duración está comprendida entre 2 y 15 ms y su amplitud entre 100 pV y 2 mV. Sin embargo estos valores dependen del tipo de electrodo empleado, como demostró Tschopp comparando diferentes electrodos utilizados en la monitorización del nervio recurrente en condiciones intraoperatorias bajo anestesia general ⁷² y del tipo de músculo (número de fibras de la unidad motora) ⁷³.

También comprobó, como puede verse en la tabla 1, que la amplitud de los potenciales obtenidos depende del tipo de electrodo utilizado ⁷². (Tabla 1)

	Electrodo bipolar colocación transligamento	Electrodo monopolar endolaríngeo	Electrodo superficial intralaríngeo
Amplitud media de los potenciales (mV)	2.37 ±1.8	1.61±1.6	0.35±0.4
Fiabilidad (%)	100	100	76
Relajación muscular	permitida	permitida	no permitida

Tabla 1 Potenciales musculares obtenidos tras la estimulación del nervio recurrente utilizando diferentes electrodos ⁷².

Los electrodos de aguja tienen muchas ventajas desde el punto de vista electrofisiológico. Dado que la impedancia es menor que en otro tipo de electrodos el potencial registrado es más amplio. Además el registro no se afecta por los relajantes musculares, ni por los movimientos respiratorios, hay menor tasa de pérdidas de señal, es fácilmente reproducible y las pérdidas de señal son más fáciles de interpretar ⁷².

e. POTENCIAL DE AGUJA

La inserción del electrodo permite observar breves descargas de pequeños potenciales que persisten algo más que el movimiento de implantación y cuyo origen probable es la irritación mecánica de las fibras musculares por el movimiento de la aguja. Una vez disparadas las ráfagas de inserción, cuando el músculo permanece en reposo no se registra ninguna actividad en el EMG. Si en estas condiciones se lleva a cabo una contracción débil del músculo, se verá un reducido número de potenciales de unidad motora siendo cada uno de ellos fácilmente identificable con amplios segmentos de la línea de base por el medio. Es lo que se denomina actividad de patrón simple. Si aumentamos la fuerza de contracción se incorporan nuevos potenciales que hacen más denso el trazado, reduciendo los tramos de la línea de base. Es lo que se define como trazado intermedio. Por último, si la contracción llega a ser máxima desaparecerá por completo la línea de base (patrón de interferencia). El patrón interferencial depende no solamente de la intensidad de la contracción, sino también del tipo de contracción (isométrica o isotónica). Los patrones de actividad pueden observarse en la figura 20.

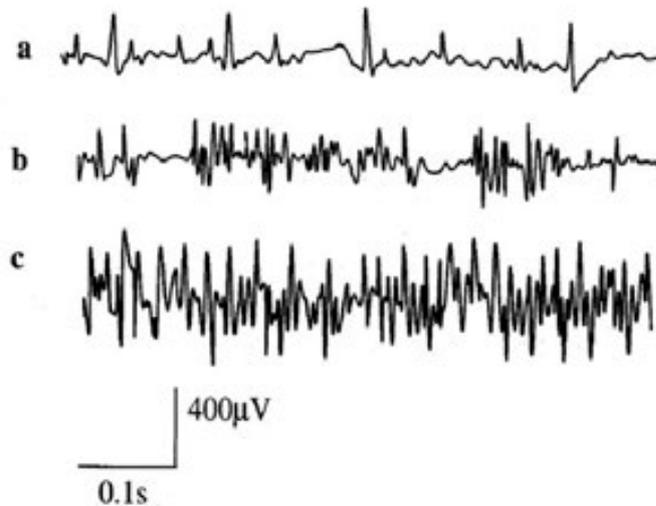


Fig. 20 Patrones de actividad en la contracción progresiva muscular.

a. Patrón simple; b. Patrón intermedio; c. Patrón interferencial.

(Rafael Barea Navarro. Instrumentación Biomédica. Departamento Electrónica. Universidad Alcalá.)

En un músculo en reposo inervado correctamente, la EMG presenta la línea basal recta que se ve afectada solamente en el momento de la inserción de la aguja provocando el arranque de la actividad, con posterior regreso a la línea basal. Con el aumento de la actividad motora voluntaria se observa incremento del número de las unidades motoras, que se suman formando el patrón de reclutamiento. En caso de denervación, la inhibición que produce la fibra nerviosa sobre la fibra muscular en condiciones normales desaparece dando lugar a los potenciales de fibrilación en el reposo. En caso que la lesión del nervio sea reversible, aparece la reinervación, donde una misma fibra nerviosa pasa a inervar diferentes fibras musculares apareciendo un gran número de potenciales motores polifásicos.

La cuerda vocal parética, dado la disminución del número de las unidades motoras que participan en los movimientos voluntarios, muestra potenciales de fibrilación en el reposo. En la cuerda que experimenta la reinervación se observa además los potenciales motores polifásicos como resultado del crecimiento de las fibras nerviosas que inervan las unidades motoras.

f. ESTIMULACIÓN

La intensidad del estímulo se mide en miliamperios (mA). La intensidad máxima de los equipos actuales oscila entre 30 y 50 mA y viene determinada, por la resistencia que existe entre los electrodos de estimulación y por la tensión de salida del estimulador.

En la Tabla 2 podemos observar el rango de la intensidad de la estimulación utilizada en diferentes estudios con diferentes tipos de electrodos ⁷⁴.

Estudio	Tipo de electrodo	Localización del electrodo	Estímulo (mA)
Rice y Cone-Wesson	intramuscular	tiroaritenoides	0.2-0.5
Beck y Maves	intramuscular	tiroaritenoides	0.25-0.65
Maloney	intramuscular	cricoaritenoides posterior	0.25-1.0
Rea	superficiales	zona postcricoides	0.5
Eisele	superficiales	glotis	0.2-0.6

Tabla 2 Intensidad de la estimulación utilizada en diferentes estudios con diferentes tipos de electrodos ⁷⁴.

La **frecuencia** del estímulo varía entre 1 y 2 Hz de forma rutinaria.

La **duración** del estímulo oscila entre 0,05 ms y 1 ms y consiste en un pulso cuadrado. Los estímulos de mayor duración pueden inducir una despolarización de otros nervios a distancias importantes del punto de estímulo, y falsear los resultados.

También pueden aparecer errores si la intensidad del estímulo aplicado es insuficiente (no supramáximo) o si su duración es excesiva. Por otro lado estímulos excesivamente

intensos pueden causar la dispersión de la corriente hacia las estructuras vecinas. Además, la velocidad de la conducción depende de la temperatura. De manera que por cada grado centígrado que disminuye la temperatura a partir de los 37 °C se reduce la velocidad 2.4 m/s. Por último existe la posibilidad de variaciones anatómicas que pueden determinar graves errores de interpretación.

Hay que mencionar también que la edad influye en la velocidad de conducción de fibras nerviosas. Generalmente a los 60 años de edad se observa disminución de la velocidad en 10%.

El estímulo sobre el nervio recurrente es completamente seguro y no se asocia con bradiarritmias, broncoespasmo ni lesión neural ⁷⁵.

ELECTROMIOGRAFÍA DE LA LARINGE

La electromiografía (EMG) de la laringe fue introducida por Weddel en el año 1944 y experimentó un avance prodigioso en la década de los años 50. En los primeros experimentos se intentó colocar los electrodos utilizando diferentes vías. Katsuki, por ejemplo, durante las intervenciones de la laringe pasaba un electrodo por la laringofisura. Portman utilizó el orificio de la traqueotomía. Finalmente, en 1956 Fink realizó el abordaje transcutáneo de la cuerda vocal, a través de la membrana cricotiroidea ⁵⁴. Desde los años 90 se ha incluido la EMG en el diagnóstico y tratamiento de los trastornos de la voz ⁷⁶. En la actualidad es la única prueba objetiva que valora la actividad neuromuscular.

De momento no existe consenso sobre la técnica idónea para la realización de la EMG laríngea aunque se está progresando mucho tanto en su estandarización como en la interpretación de los resultados obtenidos.

La técnica más aceptada es la percutánea que se realiza en un paciente despierto aplicando solamente la anestesia tópica. Para la correcta introducción de los electrodos se utilizan referencias anatómicas como el espacio cricotiroideo y el asta inferior del cartílago tiroideos. Modificando los ángulos de la inserción de la aguja vía trans membrana cricotiroidea se alcanza el músculo tiroaritenosoide y cricoaritenosoide lateral para su monitorización. El músculo cricotiroideo es el más fácil de localizar por su disposición anatómica, en cambio la monitorización del músculo cricoaritenosoide posterior es mucho más compleja, cruenta y requiere mucha experiencia.

La electromiografía también se puede realizar con el paciente bajo anestesia general. Puede anesthesiarse el paciente con el objetivo exclusivo de realizar la EMG o bien aprovechar una intervención sobre la laringe para realizar la EMG simultáneamente. La colocación de electrodos se puede realizar por la laringoscopia directa o dependiendo del tipo de intervención se puede utilizar la vía del abordaje quirúrgico.

La electromiografía tiene diferentes aplicaciones clínicas dentro de la laringología. Se citan los más habituales:

1. Para diferenciar la parálisis de la cuerda vocal de la fijación de la articulación cricoaritenosoidea, especialmente si afecta las dos cuerdas vocales. Puede ser útil en la planificación de la intervención quirúrgica ⁷⁷.

La sensibilidad de la EMG para el diagnóstico de la parálisis de la cuerda vocal puede variar desde 33% hasta 100%, con especificidad entre 12% y 50% ⁷⁸.

2. Para localizar la lesión en enfermedades como miastenia laríngea o disfonía espasmódica.

En la disfonía espasmódica los músculos presentan una función normal en el reposo, pero se activa de manera involuntaria la musculatura aductora o abductora durante la fonación. El registro EMG típico muestra un aumento de la activación muscular en reposo y coactivación en forma de “estallidos” de la actividad de los músculos aductores o abductores durante la fonación. El tratamiento con toxina botulínica mejora la clínica en la mayoría de los

pacientes y la EMG juega un papel primordial en la identificación de los músculos propensos al tratamiento ⁷⁷.

3. Para precisar el pronóstico de la recuperación en la parálisis de la cuerda vocal. En la literatura la sensibilidad de la EMG para pronosticar la recuperación de la movilidad oscila entre 12,8% y 100% ⁷⁶.

En un estudio retrospectivo realizado por Munin, los pacientes con parálisis de la cuerda vocal que tuvieron una gran disminución en el reclutamiento de las unidades motoras o bien su ausencia, presentaron en mayor proporción una parálisis permanente de la cuerda vocal. Según los criterios establecidos por los autores, la tasa de predicción en la recuperación de la movilidad de la cuerda vocal fue de 44,4% con una sensibilidad de 91% y especificidad de 44% ⁷⁹.

Los resultados obtenidos por Min sugieren que la EMG laríngea tiene su valor pronóstico más preciso si se realiza en la 6^a-7^a semana tras el inicio de los síntomas de la parálisis de la cuerda vocal ⁸⁰.

4. Para el diagnóstico topográfico de las lesiones a lo largo del nervio vago.
5. Para diferenciar las enfermedades laríngeas de origen central de las de origen periférico.
6. Para la valoración preoperatoria del estado de inervación de los músculos intralaríngeos en los casos de indicar la reinervación utilizando la técnica nervio-pedículo. Ya que el músculo inervado no acepta la inervación adicional la experiencia indica que cuando persiste una inervación residual o existe regeneración los resultados obtenidos con esta técnica son muy variables ⁸¹. También pertenece al futuro el empleo de EMG en la monitorización de las anastomosis neuroquirúrgicas en un potencial intento de la reinervación de la laringe humana.

7. Para monitorización de la integridad del nervio vago en la intervención sobre la médula oblongata o cavernoma del tronco de encéfalo, que presiona sobre el núcleo o en los tumores del foramen yugular ⁸².
8. Para monitorización del nervio recurrente durante la tiroidectomía o cirugía de las glándulas paratiroides, especialmente en casos de reintervenciones, después de la radioterapia, en enfermedades malignas y en la previsible distorsión anatómica ^{74,72}.
9. Para investigar la funcionalidad de las anastomosis experimentales en la reinervación de la laringe ⁸³.

LOS ELECTRODOS DE AGUJA.

El registro de la actividad electromiográfica puede verse considerablemente influido por el tipo de electrodos utilizado. El registro monopolar mide la variación del potencial entre el electrodo de aguja insertado en el músculo (cuya longitud total, excepto en la punta, ha sido aislada) y el electrodo de referencia colocado en la piel o tejido subcutáneo. Este tipo de configuración de los electrodos tiene tendencia a registrar la actividad neuromuscular de los tejidos adyacentes especialmente donde el músculo tiene tamaño reducido como ocurre en la musculatura intrínseca de la laringe. Se suele emplear este tipo de electrodos en la monitorización del tratamiento con toxina botulínica, pero no sirve para identificación de los músculos intralaringeos por separado ⁸⁴.

La utilización de los electrodos bipolares coaxiales introducidos en el año 1929 por Adrian (de aguja concéntrica o hooked-wire) reducen este fenómeno debido a la proximidad de los dos electrodos (<2 mm). El electrodo coaxial consiste en una aguja a través cuyo interior se introduce hasta 14 conductores metálicos aislados entre sí y con respecto a la aguja. Solamente los extremos de los conductores están libres del aislamiento y es la zona que captura de la señal procedente del músculo.

Los potenciales registrados por los electrodos monopolares son más grandes que los obtenidos utilizando los electrodos concéntricos. Este fenómeno se debe a las diferencias en la estructura de los electrodos. Los monopolares recogen los potenciales de su alrededor cubriendo el campo de 360 grados, mientras que los electrodos concéntricos que tienen una punta ovalada, detectan potenciales con un alcance de 180 grados.

Los electrodos tipo hooked-wire son más frágiles y se utilizan sobre todo en situaciones que requieren una cierta estabilidad del electrodo durante un tiempo considerable del registro y en los estudios de los músculos en movimiento. Su mayor inconveniente es la imposibilidad de recolocación del electrodo y su poca selectividad.

Los electrodos bipolares de aguja son de elección en registros de corta duración y con necesidad de cambios de ubicación. Facilitan el registro de la actividad motora de varios sitios desde el mismo punto de inserción, como ocurre en el registro EMG de los músculos intrínsecos de la laringe. En un estudio de Tschopp la fidedignidad de las respuestas registradas al estimular el nervio recurrente (intensidad de 0.7 mA, frecuencia de 3Hz) utilizando los electrodos bipolares fue de 100% a pesar de la relajación casi completa de la musculatura durante anestesia general ⁷². Además, gracias a su estructura reducen la posibilidad de falsos positivos.

Los electrodos bipolares han sido los electrodos utilizados en el nuestro estudio.

VALORES ESTÁNDAR DEL ELECTROMIOGRAMA.

En el estudio realizado por Rodríguez en el año 1990 se describe una técnica estándar para la realización de la EMG laríngea percutánea con el electrodo monopolar y se define los parámetros de normalidad del potencial de acción de la unidad motora (MUAP) para los dos músculos más accesibles, como son el músculo cricotiroideo y el músculo tiroaritenoides medidos durante la fonación ^{85,86}. En la tabla 3 se muestran los

valores normales del potencial de acción de la unidad motora durante la fonación (Tabla 3).

Músculo	Amplitud (μV) media +DE	Duración (ms) media +DE
tiroaritenoides	426 \pm 194	3.5 \pm 1.0
cricotiroideo	500 \pm 224	4.4 \pm 1.6

Tabla 3 Valores del potencial de acción de la unidad motora durante la fonación ⁸⁶.
DE Desviación estándar.

Inconvenientes de la EMG ⁷⁴

1. Elevado coste del equipo.
2. Tiempo necesario para la colocación de electrodos.
3. **Falsos negativos.** Los falsos negativos se caracterizan por la ausencia de la respuesta muscular a la estimulación del nervio cuando debería existir respuesta. No siempre significa una errónea identificación del nervio, sino que puede deberse a la incorrecta colocación de electrodos, bloqueo neuromuscular, fatiga neuromuscular debida a la repetición seguida del estímulo, incorrecta conexión del equipo o mala técnica de estimulación. También hay que tener en cuenta la posibilidad de la lesión iatrógena de las ramas nerviosas durante la disección (para evitar este riesgo, la disección de la laringe debe efectuarse por parte de los cirujanos expertos). Por último no se debe menospreciar la

influencia de la radioterapia en la formación del tejido cicatricial que atrofia las fibras musculares.

En los estudios actuales no se ha encontrado evidencias que el uso de relajantes musculares influye en el resultado de EMG utilizando las agujas bipolares ⁷². Sin embargo en nuestro estudio se decidió reducir el grado de relajación de los pacientes durante el tiempo de estimulación.

4. **Falsos positivos.** Los falsos positivos se definen por la obtención de una respuesta eléctrica que no es resultado de la contracción del musculo estudiado. Se debe a diferentes causas:

- **Contaminación eléctrica por la actividad eléctrica de músculos vecinos o por utilizar electrodos monopolares.**

Existe la posibilidad de contaminación del registro con los potenciales procedentes de los músculos vecinos de los músculos estimulados debido al fenómeno de “cross talk” o “conversación cruzada”. Durante la estimulación percutánea a baja intensidad de los músculos se activan primero las estructuras nerviosas que tienen el umbral de activación más bajo que las fibras musculares. Para que ocurra la contracción muscular, el impulso tiene que cruzar la sinapsis, por lo que hay que contar con el bloqueo farmacológico de la transmisión neuromuscular o tener en cuenta el músculo denervado. En la laringe donde los músculos tienen un tamaño relativamente pequeño es prácticamente imposible obtener la estimulación directa de las fibras musculares sin que se activen previamente las fibras nerviosas. Por lo tanto, para la estimulación con 3 mA de intensidad es razonable asumir que se activan solamente las estructuras nerviosas en la zona estimulada. Con las estimulaciones mayores de 5 mA es posible que se contraigan los músculos vecinos. En el caso de las laringes

paralizadas con succinilcolina se necesita intensidades de 20 mA para obtener el movimiento ⁸⁶.

El riesgo de estimular las zonas vecinas se reduce si utilizamos los electrodos bipolares.

- **Confusión entre artefacto y potencial verdadero.**

Analizando el registro de EMG se puede encontrar potenciales difíciles de interpretar y cayendo en la confusión dar por válido un artefacto. Para disminuir el riesgo de falso positivo hay que tener en cuenta que el potencial falso tiene una amplitud más baja que un potencial verdadero y no se incrementa de la misma manera cuando se incrementa la intensidad del estímulo. Establecer un umbral mínimo alto de detección del potencial puede disminuir significativamente este fenómeno.

- **Colocación incorrecta del electrodo**

Otra de las causas de aparición de falsas respuestas electromiográficas puede ser la incorrecta colocación de los electrodos. Sin embargo la buena visibilidad de los músculos durante la cirugía abierta reduce este riesgo considerablemente.

Los resultados de estudios modernos de neuroanatomía de la laringe sugieren que el patrón motor funcional aceptado hasta ahora es insuficiente. El gran número de conexiones que se establecen entre los tres nervios laríngeos sugiere que la inervación motora de la laringe no está tan compartimentada como se describe en el patrón clásico. Por lo que nuestras hipótesis de trabajo son:

1. El nervio recurrente no solo inerva al músculo cricoaritenoides posterior, interaritenoides, tiroaritenoides y cricoaritenoides lateral, como se acepta hasta ahora, sino que también puede inervar en ciertas ocasiones al músculo cricotiroides.
2. El nervio laríngeo interno no es un nervio sensitivo puro, sino que puede llevar fibras motoras que intervengan en la movilidad de la cuerda vocal.
3. El nervio laríngeo externo que clásicamente se acepta que inerva exclusivamente al músculo cricotiroides, podría inervar a otros músculos intrínsecos de la laringe.

1. Investigar si el nervio recurrente puede inervar al músculo cricotiroides en un porcentaje de casos y en los casos que así sea, investigar si está presente la conexión cricotiroides.
2. Investigar si el nervio laríngeo interno puede tener, además del papel sensitivo, algún papel motor inervando algunos músculos intrínsecos de la laringe.
3. Investigar si el nervio laríngeo externo puede inervar a otros músculos intrínsecos de la laringe humana.
4. Investigar si las conexiones nerviosas entre los tres nervios laríngeos pueden tener uniones motoras.
5. Investigar, como colofón de las investigaciones de los cuatro objetivos anteriores, si el patrón funcional motor clásico de la laringe es suficiente para describir la respuesta electromiográfica global de una hemilaringe humana.

1. Material

El estudio se realizó sobre 13 pacientes (10 hombres y 3 mujeres) sometidos a la laringectomía total por su patología tumoral. La mayoría de los pacientes presentaron estadio tumoral III (7/13), dos casos fueron considerados estadio IVa, uno estadio II en la localización glótica y tres restantes presentaron recidiva tumoral en el estadio II tras el tratamiento previo con radioterapia. La edad media de los pacientes fue de 64.4 años (52-81 años). Siete de los trece pacientes (54 %) incluidos en el estudio recibieron algún tratamiento previo del tumor (4 quimioterapia y 3 radioterapia).

La selección de los candidatos se realizó en las reuniones del Comité Oncológico de Tumores Malignos de Cabeza y Cuello celebrados en nuestro hospital. No se incluyó casos donde la disección y monitorización podrían alterar el resultado oncológico o aquellos en los que durante la valoración intraoperatoria se observó que la realización del estudio podría poner en riesgo el margen de seguridad oncológica del paciente (en los casos de progresión tumoral). Los pacientes fueron informados de los propósitos del estudio y que el proceso de recogida de datos alargaría el tiempo quirúrgico en pocos minutos, sin causar en ningún momento el incremento de riesgo de aparición de complicaciones. Los pacientes autorizaron su participación en el estudio con la firma del consentimiento. Este estudio contó con la aprobación del Comité de Ética del Hospital de la Santa Cruz y Sant Pau.

Paciente	Edad/Sexo	TMM	Lado estudiado	Tratamiento previo	Conexiones anatómicas	Conexiones EMG	Reflejo	Patrón electromiográfico
1	81/M	T3N1M0 derecho	I	ninguno	incompleta y rama ciclotónica	incompleta/ciclotónica	reflejo glúteo	patrón atípico
2	54/H	T4N1M0 bilateral	I	ninguno	no	ciclotónica		patrón atípico
3	71/M	T3N1M0 derecho	I	Quimioterapia (1 ciclo)	ciclotónica	ciclotónica		patrón atípico
4	79/H	T3M1N0 izquierdo	D	ninguno	rama profunda que atraviesa m. ciclotónico	no	atefactado	atefactado
5	60/M	T3N1M0 izquierdo	D	Quimioterapia (3 ciclos)	ciclotónica	ciclotónica		patrón atípico
6	63/H	T2N1M0 recidiva	I	Radioterapia	no	no	reflejo glúteo	patrón clásico
7	65/H	T3N1M0 izquierdo	D	Quimioterapia (3 ciclos)	incompleta	no	reflejo glúteo	patrón clásico
8	63/H	T3N1M0 derecho	I	ninguno	no realizada	no		patrón clásico
9	52/H	T3N1M0 izquierdo	D	Quimioterapia (3 ciclos)	no realizada	ciclotónica		patrón atípico
10	68/H	T2N1M0 bilateral	D	ninguno	no realizada	no	reflejo glúteo	patrón clásico
11	57/H	T2N1M0 recidiva	D	Radioterapia	no realizada	no		patrón clásico
12	61/H	T2N1M0 recidiva	D	Radioterapia	no realizada	ciclotónica	reflejo glúteo	patrón atípico
13	60/H	T3N2cM0 seno piriforme derecho	I	Quimio-radioterapia del tumor de orofaringe	no realizada	no	reflejo glúteo	patrón clásico

2. Métodos.

2.1 Equipo

El estudio de la electromiografía laríngea se realizó con un aparato modelo NIM-II (Medtronic Xomed®) que permite la recogida de los potenciales de acción a través de cuatro canales independientes (Fig. 21). Este equipo registra los potenciales en un rango entre 20 μV hasta 2500 μV , ofreciendo unas intensidades de estímulo desde 0.01 mA hasta 3.00 mA con una duración de 50 μseg , 100 μseg o 250 μseg .



Fig.21 Modelo NIM-II. (Medtronic Xomed®)

Se utilizó los electrodos de aguja bipolares del modelo Prass Paired EMG Electrode de 18mm (Medtronic Xomed®) y la aguja de estimulación del modelo Kartush Side-by-side bipolar (Medtronic Xomed®) (Fig.22).

En resumen, tanto la estimulación como la recogida de respuestas fueron bipolares. Los datos quedaron registrados en un dispositivo externo que permitió su impresión al instante. El monitor no disponía de la unidad para realizar el almacenamiento de los datos en un soporte digital.

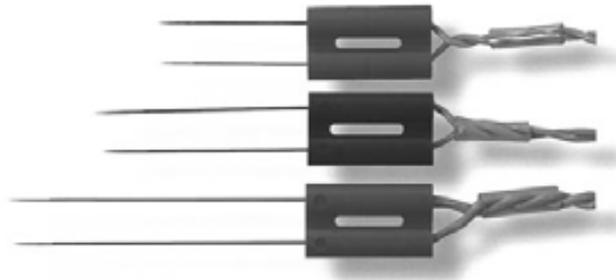


Fig. 22 Los electrodos y la aguja de estimulador.

2.2 Procedimiento

Durante la intervención de la laringectomía total se localizaron los tres nervios laríngeos en el lado no afecto por el tumor. Se identificó el tronco del nervio laríngeo superior con sus dos ramas, la rama externa e interna, a nivel de la membrana tiroidea. La localización del nervio recurrente se realizó antes de que se relacionara con el lóbulo tiroideo. El nervio laríngeo recurrente puede encontrarse habitualmente a no más de un centímetro por fuera del surco traqueoesofágico, o en el mismo surco a la altura del borde inferior de la glándula tiroidea. Al ascender hacia porción media de la glándula el nervio recurrente se localiza anterior al surco traqueoesofágico en la mayoría de los casos (41%) especialmente en el lado derecho, en el surco (33%) o posterior al surco (24%) predominantemente en el lado izquierdo⁸⁷. No obstante otros autores sostienen que ambos nervios recurrentes se

encuentran sistemáticamente en el surco traqueoesofágico cuando están a 2.5 cm de la entrada del nervio en la laringe ¹⁸. Durante su recorrido el nervio puede ubicarse inmediatamente por delante o por detrás de la arteria tiroidea inferior.

El nervio recurrente puede entrar en la laringe como un tronco único (54.6% de los casos en el estudio de Asgharpour) o dividirse en dos o más ramas. La división suele producirse a menos de 2 cm del cuerno inferior del cartílago tiroides (a 1.33 cm de media en el lado derecho y 1.26 cm en el lado izquierdo) ⁸⁷.

Los músculos cricoaritenideo posterior, interaritenideo, tiroaritenideo y el músculo cricotiroides se expusieron durante los pasos de la laringectomía total.

La laringe se abordó desde el lado contralateral a los músculos y nervios estudiados, solamente si se tuvo la certeza de no comprometer la seguridad oncológica del proceso. Se entró a través del seno piriforme y se rotó la laringe hacia el lado estudiado consiguiendo la exposición del músculo cricoaritenideo posterior e interaritenideo.

El músculo tiroaritenideo se monitorizó a través de la luz glótica. El músculo cricotiroides se expuso después de identificar el trayecto de la rama externa del nervio laríngeo superior y apartando la porción del constrictor inferior que lo cubre a nivel lateral.

A continuación se colocó los electrodos de aguja bipolares en cada músculo (Fig.23).

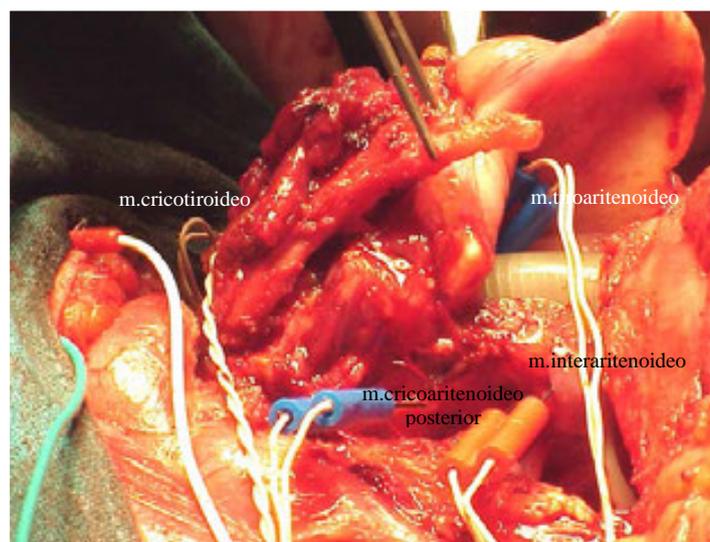


Fig. 23 Colocación de los electrodos.

Antes de proceder a la estimulación selectiva de los tres nervios laríngeos se comprobó el registro de EMG de los músculos monitorizados en situación basal. Posteriormente se identificó el umbral mínimo de estimulación (la mínima estimulación expresada en mA, que produce un potencial de acción). Finalmente se buscó el umbral máximo a partir del cual los aumentos de la intensidad de estimulación no se acompañaban de aumentos del potencial de acción. Este umbral máximo garantiza que todas las fibras del nervio fueran estimuladas. Una vez establecidos estos parámetros se realizó la estimulación selectiva de los tres nervios identificados. Se registró la intensidad y la localización de los potenciales de acción de los cuatro músculos.

En los casos en los que se obtuvieron respuestas que sólo podrían ser explicadas por la existencia de conexiones entre los nervios, se realizó la microdissección de la laringe por un experto, con la intención de identificar la conexión.

Una de las grandes dificultades y a la vez la virtud de esta tesis, es que se realizó en los pacientes “in vivo” durante una intervención compleja y en tiempo real. Estos hechos fueron determinantes para realizar, en algunas ocasiones, modificaciones del procedimiento adaptándolo a las circunstancias particulares de cada paciente. En consecuencia no siempre se pudo completar la estimulación a diferentes intensidades de forma homogénea y no en todos los casos se pudo realizar la disección anatómica cuando ésta podría dificultar la interpretación del estudio anatomopatológico de la pieza. Sin embargo el cumplimiento del procedimiento fue muy alto y, por lo tanto, suficiente para extraer conclusiones válidas.

Posteriormente se analizó los resultados de la EMG en colaboración con un experto en la materia (Dr. X. Navarro, catedrático de fisiología de la UAB) asumiendo que la respuesta de un músculo a la estimulación del nervio correspondiente tiene una

morfología bifásica y diferente para cada uno de los músculos laríngeos, posee la amplitud mayor que $50 \mu\text{V}$ y debe aparecer con una latencia menor de 2 ms.

La respuesta a la estimulación directa del músculo aparece con latencia menor de 0.1ms ⁶².

Los resultados se muestran en tablas que exponen los potenciales obtenidos en cada uno de los cuatro músculos monitorizados con la estimulación selectiva a diferentes intensidades de los tres nervios laríngeos. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresaron en μV . La valoración de resultado en la tabla se identificó con un código de colores. Para la respuesta válida se utilizó el color rojo, para la ausencia de la respuesta el número se marcó en negro y para la respuesta valorada como reflejo glótico se utilizó el color azul. Se muestran también los trazados originales registrados con el NIM- II para que pueda apreciarse mejor la latencia y tipo de potencial.

Se definió como “caso típico” aquellos resultados que cuadraron con el patrón clásico anatómico. Cuando, al estimular el nervio recurrente se espera respuesta del músculo cricoaritenoso posterior, músculo tiroaritenoso y el músculo interaritenoso sin obtener registro del músculo cricotiroideo. Al estimular la rama interna del nervio laríngeo superior es de esperar solamente la respuesta refleja del músculo tiroaritenoso y no respuesta del resto de los músculos. Finalmente al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior, se espera una respuesta exclusiva del músculo cricotiroideo.

Los casos en los que se observaron respuestas no concordantes con el patrón anatómico clásico se describieron como atípicos.

CASO 1.

Mujer de 81 años con una tumoración exofítica que afectó a la banda, el ventrículo derecho y cuerda vocal derecha con la parálisis de la cuerda.

Tumor: T3N0M0 transglótico derecho

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado con infiltración de la comisura anterior.

Metodología:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 4).

Intensidad estímulo (mA)	Recurrente		Laríngeo Interno			Laríngeo externo		
	0.25	1.0	0.25	1.0	2.0	0.25	1.0	2.0
M. cricotiroideo	36	330	10	43	49	1217	3306	4884
M. tiroaritenoido	251	2532	17	211	289	14	606	754
M. cricoaritenoido posterior	862	1602	23	37	64	15	13	32
M. interaritenoido	752	3919	45	120(439)	180(772)	35	140	231

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 4 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

Se realizó la microdissección de la hemilaringe izquierda dado la presencia de las respuestas electromiográficas que solamente se podrían explicar por la existencia de las conexiones entre los nervios laríngeos (Tabla 4).

- Se encontró la conexión tiroaritenoidoidea.
- No se identificó claramente la conexión cricotiroidea, pero el nervio laríngeo externo daba algunas fibras directas al músculo cricoaritenoido lateral y que alcanzaban el músculo vocal.

Valoración de los resultados:

El registro que se obtuvo en el músculo cricotiroides al estimular el nervio recurrente (intensidad de 1 mA) parece bien estructurado pero con poca amplitud (330 μV) en comparación con otras respuestas: 1602 μV en el músculo cricoaritenideo posterior, 2532 μV en el músculo tiroaritenideo y 3919 μV en el músculo interaritenideo (Fig.24b). La respuesta se consideró débil y no completa. Posiblemente refleja el escaso número de unidades motoras inervadas por la conexión. Además, la aparición de la respuesta del músculo tiroaritenideo (606 μV) al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1 mA parece corroborar la presencia de la conexión cricotiroides (Fig.26b). Sin embargo en la microdissección se encontró solamente fibras nerviosas procedentes de la rama externa del nervio laríngeo superior que penetraban en los músculos cricoaritenideo lateral y en el músculo tiroaritenideo sin establecer una conexión evidente con el nervio recurrente.

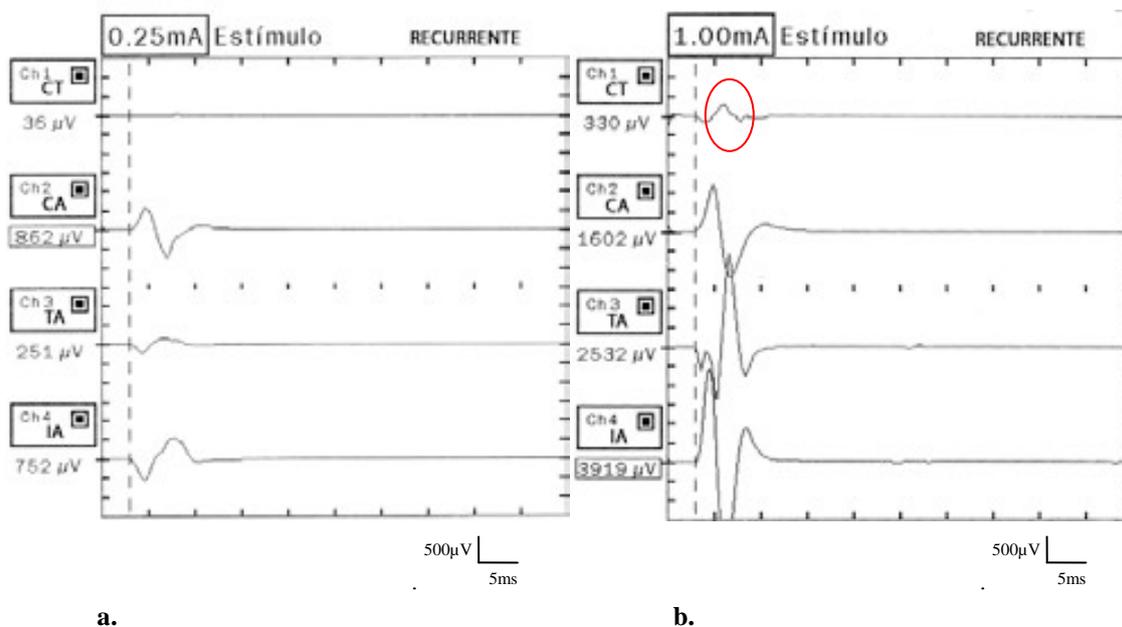


Fig. 24 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de a. 0.25 mA b. 1 mA Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

La respuesta muscular que se obtuvo al estimular el nervio laríngeo interno tiene varios componentes. A nivel del músculo interaritenosoide apareció una respuesta directa a los 3.5 ms (estimulación con 1 mA) con una amplitud de 120 μV seguida por la respuesta con latencia de 16 ms y una curva polifásica de amplitud máxima de 439 μV y una duración de 20 ms (Fig.25a). Cuando se aumentó la intensidad del estímulo a 2 mA se obtuvo unas respuestas parecidas a las anteriores pero con acortamiento de la latencia de la respuesta directa a 3 ms y un aumento de la amplitud (180 μV) con respuesta polifásica que apareció con la latencia de 21.5 ms y una amplitud de 772 μV (Fig.25b). Sin embargo, este patrón de respuesta atípica en el reflejo glótico podría ser una respuesta muscular directa (M).

Por otro lado el músculo tiroaritenosoide también respondió a la estimulación del nervio laríngeo interno (1 mA) como se demuestra al observar ondas polifásicas que aparecieron con una latencia de 20 ms, una amplitud de 211 μV y una duración de 7,5 ms (Fig.25a). La amplitud aumentó hasta 289 μV con una estimulación de 2 mA alcanzando una duración de 16 ms (Fig.25b). Este patrón es típico de reflejo glótico y aparece en ocasiones cuando se estimula el nervio laríngeo interno (Fig.25a y b).

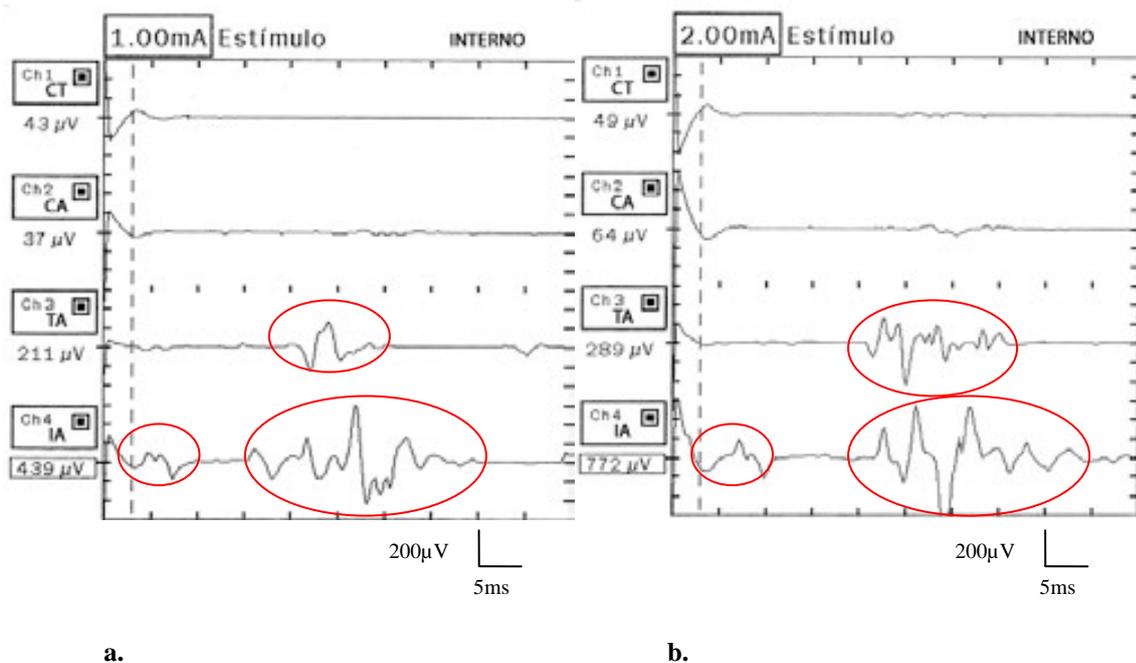


Fig. 25 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 1.0 mA b. 2.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

La estimulación del nervio laríngeo externo causó una respuesta electromiográfica clásica a nivel del músculo cricotiroideo de 1217 μV de amplitud con una intensidad de 0.25 mA (Fig.26a) que aumentó hasta 3306 μV al incrementar el estímulo a 1 mA (Fig.26b). Además apareció un potencial a nivel del músculo tiroaritenoido de 606 μV (Fig.26b) que podría corresponder con la conexión nerviosa encontrada en la microdissección.

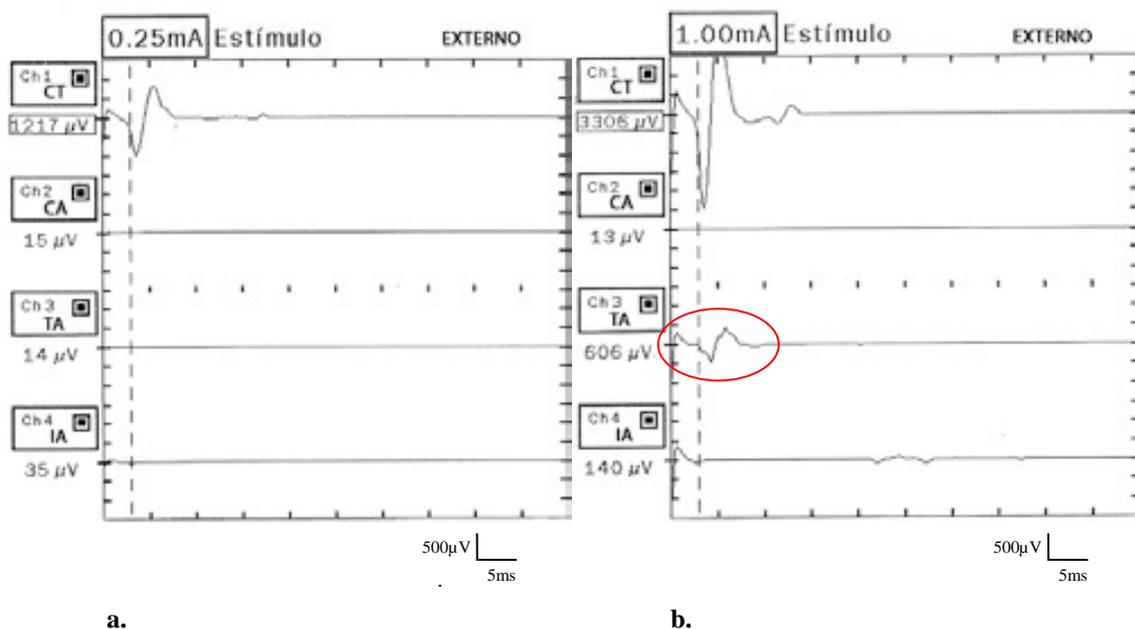


Fig. 26 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 0.25 mA b. 1.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

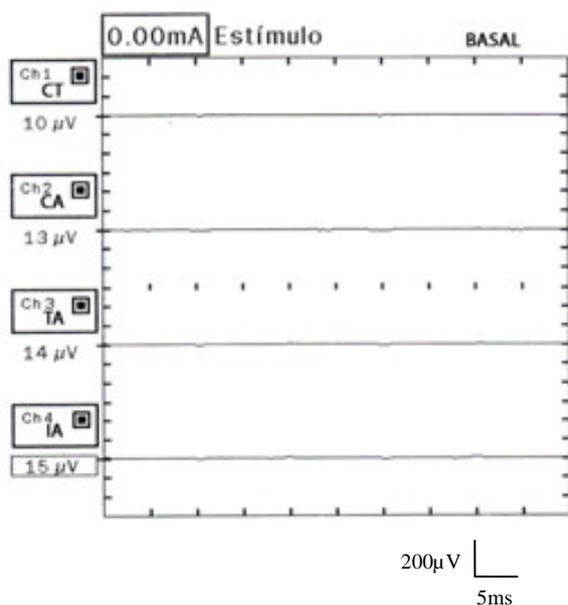


Fig. 27 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- Patrón “atípico” (no clásico) de la electromiografía porque se obtuvo respuesta del músculo tiroaritenoido al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior, y una respuesta del músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente.
- Conexión entre el nervio recurrente y el nervio laríngeo externo detectada en la EMG que coincidió con las fibras encontradas en la disección.
- Presencia de la conexión tiroaritenoida en la disección anatómica pero sin respuesta en la EMG.
- Presencia del reflejo glótico.
- Respuesta directa del músculo interaritenoido cuando se estimuló el nervio laríngeo interno.

CASO 2.

Paciente varón de 54 años con tumor gloto-supraglótico de predominio derecho que se extendía desde el pie epiglótico y la banda ventricular en su tercio anterior bilateral hasta la comisura anterior.

Tumor: T4N0M0.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso infiltrante bien diferenciado.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- El electrodo situado en el músculo tiroaritenoides izquierdo estuvo en contacto con tumor.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 5)

	Recurrente		Laríngeo Interno	Laríngeo externo	
	0.3	1.7	1.7	0.3	1.7
Intensidad estímulo (mA)					
M. cricotiroideo	355	1181	69	7441	8111
M. tiroaritenoido	394	1425	49	75	72
M. cricoaritenoido posterior	4137	5762	53	20	23
M. interaritenoido	3524	5717	110	34	25

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 5 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μV . La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

Se realizó la microdissección al encontrar una respuesta electromiográfica a nivel del músculo cricotiroideo con la estimulación del nervio recurrente. Sin embargo

- No se encontró anastomosis cricotiroidea ni tiroaritenoidoidea durante la disección.
- No se encontró el foramen tiroideo.

Valoración de los resultados:

La estimulación del nervio recurrente causó la aparición de los potenciales en todos los músculos monitorizados (Fig.28). Se observó una respuesta del músculo cricotiroido bien estructurada con 355 μV de amplitud, que aumentó de forma clara (1181 μV) al incrementar la intensidad del estímulo a 1.7 mA. Una morfología del potencial tan nítida le da gran fiabilidad a la respuesta y apunta a la presencia de una conexión cricotiroidoidea. Sin embargo durante la microdissección no se pudo confirmar su presencia.

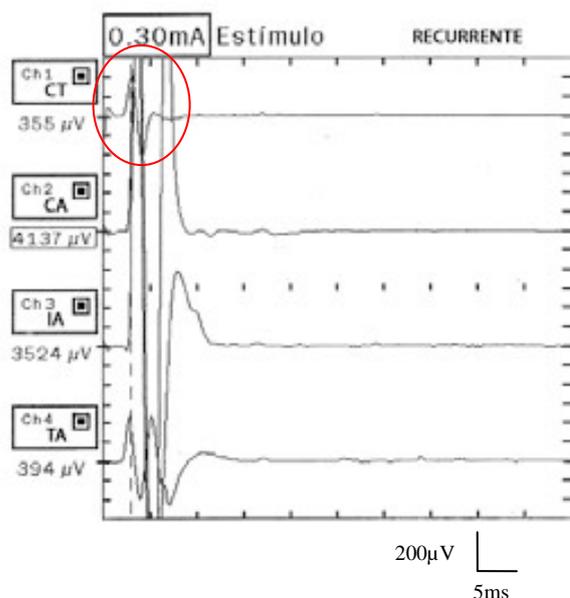


Fig. 28 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 0.30 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Durante la estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior (1.7 mA) se observó una pequeña onda polifásica a nivel del músculo tiroaritenoido que apareció

con latencia de 20,5 ms y tuvo una duración de 12 ms que se podría corresponder con una mínima respuesta refleja (Fig.29).

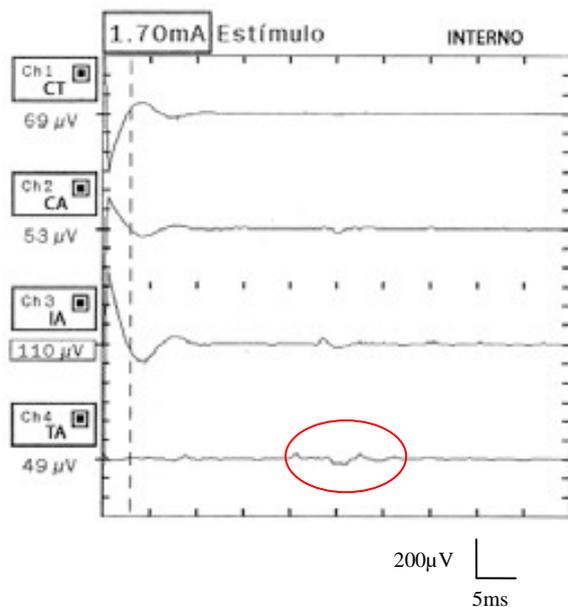


Fig. 29 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.70 mA
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior se obtuvo una respuesta evidente del músculo cricotiroido (7441 μV), mientras que a nivel del músculo tiroaritenoido se observó una onda que por su morfología y poca amplitud (75 μV) se consideró un artefacto, resultado de “cross talk” (Fig.30).

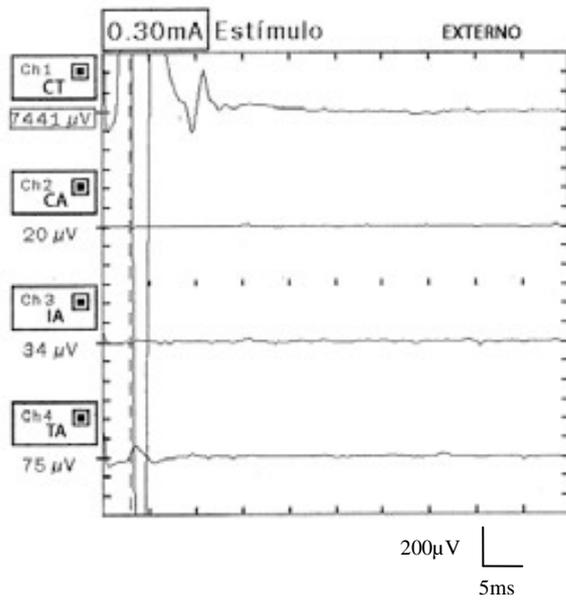


Fig. 30 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.30 mA
Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

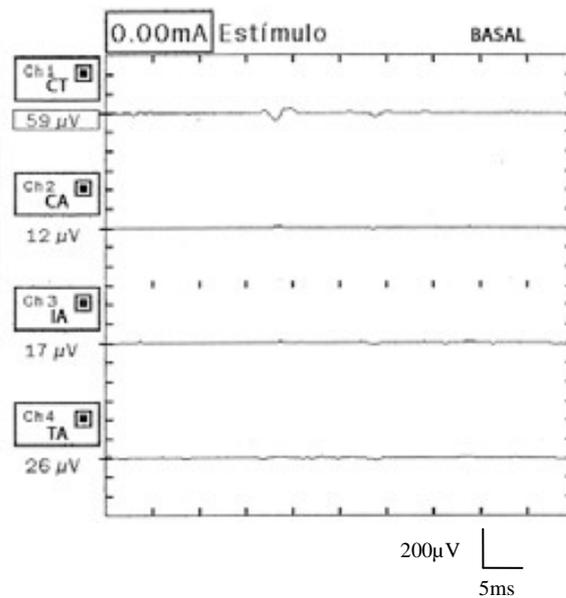


Fig. 31 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón “atípico” electromiográfico por la respuesta del músculo cricotiroides al estimular el nervio recurrente.**
- **Conexión entre el nervio recurrente y laríngeo externo unidireccional confirmada por la electromiografía sin evidencia anatómica.**

CASO 3.

Hombre de 71 años afectado de un tumor supraglótico derecho con extensión al espacio preepiglótico. Tratado con 1 ciclo de QT de inducción que se suspendió por presentar un accidente cerebrovascular y mala tolerancia a la quimioterapia.

Tumor: T3N1M0 derecho

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado.

Metodología:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 6)

	Recurrente	Laríngeo Interno	Laríngeo externo
Intensidad estímulo (mA)	0.5	0.5	0.5
M. cricotiroideo	237	131	4575
M. tiroaritenoido	1821	30	2540
M. cricoaritenoido posterior	5083	14	203
M. interaritenoido	189	15	28

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 6 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μV . La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

Se realizó la microdissección de la pieza buscando una conexión nerviosa que justificara la respuesta a nivel del músculo tiroaritenoido tras estimulación del nervio laríngeo externo.

- Se encontró la conexión cricotiroidea a nivel del músculo cricoaritenoido lateral que pareció no tener ramas colaterales.

Valoración de los resultados:

La estimulación del nervio recurrente resultó en la obtención de las respuestas que coinciden con el patrón clásico de la inervación. Hay que destacar que la respuesta del músculo interaritenoides (potencial de amplitud de 189 μV) fue más débil en comparación con los músculos cricoaritenoides posterior (5083 μV) y tiroaritenoides (1821 μV) sin encontrar la causa (Fig.32).

La onda que apareció a nivel del músculo cricotiroides cuando se estimuló el nervio recurrente no se consideró una respuesta válida porque apareció con un retraso de 5 ms desde el inicio de estimulación (Fig.32).

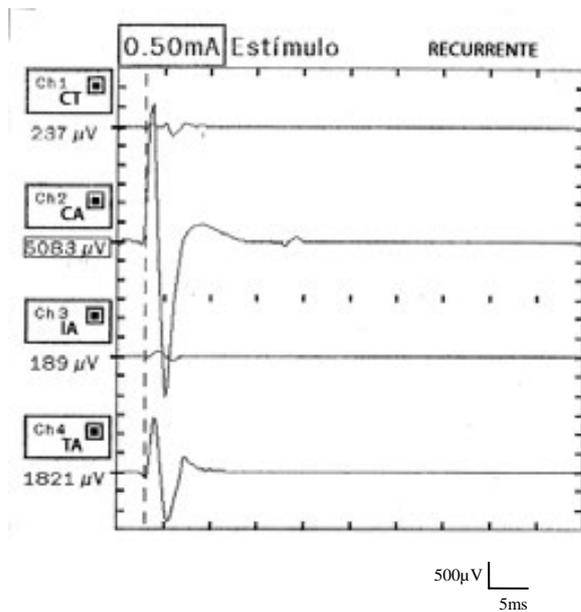


Fig. 32 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 0.50 mA Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Al estimular el nervio laríngeo externo con la intensidad de 0.50 mA apareció la respuesta del músculo tiroaritenosoide con una amplitud de 2540 μV (Fig.33). El registro podría corresponder a la conexión cricotiroidea encontrada en la disección. Esta conexión posiblemente es unidireccional dado que no se obtuvo la respuesta en el músculo cricotiroideo al estimular el nervio recurrente.

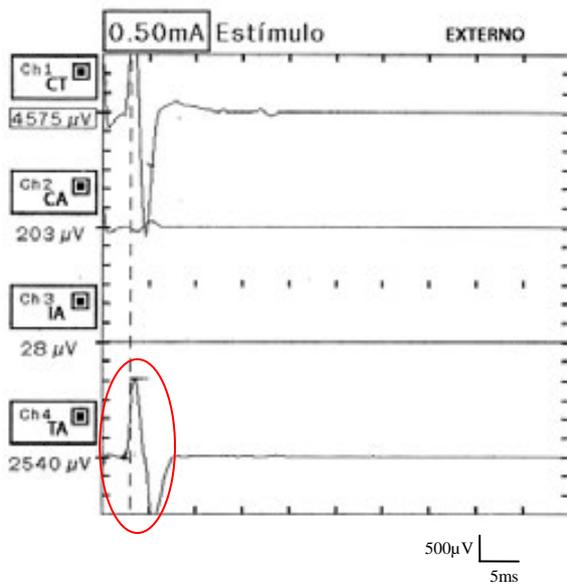


Fig. 33 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.30 mA
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenosoide posterior; TA músculo tiroaritenosoide; IA músculo interaritenosoide

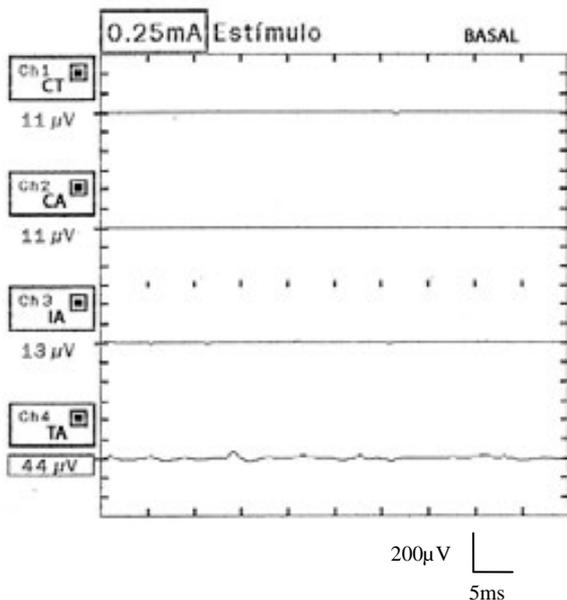


Fig. 34 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Resumen del caso:

- **Patrón “atípico” electromiográfico por la respuesta del músculo tiroaritenoides cuando se estimuló la rama externa del nervio laríngeo superior.**
- **Conexión entre el nervio laríngeo externo y el músculo tiroaritenoides que podría corresponder a la conexión cricotiroides encontrada en la disección.**

CASO 4.

Hombre de 79 años con un tumor localizado en la banda y cuerda vocal izquierda que provocó la fijación de la cuerda vocal.

Tumor: T3N0M0 izquierdo.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado.

Metodología:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 7)

Intensidad estímulo (mA)	Recurrente			Laríngeo Interno	Laríngeo externo		
	0.20	0.25	1.1	1.0	0.20	0.5	1.0
M. cricotiroideo	554	2028	2076	1128	333	753	428
M. tiroaritenoido	690	1825	1790	31	14	25	21
M. cricoaritenoido posterior	1269	1804	2108	25	11	31	63
M. interaritenoido	20	385	413	17	13	15	33

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 7 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

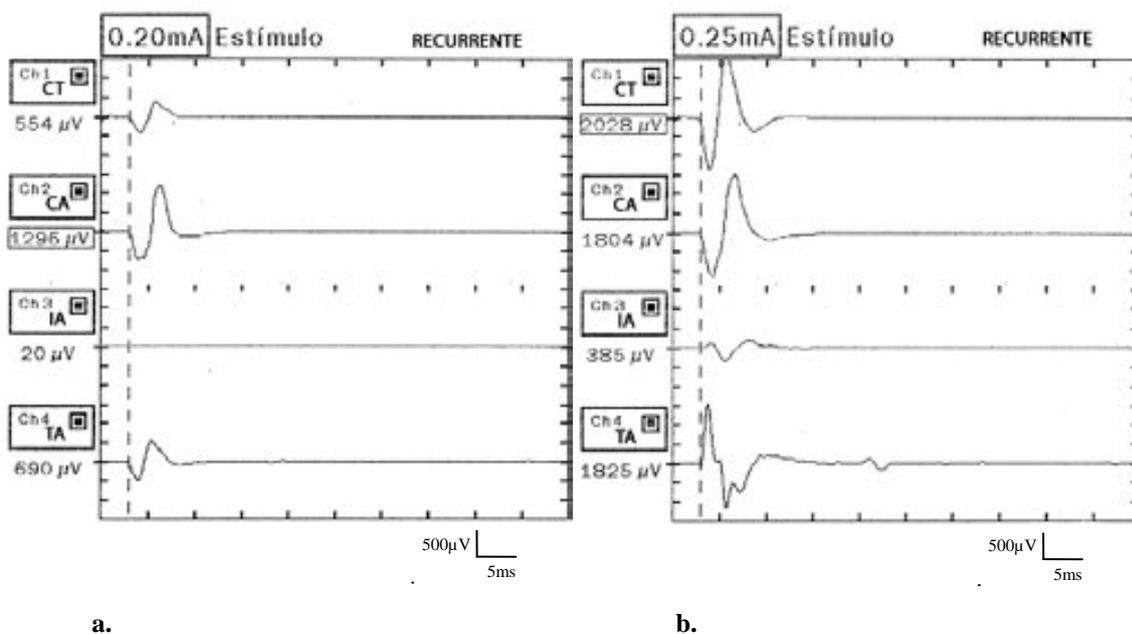
Microdissección:

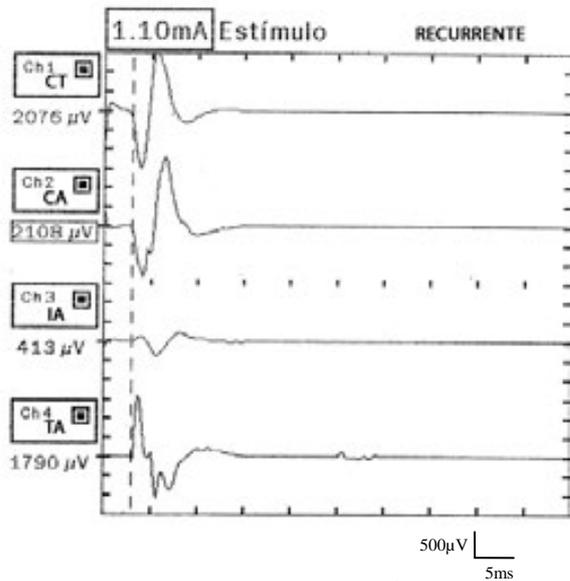
Se realizó microdissección de la pieza sospechando la existencia de conexiones intralaríngeas dado las respuestas obtenidas en el músculo cricotiroideo al estimular el nervio recurrente y el nervio laríngeo interno. Este estudio permitió encontrar

- una rama nerviosa ubicada en la cara profunda del músculo cricotiroideo y que atravesaba la membrana sin que se pudo encontrar su origen.

Valoración de los resultados:

Al estimular el nervio recurrente se obtuvo las respuestas en todos los músculos (Fig.35b). Se consideró los potenciales del músculo cricotiroides y cricoaritenoides posteriores por su morfología parecida, excesiva duración y latencia más evidente al aumentar la intensidad del estímulo de 0.25 mA a 1.10 mA (Fig.35b y c). Este registro podría ser el resultado de “cross talk”, aunque las respuestas obtenidas tienen una amplitud importante. Por estos motivos, este caso se excluyó del análisis definitivo.





c.

Fig. 35 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de a. 0.20 mA b. 0.25 mA c. 1.10 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Al estimular el nervio laríngeo interno se obtuvo respuesta a nivel del músculo cricotiroideo (amplitud de 3600 μV) pero se consideró como una respuesta artefactada por la cercanía del estímulo (Fig.36).

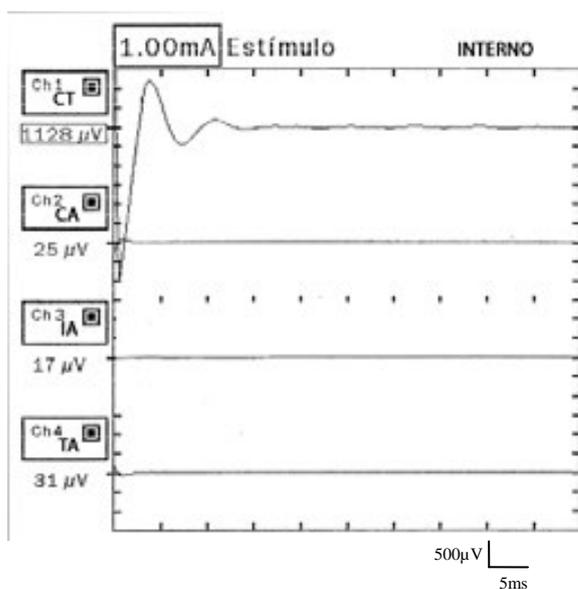
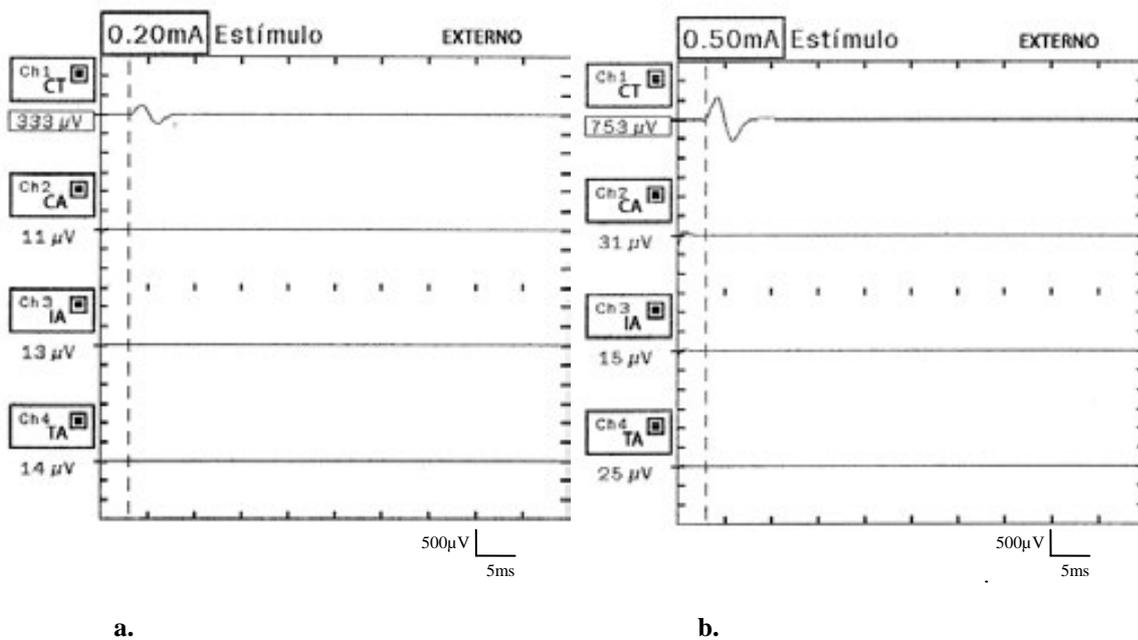


Fig. 36 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.0 mA
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Durante la estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior se obtuvo una respuesta del músculo cricotiroides con una amplitud de 753 μV durante la estimulación con intensidad de 0.5 mA (Fig.37b). Con la estimulación de 1.0 mV alcanzó la amplitud de 428 μV (medida manualmente) (Fig.37c).



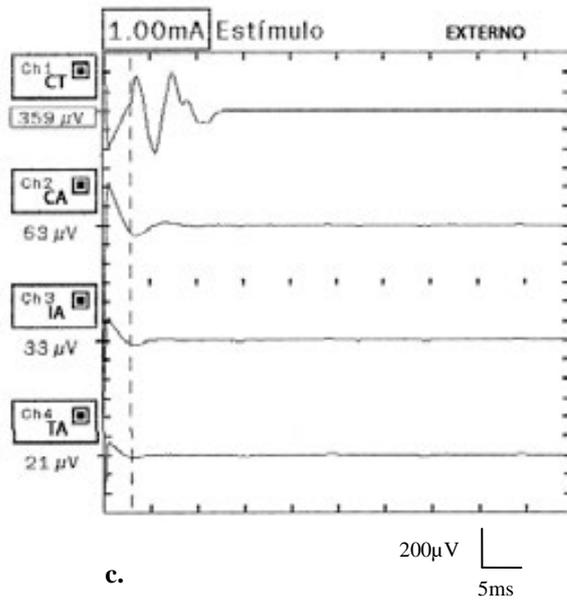


Fig. 37 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 0.20 mA b. 0.50 mA c. 1.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

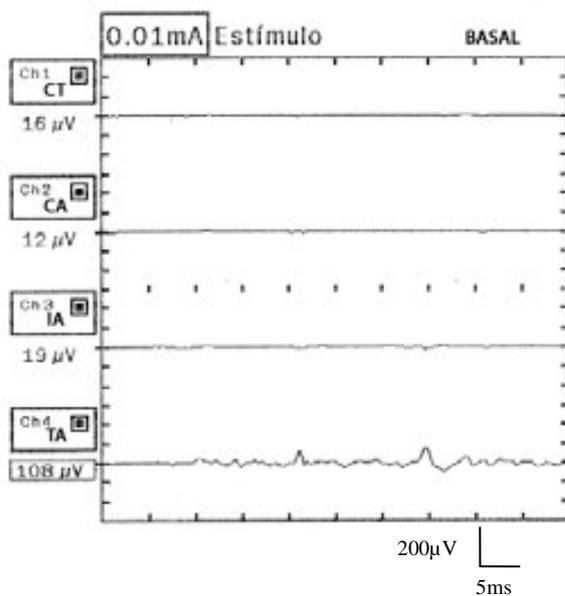


Fig. 38 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico con artefactos.**
- **Registro con artefactos durante la estimulación del nervio recurrente y del nervio laríngeo interno.**
- **Posible conexión cricotiroidea en la microdissección.**

CASO 5.

Mujer de 60 años con una lesión tumoral que se extendía desde el repliegue aritenoepiglótico izquierdo hasta el aritenoides disminuyendo la movilidad de la cuerda vocal. La paciente realizó un tratamiento de tres ciclos de quimioterapia de inducción con respuesta parcial y reducción tumoral menor de 50%, por lo que se decidió la laringectomía total.

Tumor: T3N0M0

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso infiltrante moderadamente diferenciado.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 8).

Intensidad estímulo (mA)	Recurrente				Laríngeo Interno	Laríngeo externo			
	0.5	1.1 dentro del tronco	1.15	2.4	1.1	0.5	1.1	1.1 después de separarlo	1.1 recurrente seccionado
M. cricotiroido	61	715	347	378	43	909	925	809	2217
M. tiroaritenoido	120	2217	1205	1310	36	963	996	87	911
M. cricoaritenoido posterior	530	638	631	845	27	15	16	14	15
M. interaritenoido	22	1231	363	419	11	25	41	24	22

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 8 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

Se realizó microdissección al encontrar respuestas a nivel del músculo cricotiroido tras estimulación del nervio recurrente y también del músculo tiroaritenoido tras estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior.

- Este estudio permitió identificar conexión cricotiroido.

En esta paciente las circunstancias intraoperatorias favorables permitieron que se realizara un estudio electromiográfico más amplio para confirmar la función motora de la conexión cricotiroidea. Se disecó la conexión y al final del estudio se seccionó el tronco del nervio recurrente para estimular directamente el cabo distal y obtener una estimulación más eficaz. Además se seccionó la encontrada conexión cricotiroidea para valorar la respuesta electromiográfica tras la estimulación tanto del nervio recurrente como el nervio laríngeo externo.

Valoración de los resultados:

Al estimular el nervio recurrente se obtuvo respuesta a nivel de todos los músculos estudiados, incluido el músculo cricotiroideo con una amplitud creciente (de 347 μ V a 378 μ V) conforme se aumentó la intensidad del estímulo (de 1.15 mA a 2.40 mA) (Fig.39).

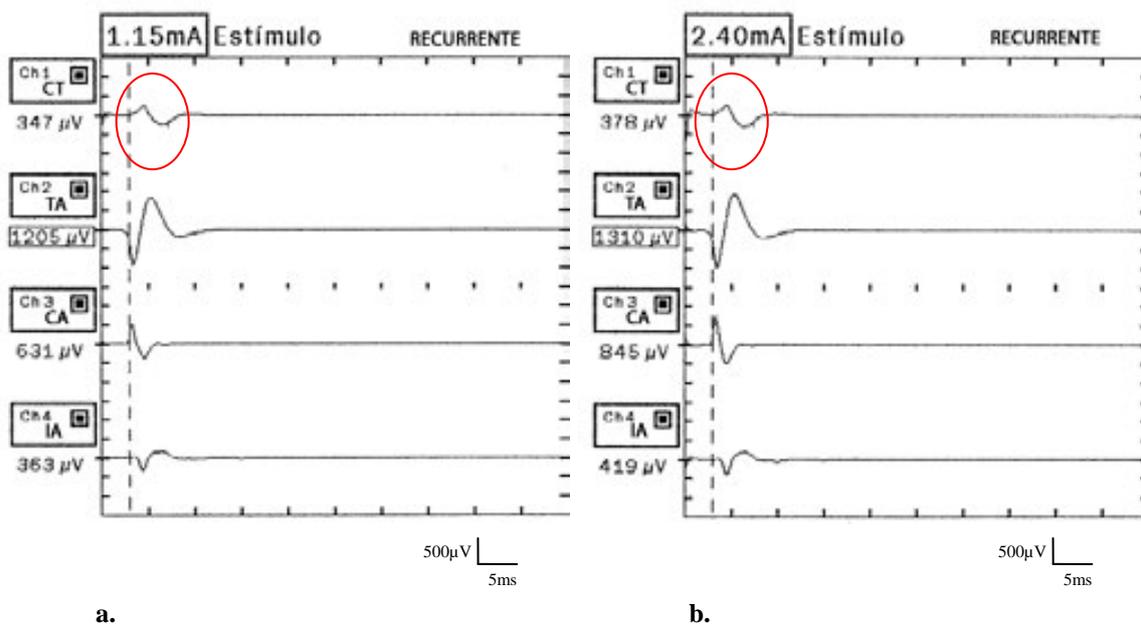


Fig. 39 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de a. 1.15 mA b. 2.40 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Con el objetivo de confirmar la presencia de la respuesta del músculo cricotiroides, al final de estudio se seccionó el tronco del nervio recurrente y se estimuló directamente las fibras nerviosas. Se confirmó la respuesta en el músculo con una amplitud (715 μV) parecida a la del músculo cricoaritenoides posterior y el músculo interaritenoides (Fig.40). El registro indicó una posible conexión entre el nervio recurrente y las ramas del nervio laríngeo externo, que se confirmó mediante el estudio de microdissección.

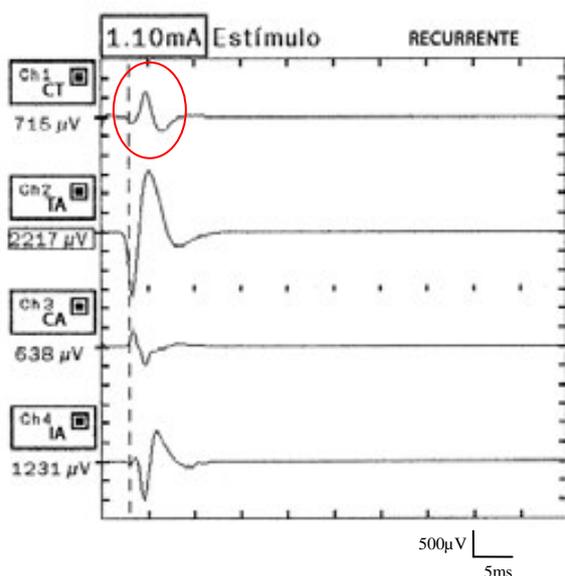


Fig. 40 Estímulo dentro del tronco del nervio recurrente seccionado (1.10 mA). Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Al estimular el nervio laríngeo externo se obtuvo la respuesta del músculo cricotiroides y del músculo tiroaritenoides con una amplitud parecida (925 μV y 996 μV respectivamente) con el estímulo de intensidad de 1.10 mA (Fig. 41a y b). Esta respuesta apuntó a la existencia de una conexión cricotiroides.

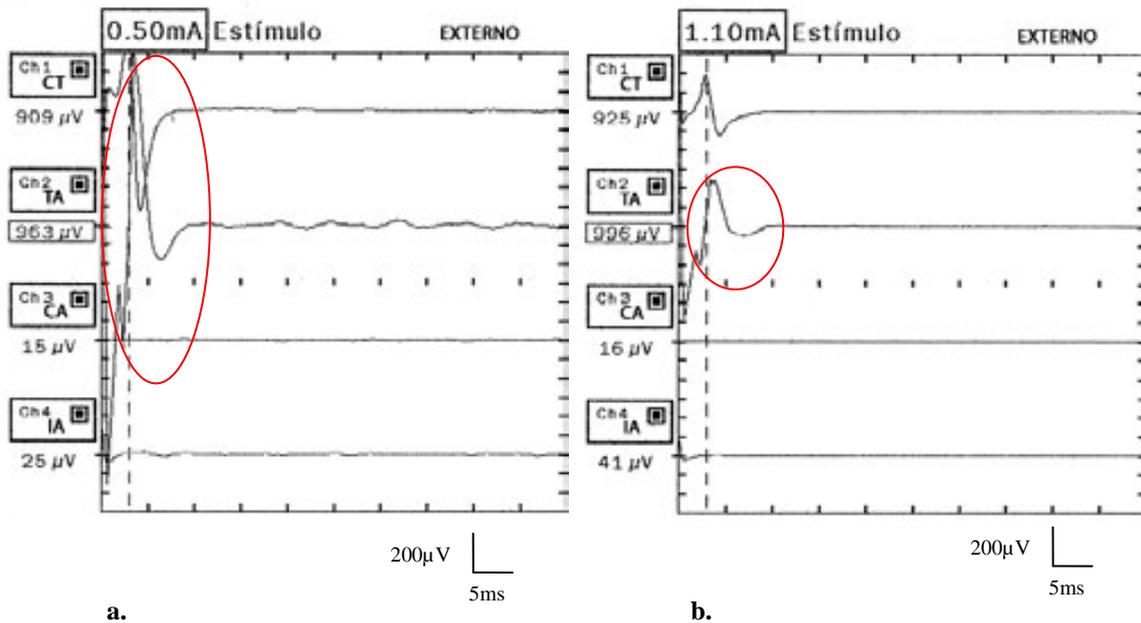


Fig. 41 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 0.50 mA b. 1.10 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Estimulando el nervio laríngeo externo con el nervio recurrente seccionado se observó la persistencia de respuesta a nivel de ambos músculos. El potencial del músculo cricotiroideo alcanzó una amplitud de 2217 µV, aunque parece que en este caso fue distorsionado por un artefacto de estimulación. La amplitud del potencial del músculo tiroaritenideo fue de 911 µV y también apareció el artefacto de estimulación (Fig.42).

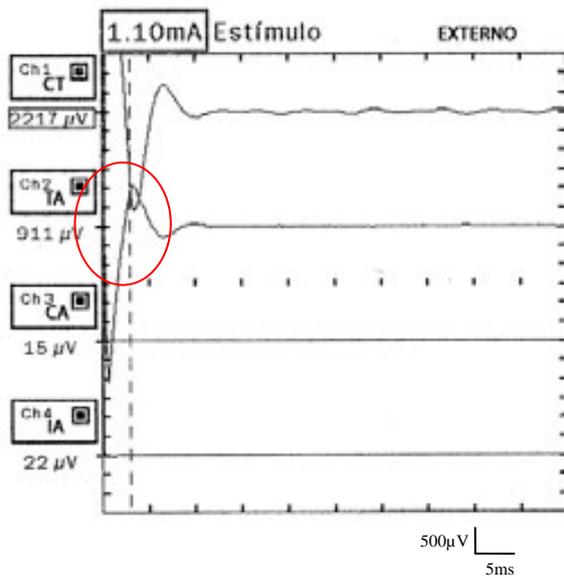


Fig. 42 Estimulación la rama externa con el recurrente seccionado (1.10mA). Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Cuando se seccionó la rama de la conexión cricotiroides desapareció la respuesta a nivel del músculo tiroaritenideo durante la estimulación del nervio laríngeo externo. El potencial del músculo cricotiroides parece englobar la respuesta verdadera (Fig.43).

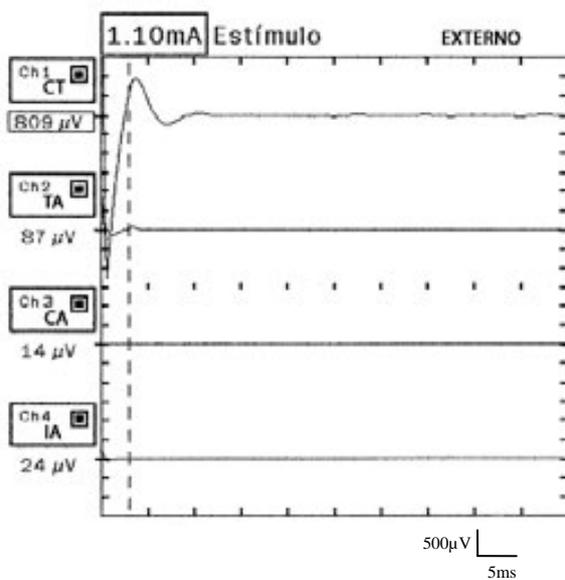


Fig. 43 Estimulación rama externa con la conexión cricotiroidea seccionada (1.10mA)
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

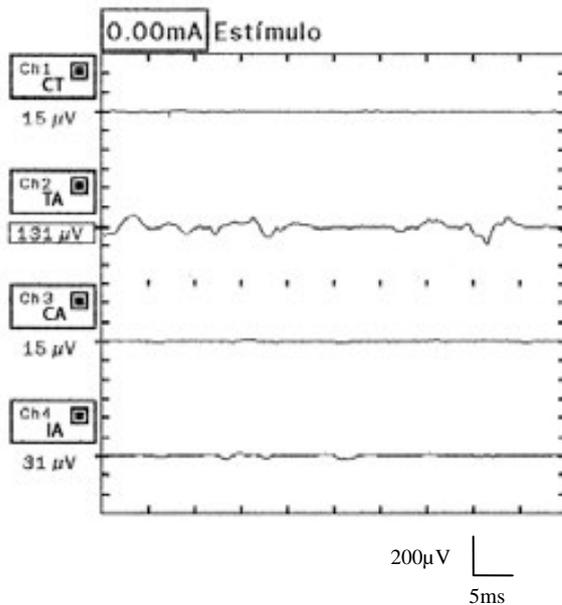


Fig. 44 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- Patrón “atípico” electromiográfico.
- Conexión entre el nervio recurrente y el laríngeo externo mediante una conexión cricotiroidea bidireccional confirmada en el estudio anatómico.

CASO 6.

Hombre de 69 años con antecedente de radioterapia a dosis radicales 52Gy por un tumor glótico T1N0M0. Presentó persistencia de la lesión a nivel de la cuerda vocal derecha que se extendía a la cara subglótica y la comisura anterior (T2N0M0), por lo que se decidió realizar una laringectomía total.

Tumor: T2N0M0 derecho.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 9)

	Recurrente		Laríngeo Interno		Laríngeo externo	
	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	1.55
Intensidad estímulo (mA)						
M. cricotiroidoideo	38	85	10	49	405	583
M. tiroaritenoidoideo	874	1663	40	669	28	22
M. cricoaritenoidoideo posterior	1935	5047	14	50	31	64
M. interaritenoidoideo	323	1188	42	1202	16	71

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 9 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

El patrón que se obtuvo en la EMG fue compatible con el patrón clásico dado que las respuestas del músculo interaritenoidoideo y el tiroaritenoidoideo al estimular el nervio laríngeo interno fueron manifestación del reflejo glótico. A pesar de ello se realizó la microdissección de la hemilaringe y, como era de esperar, no se encontró ninguna conexión entre las ramas.

- No se encontró ninguna conexión.

Valoración de los resultados:

Se detectó la respuesta de los músculos cricoaritenideo posterior (1935 μV), interaritenideo (323 μV) y tiroaritenideo (874 μV) al estimular el nervio recurrente con la intensidad de 0.25 mA (Fig.45a). La amplitud de las respuestas aumentó al aplicar la estimulación de 1.5 mA en el músculo cricoaritenideo posterior (5047 μV), en el músculo interaritenideo (1188 μV) y músculo tiroaritenideo (1663 μV) (Fig.45b). Estas respuestas concuerdan con un patrón clásico de inervación.

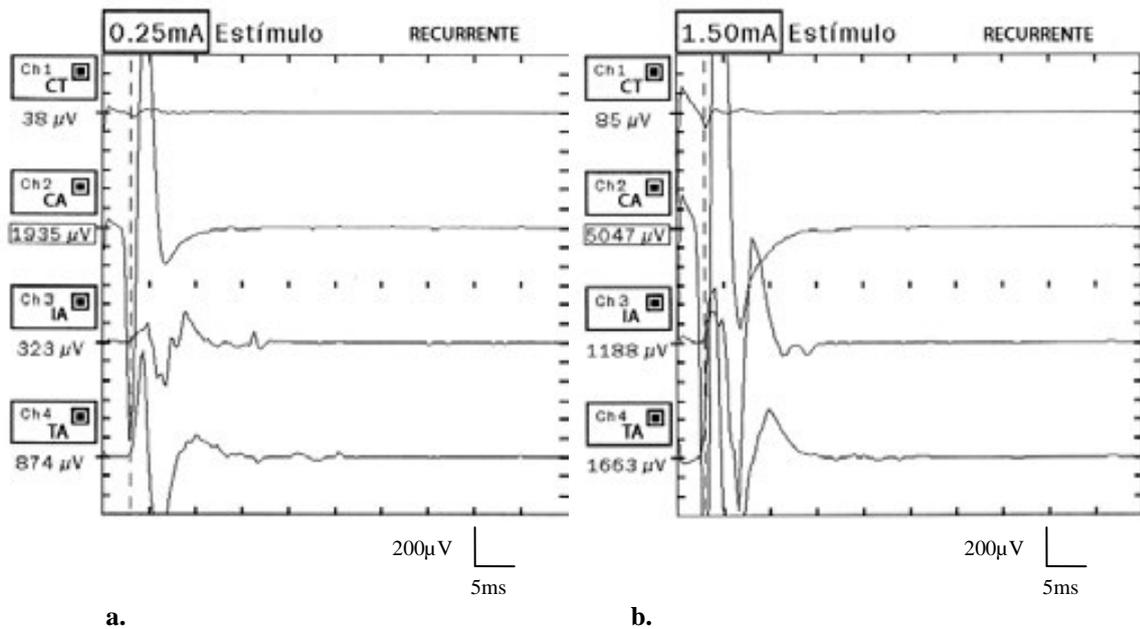


Fig. 45 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de a. 0.25 mA b. 1.50 mA Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Al estimular el nervio laríngeo interno con una intensidad de 1.5 mA se obtuvo una respuesta polifásica en los músculos tiroaritenideo (669 μV) e interaritenideo (1202 μV) con latencia de 16 ms en ambos casos (Fig.46b). Es la expresión del reflejo glótico de cierre que en este caso.

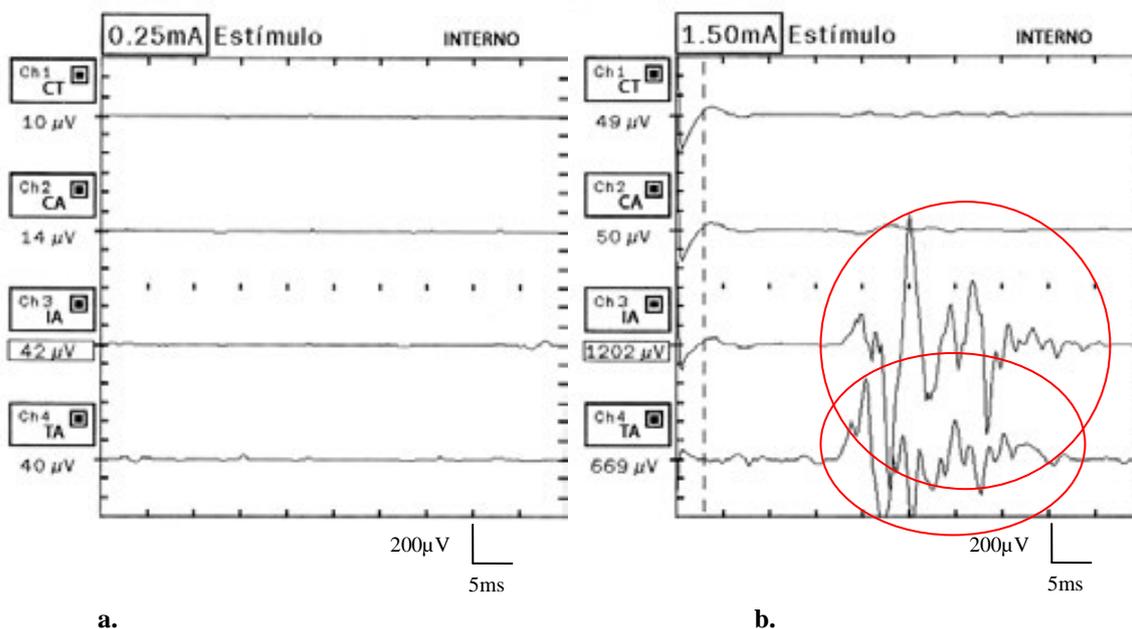


Fig. 46 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 0.25 mA b. 1.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Estimulando el nervio laríngeo externo se obtuvo una respuesta del músculo cricotiroido tanto con una intensidad de 0.25 mA (amplitud de 405 µV) como con 1.55 mA (amplitud de 583 µV). Los potenciales que aparecieron a nivel del músculo cricoaritenoido posterior e interaritenoido con estimulación de 1.55 mA se consideraron artefactos debido a su morfología (Fig.47a y b).

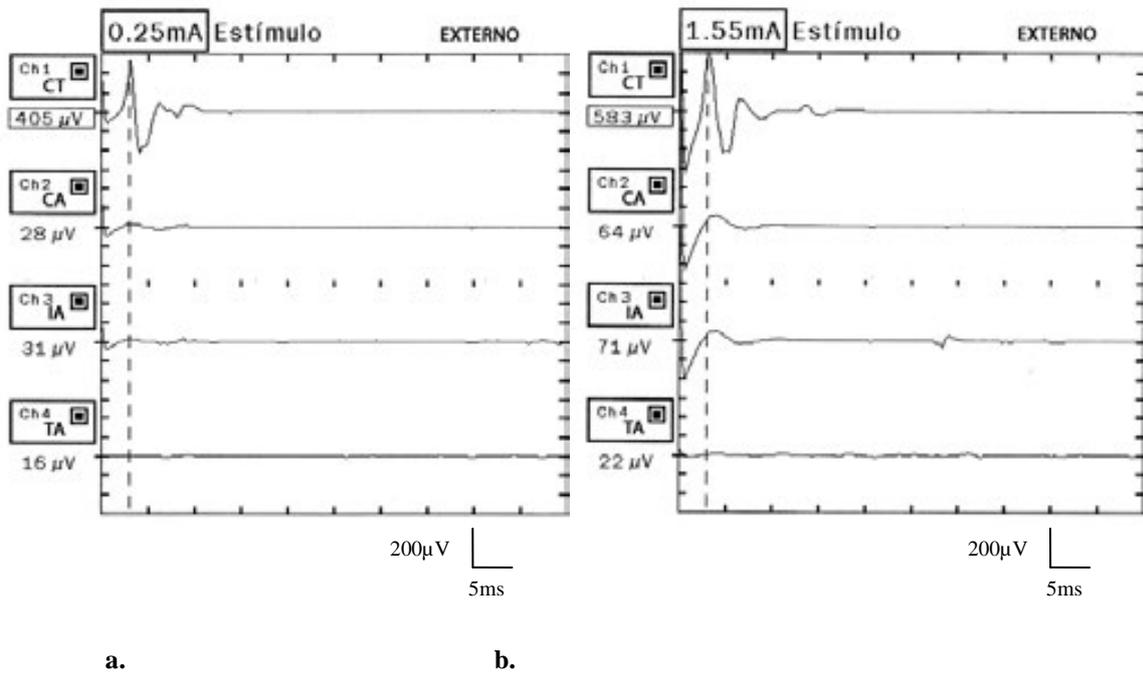


Fig. 47 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de **a. 0.25 mA b. 1.55 mA**. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

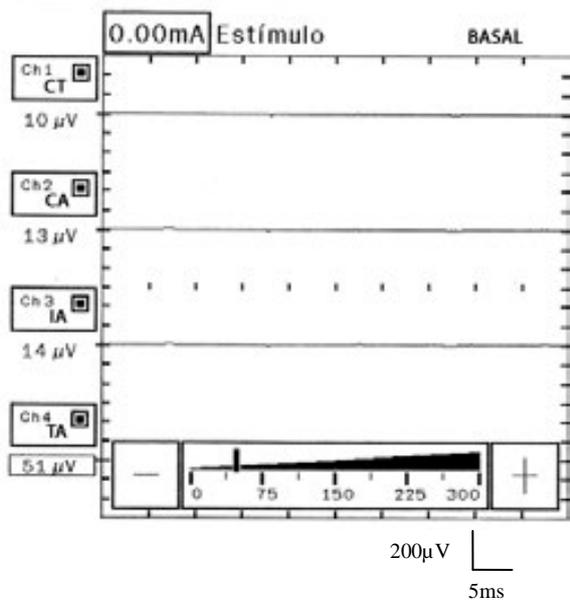


Fig. 48 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**
- **Reflejo glótico muy intenso al estimular el nervio laríngeo interno.**

CASO 7.

Hombre de 65 años con tumor transglótico que infiltraba la banda, ventrículo y fijaba la cuerda vocal izquierda (T3N0M0). Presentó una respuesta parcial sobre el tumor tras los tres ciclos de la quimioterapia, por lo que se realizó la laringectomía total.

Tumor: T3N0M0 izquierdo.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso infiltrante moderadamente diferenciado.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 10)

	Recurrente		Laríngeo Interno	Laríngeo externo
Intensidad estímulo (mA)	1.55	2.0	2.0	1.0
M. cricotiroideo	101	73	50	1232
M. tiroaritenoido	608	854	340	23
M. cricoaritenoido posterior	21	41	23	21
M. interaritenoido	323	989	420	30

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 10 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

Se realizó la microdissección de la hemilaringe derecha buscando las conexiones responsables de la respuesta electromiográfica de los músculos tiroaritenoido e interaritenoido al estimular en nervio laríngeo interno.

- Solamente se encontró un filete nervioso que podría corresponder a la anastomosis tiroaritenoida. Sin embargo no se obtuvieron respuestas sugestivas de su actividad.
- No se encontró el foramen tiroideo ni la anastomosis cricotiroidea.

Valoración de los resultados:

Al estimular el nervio recurrente con la intensidad de 2 mA se obtuvo respuestas válidas en los músculos tiroaritenoides (854 μ V) e interaritenoides (989 μ V) (Fig.49b). No se registró la respuesta del músculo cricoaritenoides posterior. El factor externo que podría causar la ausencia del potencial en este músculo sería la quimioterapia previa o el daño de las ramas nerviosas procedentes del nervio recurrente. Otras posibles explicaciones podrían ser una colocación errónea del electrodo o su desplazamiento. La respuesta del músculo cricotiroideo al estimular el nervio recurrente fue débil (101 μ V de amplitud con el estímulo de 1.55 mA y 73 μ V de amplitud con el estímulo de 2.0 mA) y con latencia corta. Además se detectó posible artefacto de estimulación distorsionando el potencial por lo que no se la consideró como una respuesta válida (Fig.49 a y b).

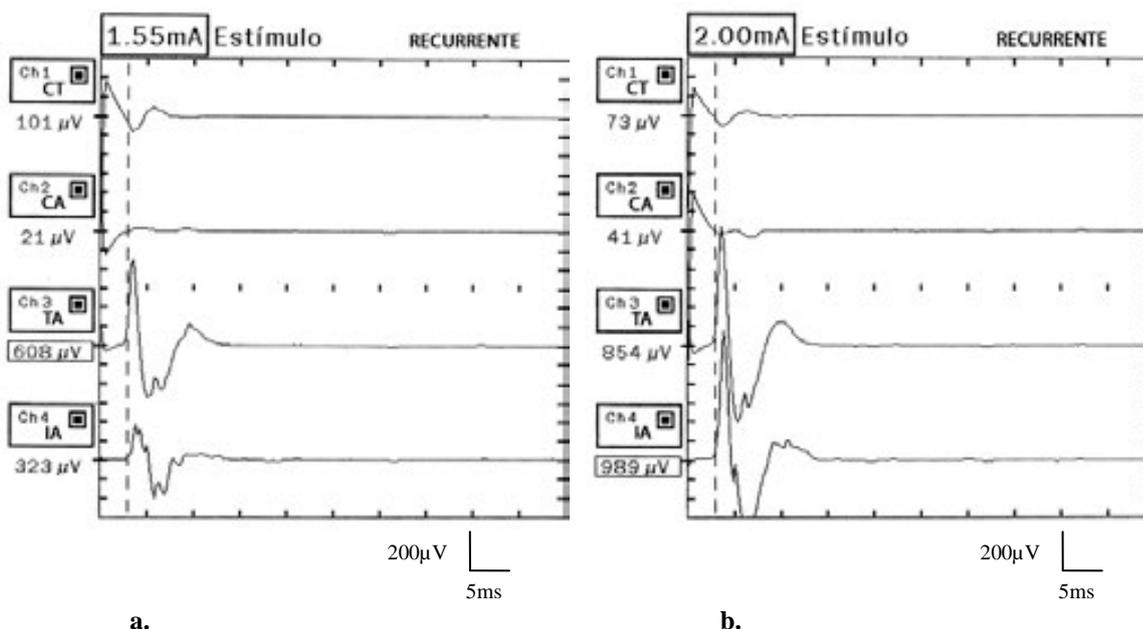


Fig. 49 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de a. 1.55 mA b. 2.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

La estimulación del nervio laríngeo interno (2mA) resultó en la respuesta de los músculos tiroaritenoides e interaritenoides con una morfología polifásica. Ambos potenciales aparecieron con latencia. En el músculo interaritenoides de 16.5 ms, una amplitud medida de 420 μV y una duración de 20 ms (Fig.50). En el músculo tiroaritenoides la latencia fue de 18 ms, la amplitud máxima de 340 μV y la duración de 22 ms (Fig.50).

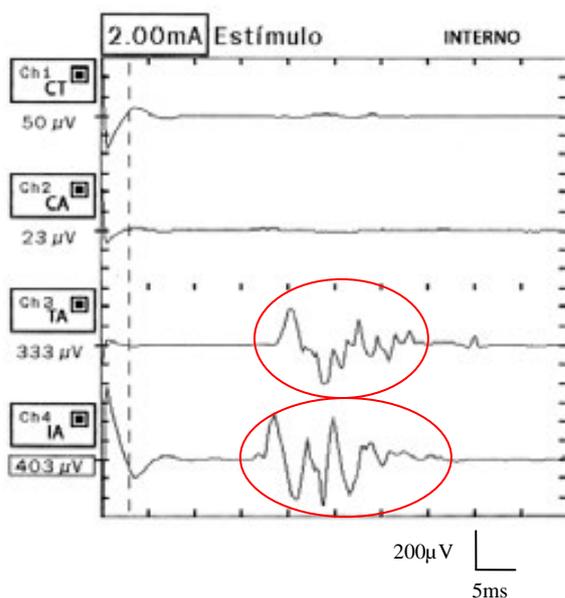


Fig. 50 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 2.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Al estimular el nervio laríngeo externo con la intensidad de 1 mA se obtuvo una respuesta del músculo cricotiroideo de 1232 μV de amplitud (Fig.51).

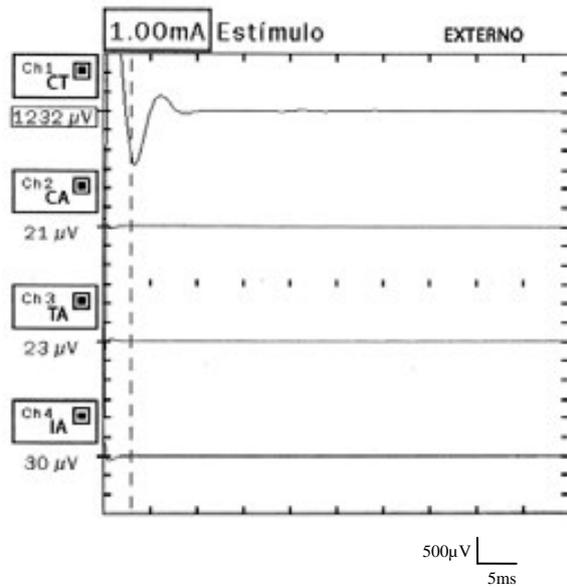


Fig. 51 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido. Estimulación la rama externa (1 mA)

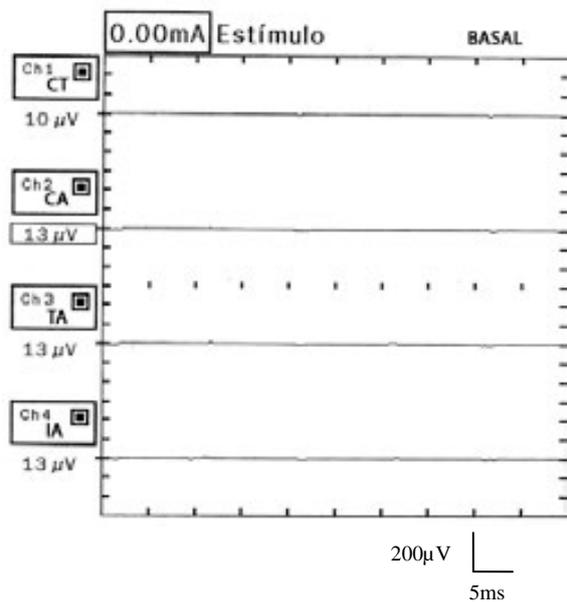


Fig. 52 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**
- **Anastomosis tiroaritenoides anatómica.**
- **Reflejo glótico.**

CASO 8.

Varón de 63 años con lesión exofítica que afectaba la banda derecha y cuerda vocal derecha con fijación de la misma.

Tumor: T3N0M0 derecho.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado infiltrante.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 11)

	Recurrente	Laríngeo Interno	Laríngeo externo
Intensidad estímulo (mA)	0.5	0.5	0.5
M. cricotiroideo	47	12	478
M. tiroaritenoides	35	14	34
M. cricoaritenoides posterior	450	21	78
M. interaritenoides	145	17	8

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 11 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección de la laringe dado que el patrón electromiográfico fue concordante con el patrón clásico de la inervación de la laringe.

Valoración de los resultados:

Se observó una falta de la respuesta en el músculo tiroaritenideo al estimular el nervio recurrente sin que se conozca la causa. Probablemente fue resultado de un desplazamiento del electrodo durante la manipulación de la laringe. Se obtuvo las respuestas del músculo cricoaritenideo posterior (450 μV) y del músculo interaritenideo (145 μV) que coincidieron con el patrón clásico de inervación (Fig.53).

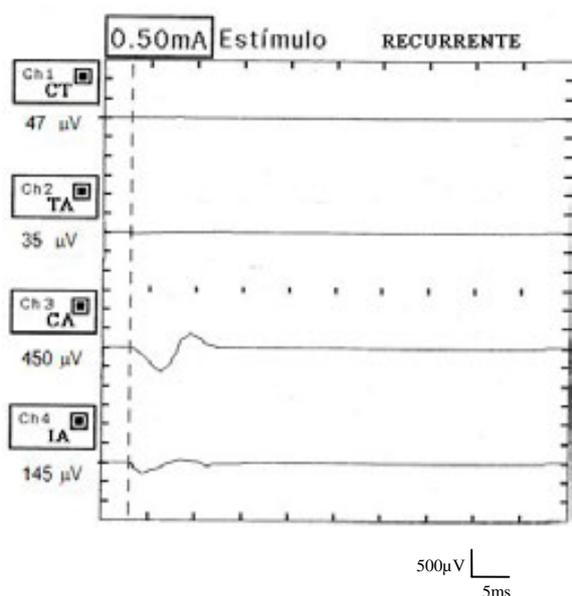


Fig. 53 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 0.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Al estimular la rama interna del nervio laríngeo superior no se obtuvo ninguna respuesta de los músculos monitorizados (Fig.54).

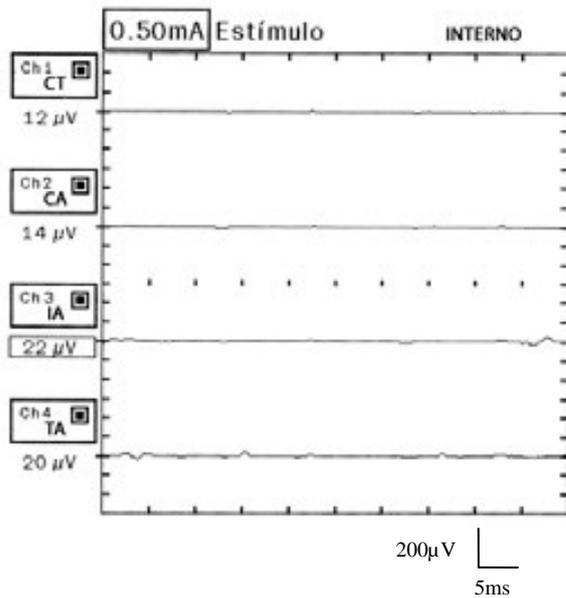


Fig. 54 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

La estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.50 mA resultó en la respuesta del músculo cricotiroido (478 µV) (Fig.55).

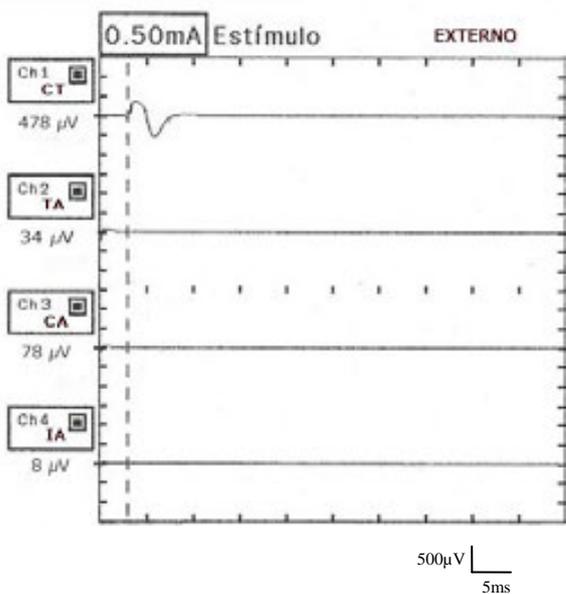


Fig. 55 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

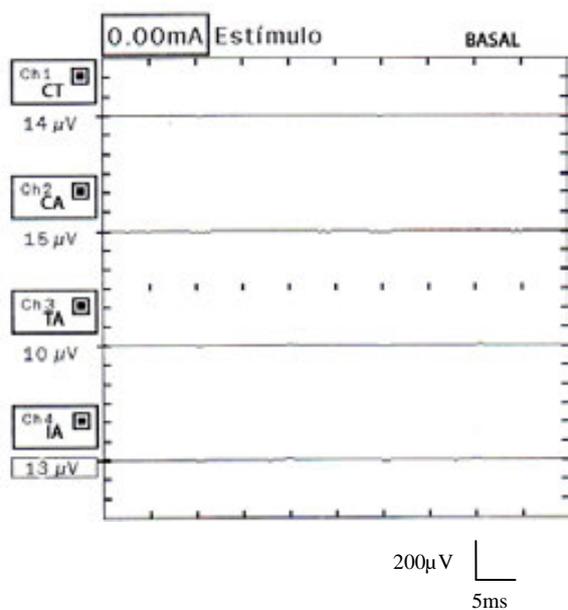


Fig. 56 Registro basal sin estimulación. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**
- **No se registró el reflejo glótico.**

CASO 9.

Paciente 52 años con tumor que afectaba la cara subglótica de la cuerda vocal izquierda con fijación de la cuerda y extensión a la comisura anterior. Tratado con poliquimioterapia de inducción CDDP-5Fu (Cisplatino- 5 Fluorouracilo) con respuesta parcial por lo que se decidió la laringectomía total.

Tumor: T3N0M0 izquierdo glotosubglótico.

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado infiltrante.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación del paciente mínimo durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 12)

	Recurrente	Laríngeo Interno	Laríngeo externo
Intensidad estímulo (mA)	1.45	1.45	1.45
M. cricotiroideo	651	15	2057
M. tiroaritenoido	6925	59	21
M. cricoaritenoido posterior	331	22	28
M. interaritenoido	520	16	23

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 12 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección a pesar de evidenciar un patrón electromiográfico atípico para no alterar la valoración anatomopatológica de la pieza quirúrgica.

Valoración de los resultados:

Se observó la respuesta en todos los músculos monitorizados al estimular el nervio recurrente. Destaca la respuesta del músculo cricotiroideo con amplitud de 651 μ V que

sobrepasa la respuesta del músculo cricoaritenideo posterior (331 μV) y el músculo interaritenideo (520 μV) (Fig 57).

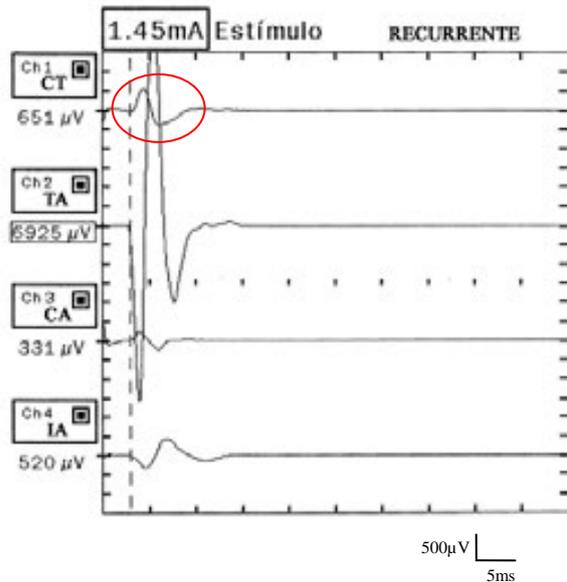


Fig. 57 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 1.45 mA. Abreviaturas: CT músculo cricoidoideo; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Al estimular el nervio laríngeo interno no se obtuvo respuesta en ninguno de los músculos (Fig. 58).

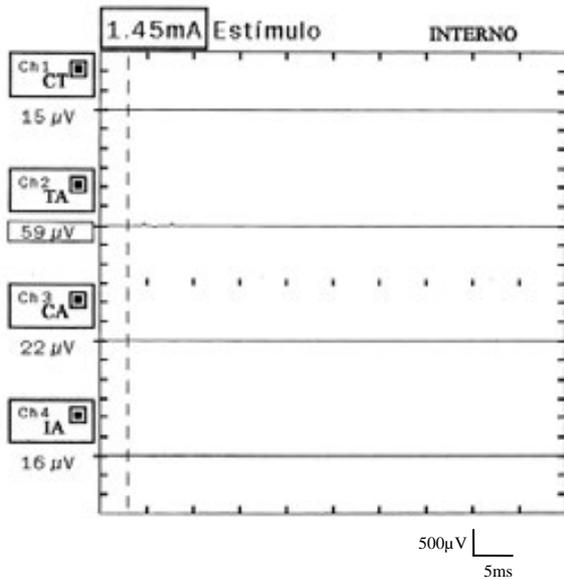


Fig. 58 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.45 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Se obtuvo la respuesta del músculo cricotiroideo (2057 µV) con la estimulación del nervio laríngeo externo con la intensidad de 1.45 mA (Fig. 59).

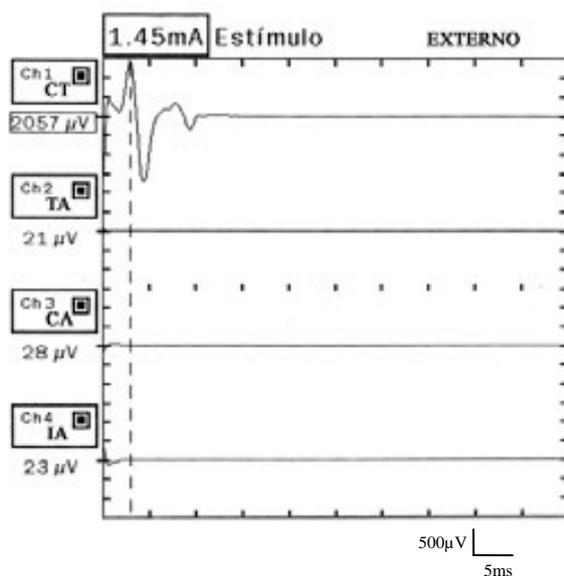


Fig. 59 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.45 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

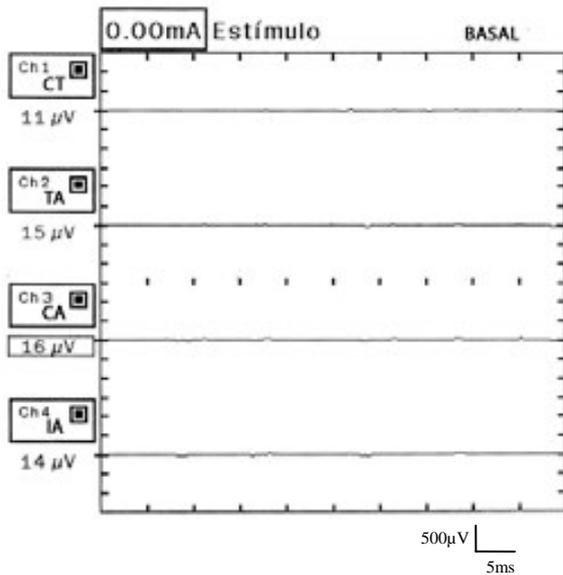


Fig. 60 Estimulación en condiciones basales. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico atípico.**
- **Inervación del músculo cricotiroido procedente del nervio recurrente.**
- **No se pudo confirmar la presencia de la conexión al no realizarse la microdissección.**

CASO 10.

Hombre 68 años con lesión tumoral que afectaba ambas cuerdas vocales, pie de epiglotis, comisura anterior, con mínima extensión subglótica y afectación del ventrículo del lado izq.

Tumor: T2N0M0 glótico bilateral con extensión subglótica.

Anatomía patológica: carcinoma escamoso queratinizante infiltrante.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 13)

	Recurrente	Laríngeo Interno		Laríngeo externo	
Intensidad estímulo (mA)	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0
M. cricotiroideo	13	36	37	3072	3185
M. tiroaritenoido	152	62	54	15	36
M. cricoaritenoido posterior	1521	40	45	54	67
M. interaritenoido	1361	821	671	60	159

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 13 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección de la laringe porque el patrón electromiográfico fue concordante con el patrón clásico de la inervación de la laringe.

Valoración de los resultados:

A la estimulación del nervio recurrente se observó respuestas validas en todos los músculos exepcto el músculo cricotiroideo. Destaca la poca amplitud del potencial del

músculo tiroaritenideo ($152 \mu\text{V}$) que podría reflejar la progresión tumoral encontrada durante la intervención con infiltración tumoral de la cuerda estudiada (Fig.61).

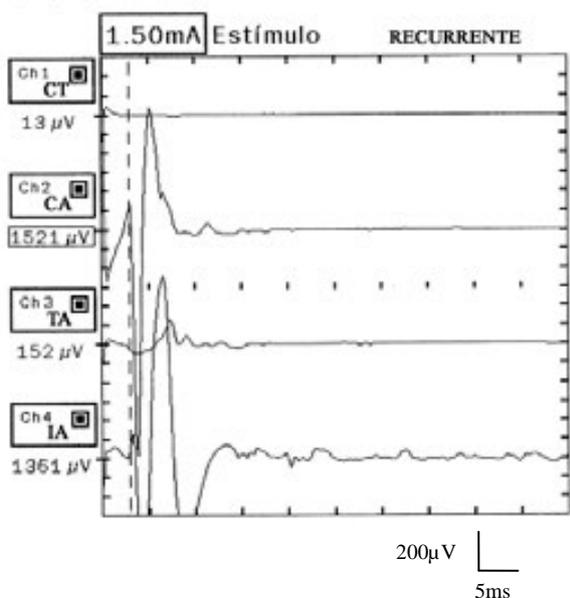


Fig. 61 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 1.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

Al estimular el nervio laríngeo interno con una intensidad de 1.50 mA apareció el reflejo de cierre a expensas del músculo interaritenideo que tuvo una morfología polifásica (amplitud de $821 \mu\text{V}$). Apareció con una latencia de 20 ms y una duración de 14 ms (Fig.62a). Al aumentar el estímulo a 2.0 mA se obtuvo una respuesta parecida en el mismo músculo ($671 \mu\text{V}$), con una latencia de 19 ms y una duración de 14 ms (Fig.62b).

Destacó la falta de respuesta refleja al nivel del músculo tiroaritenideo tanto con estímulos de 1.50 mA (Fig.62a) como con 2 mA (Fig.62b).

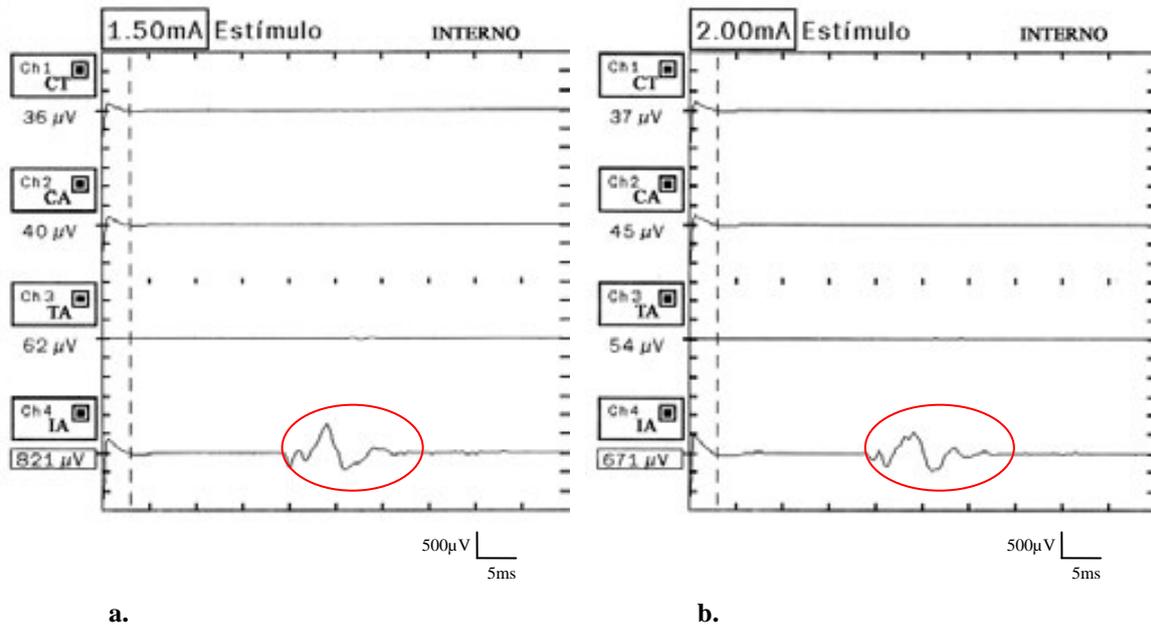


Fig. 62 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 1.50 mA b. 2.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

La estimulación del nervio laríngeo externo resultó en la aparición de un potencial en el músculo cricotiroideo de 3072 μV con la estimulación de 1.50 mA (Fig.63a), que se incrementó hasta 3185 μV de amplitud con la estimulación de 2 mA (Fig.63b).

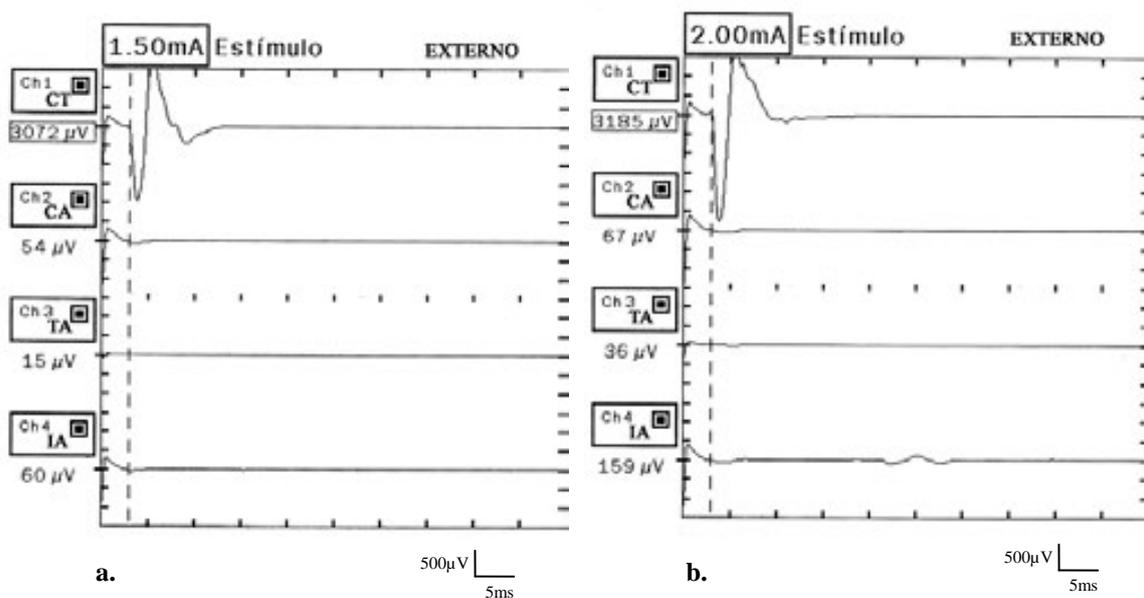


Fig. 63 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de a. 1.50 mA b. 2.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

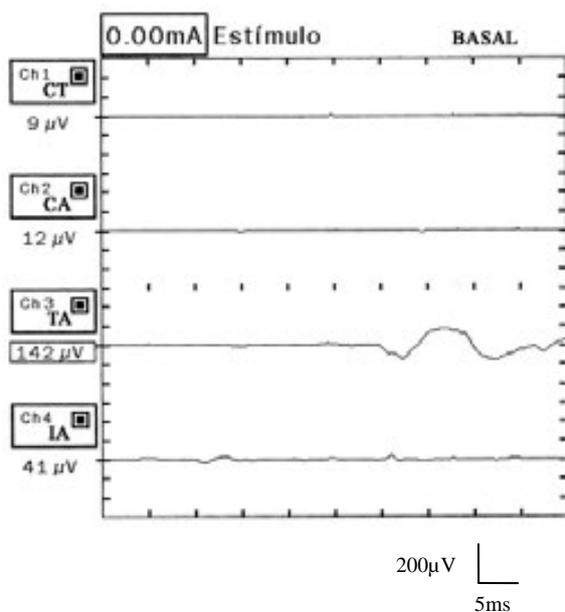


Fig. 64 Estimulación en condiciones basales. Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**
- **Reflejo glótico con la respuesta del músculo interaritenoides sin participación del músculo tiroaritenoides, posiblemente por la afectación tumoral de las cuerdas vocales.**

CASO 11.

Hombre de 57 años con antecedente del tumor de supraglotis del lado izquierdo (T2N0M0), tratado inicialmente con la radioterapia a dosis radicales, que presentó una lesión tumoral a los 2 años desde la finalización del tratamiento a nivel de la banda ventricular izquierda.

Tumor: tumor supraglótico T1N0M0

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso moderadamente diferenciado infiltrante

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 14)

Intensidad estímulo (mA)	Recurrente		Laríngeo Interno		Laríngeo externo	
	1.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.5
M. cricotiroideo	183	260	59	9	848	1117
M. tiroaritenoido	935	1065	13	13	17	15
M. cricoaritenoido posterior	1928	2240	13	79	163	47
M. interaritenoido	1898	2024	150	106	120	121

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 14 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección de la laringe dado que el patrón electromiográfico fue concordante con el patrón clásico de la inervación de la laringe.

Valoración de los resultados:

Durante la estimulación del nervio recurrente se obtuvo respuestas en tres de los músculos monitorizados. En el músculo cricotiroideo la respuesta se consideró no

válida por la poca amplitud ($260 \mu\text{V}$ con la estimulación de intensidad de 2.50 mA), latencia marcada y la forma poco definida (Fig.65).

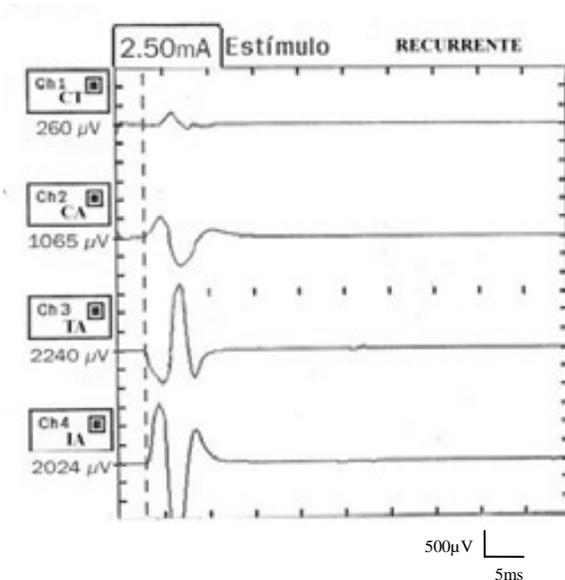


Fig. 65 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 2.50 mA . Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

No se obtuvo respuestas musculares directas a la estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior ni tampoco se registró las respuestas compatibles con el reflejo glótico (Fig.66).

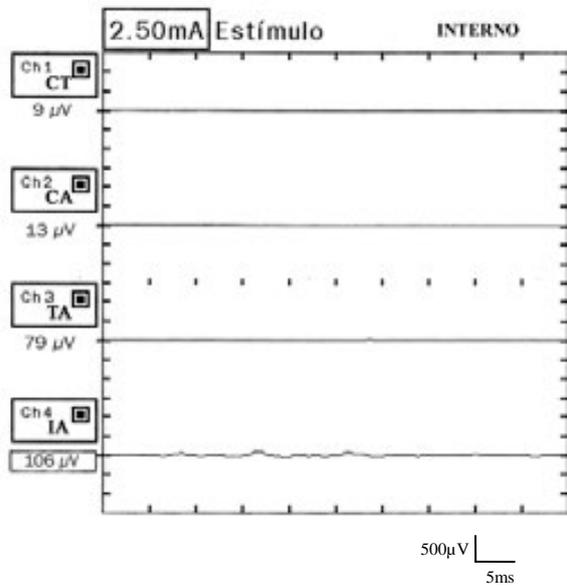


Fig. 66 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 2.50 mA
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Se obtuvo la respuesta del músculo cricotiroido al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior con la amplitud de 1117 µV (Fig.67).

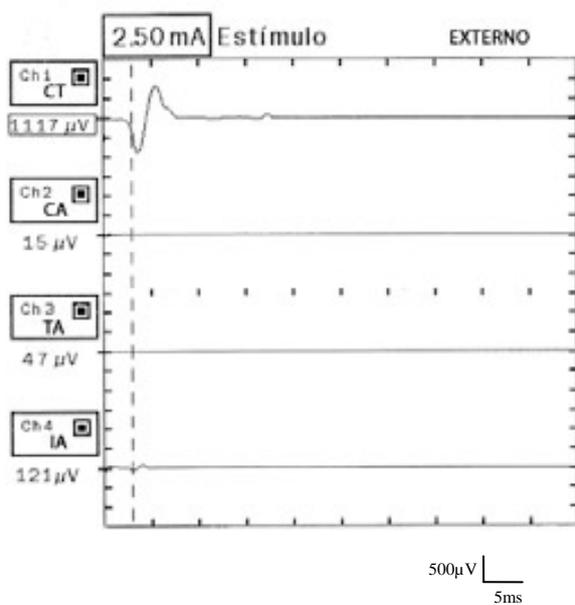


Fig. 67 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 2.50 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

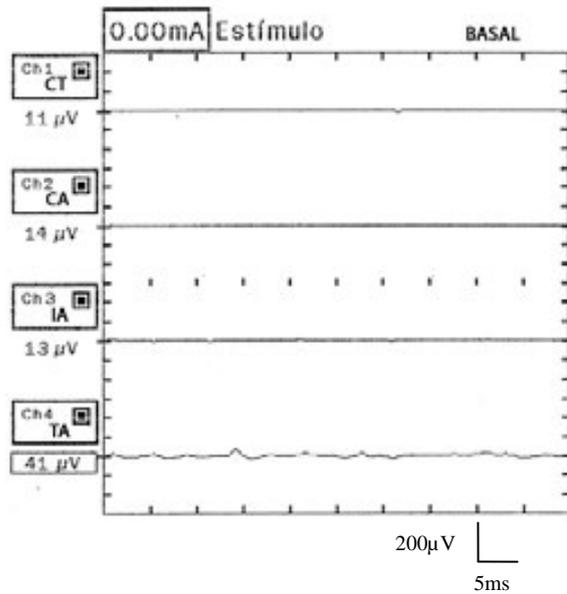


Fig. 68 Estimulación en condiciones basales. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**

CASO 12.

Hombre de 61 años con lesión tumoral en el tercio anterior de la cuerda vocal izquierda con extensión hacia la comisura anterior y a la subglotis en el lado derecho. Se trató con radioterapia radical (70 Gy). A los 15 meses de la finalización de la radioterapia se diagnostica la persistencia tumoral.

Tumor: T2N0M0

Anatomía patológica: Carcinoma escamoso infiltrante.

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado derecho.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación del paciente mínimo durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 15)

	Recurrente		Laríngeo Interno		Laríngeo externo		
Intensidad estímulo (mA)	1.0	2.0	2.0	3.0	0.15	0.6	1.0
M. cricotiroideo	52	71	15	12	274	808	551
M. tiroaritenoido	620	455	143	104	60	63	60
M. cricoaritenoido posterior	614	496	47	41	15	20	18
M. interaritenoido	144	109	57	47	16	16	18

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 15 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección a pesar de detectar un patrón electromiográfico atípico para no alterar la valoración anatomopatológica de la pieza quirúrgica.

Valoración de los resultados:

En este caso se realizó el registro fotográfico debido a problemas técnicos ya que el monitor del modelo NIM II no dispone de unidad para realizar el almacenamiento de los datos en un soporte digital.

Al estimular el nervio recurrente con la intensidad de 1 mA se obtuvo las respuestas en los tres músculos monitorizados: el cricoaritenideo posterior (614 μV), el tiroaritenideo (620 μV) e interaritenideo (144 μV). La pequeña onda polifásica que apareció en el registro del músculo cricotiroideo se consideró un artefacto (Fig. 69).

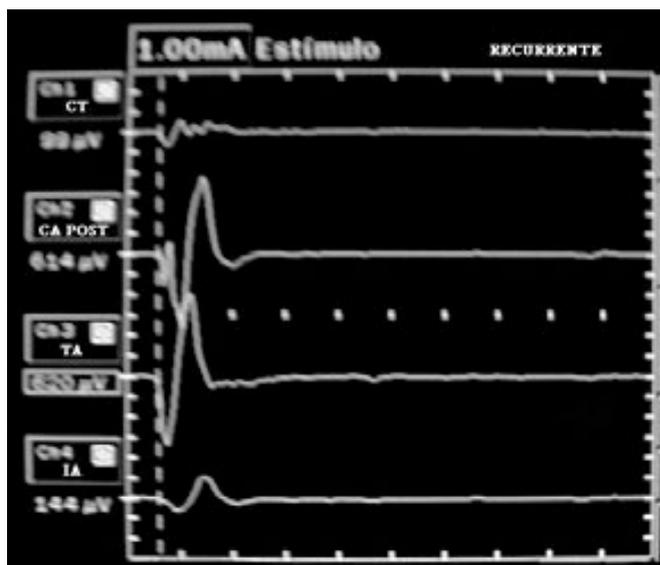


Fig. 69 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 1.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenideo posterior; TA músculo tiroaritenideo; IA músculo interaritenideo

La estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior (intensidad de estímulo de 3 mA) resultó en la aparición de la onda polifásica de 104 μV de amplitud máxima, con una latencia de 20 ms y duración de unos 15 ms atribuible al reflejo glótico (Fig.70).

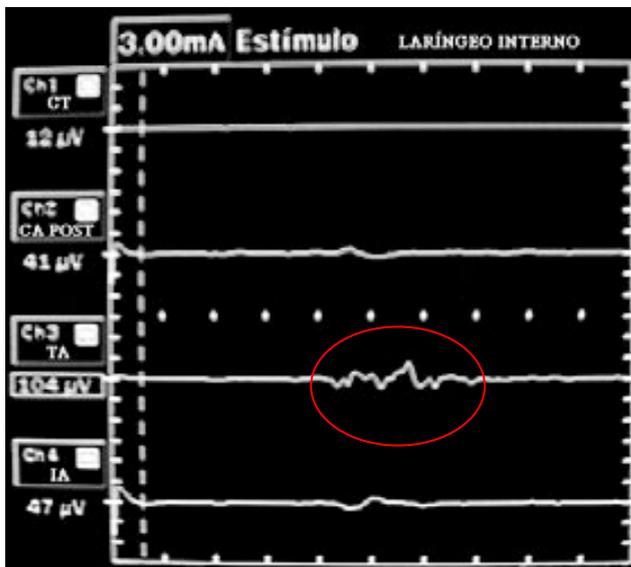


Fig. 70 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 3.0 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Al estimular el nervio laríngeo externo con la intensidad de 0.6 mA se obtuvo la respuesta del músculo cricotiroides de 808 μV de amplitud que se consideró la respuesta acorde con el patrón clásico de la inervación aunque también se observó una respuesta de baja amplitud (63 μV) a nivel del músculo tiroaritenoides (Fig. 71).

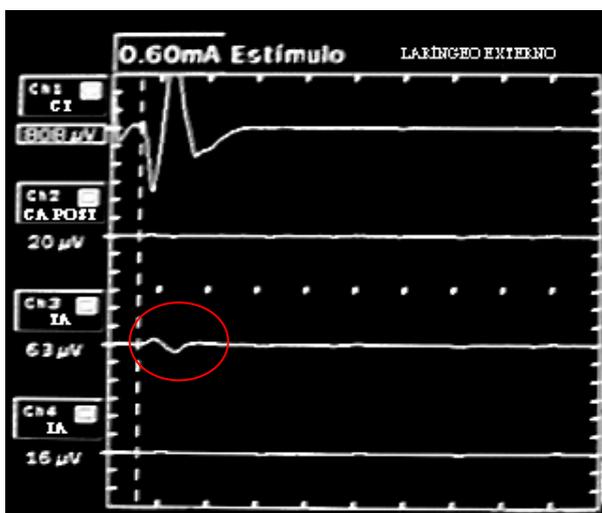


Fig. 71 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 0.60 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

Resumen:

- **Patrón electromiográfico atípico.**
- **Respuesta en el músculo tiroaritenoides al estimular el nervio laríngeo externo.**
- **Reflejo glótico.**

CASO 13.

Hombre de 60 años con tumor del seno piriforme derecho. Antecedente de tumor vesical 9 años antes y T3N1M0 de orofaringe 3 años antes del diagnóstico de la neoplasia del seno piriforme. Se trató con QT+RT.

Tumor: T3N2cM0 hipofaringe

Anatomía patológica: carcinoma escamoso mal diferenciado

Procedimiento:

- Se realizó la identificación de los tres nervios laríngeos del lado izquierdo.
- Se fijó el umbral de evento en 50 μ V.
- Se obtuvo el grado de relajación mínimo del paciente durante la estimulación de las ramas nerviosas.

Resultados EMG.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 17)

	Recurrente	Laríngeo Interno	Laríngeo externo
Intensidad estímulo (mA)	1.2	1.2	1.2
M. cricotiroideo	100	27	429
M. tiroaritenoido	3886	8000	42
M. cricoaritenoido posterior	537	16	15
M. interaritenoido	36	29	15

- Valorado como falta de respuesta
- Valorado como respuesta válida
- Valorado como respuesta refleja

Tabla 16 Resultados electromiográficos tras estimulación del nervio recurrente, la rama interna y externa del nervio laríngeo superior. Los valores de la amplitud de la onda del evento se expresan en μ V. La intensidad de estimulación se expresa en mA.

Microdissección:

No se realizó la microdissección por presentar patrón clásico de la inervación.

Valoración de los resultados:

Al igual que en caso anterior, en este caso se realizó el registro fotográfico debido a problemas técnicos, ya que el monitor del modelo NIM II no dispone de unidad para realizar el almacenamiento de los datos en un soporte digital.

No apareció respuesta a nivel del músculo interaritenoides al estimular el nervio recurrente (Fig.72). Entre las posibles causas de este hecho podemos apuntar a la localización del tumor en la hipofaringe y al antecedente del tumor de orofaringe tratado con quimio-radioterapia También contribuirían la atrofia y el poco volumen muscular.

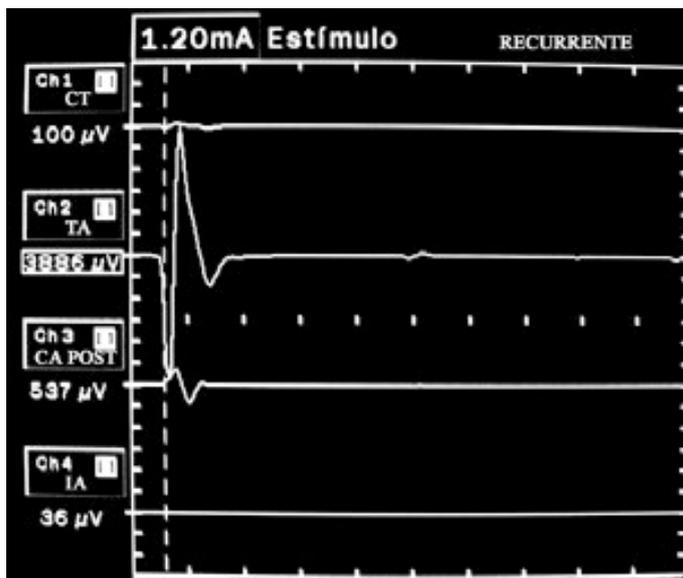


Fig. 72 Estimulación del nervio recurrente con intensidad de 1.20 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroides; CA músculo cricoaritenoides posterior; TA músculo tiroaritenoides; IA músculo interaritenoides

La estimulación del nervio laríngeo interno causó la aparición de un potencial polifásico a nivel del músculo tiroaritenoides de amplitud mayor de 8000 µV que se registró con una latencia de 17 ms (Fig.73).

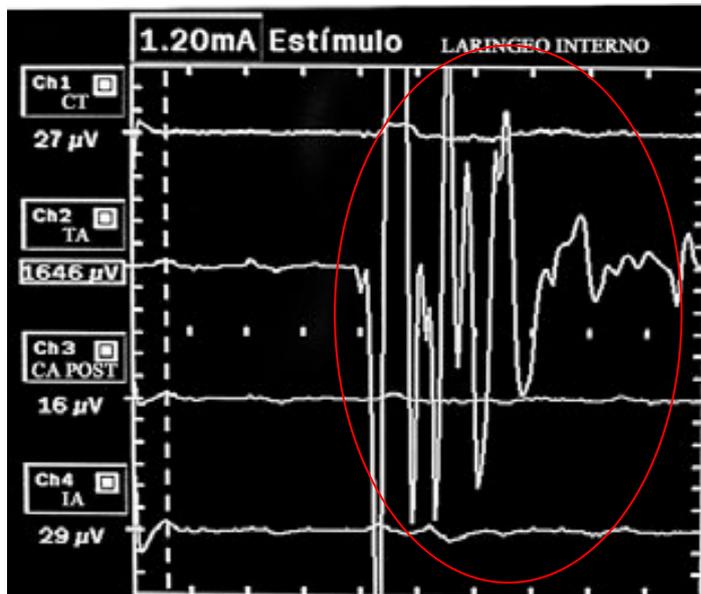


Fig. 73 Estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.2 mA. Abreviaturas: CT músculo cricotiroido; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

La estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior (intensidad 1.2 mA) provocó la aparición del potencial que se corresponde al músculo cricotiroido con amplitud de 429 µV (Fig.74). Fue una respuesta típica de la inervación clásica.

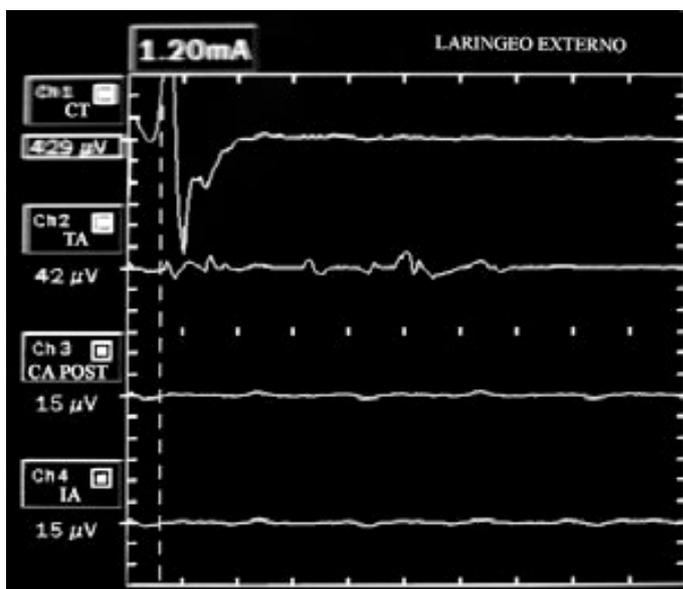


Fig. 74 Estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1.20 mA.
 Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

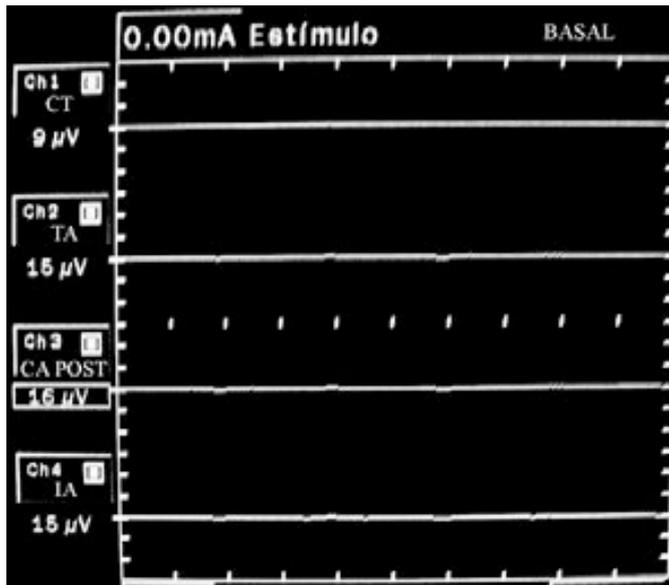


Fig. 75 Estimulación en condiciones basales. Abreviaturas: CT músculo cricotiroideo; CA músculo cricoaritenoido posterior; TA músculo tiroaritenoido; IA músculo interaritenoido

Resumen del caso:

- **Patrón electromiográfico clásico.**
- **Reflejo glótico.**

Los tratados de anatomía clásicos describen la inervación de la laringe siguiendo un patrón muy compartimentado y basado en tres ramas nerviosas fundamentales. Describen que el nervio laríngeo recurrente inerva todos los músculos intrínsecos de la hemilaringe homolateral con excepción del músculo cricotiroides. El nervio laríngeo externo inerva exclusivamente el músculo cricotiroides homolateral. Finalmente el nervio laríngeo interno tiene un papel exclusivamente sensitivo.

El punto clave inspirador de esta tesis doctoral es que el patrón clásico anteriormente descrito es insuficiente para explicar diferentes situaciones clínicas que el otorrinolaringólogo vive con frecuencia en su práctica clínica diaria. El ejemplo paradigmático son las diferentes posiciones que adopta la cuerda vocal paralizada cuando el nervio recurrente se lesiona a un mismo nivel anatómico. Este hecho inexplicable desde el punto de vista de la anatomía clásica, junto a otras evidencias clínicas, ha sido el impulsor de muchos estudios con mayor profundidad del patrón de la inervación motora de la laringe.

A lo largo de los últimos años se han publicado diferentes hipótesis que intentan dar una explicación racional a las citadas evidencias clínicas. La teoría que dota con función motora a las conexiones nerviosas que se establecen entre las tres ramas fundamentales es la que ha hecho fortuna y es la que mejor podría justificar las citadas discordancias clínicas.

Estas conexiones han sido exhaustivamente estudiadas y descritas en la literatura, siendo la tesis doctoral de la doctora Eva Marañillo la que mejor y más detalladamente las define. Esta tesis, basada en la microdissección de 206 hemilaringes humanas, demuestra que las conexiones entre los diferentes nervios laríngeos son hallazgos habituales, y que todas las hemilaringes estudiadas presentan un mínimo de dos conexiones. Además identifica la existencia de un total de ocho tipos de conexiones que se establecen entre las tres ramas nerviosas aunque su prevalencia es muy variable de una hemilaringe a otra e incluso dentro de una laringe de un mismo paciente. La aportación fundamental de la tesis de la doctora Eva Marañillo es que demuestra que el

patrón de la inervación motora de la laringe no está tan compartimentado, como se define de forma reiterada en los tratados clásicos, sino que se dispone como un plexo muy complejo y de considerable variabilidad²⁹. Esta tesis sugiere que el patrón motor de la laringe, si bien se basa en las tres ramas principales, tiene pequeñas variaciones que podrían explicar las discordancias clínicas. Para evidenciar que las conexiones tienen un papel en la movilidad de la laringe se hace imprescindible demostrar que estas tengan una función motora, por lo que el objetivo principal de la presente tesis doctoral es probar el carácter motor de las conexiones endolaríngeas y en cierto modo representa una continuación de la tesis de la doctora Eva Maranillo.

Obviamente la neuroanatomía no puede demostrar la función que tienen estas conexiones, sino sólo describirlas anatómicamente. No obstante, hoy en día se dispone de otros métodos, como la inmunohistoquímica o la electromiografía, que nos permiten investigar el tipo de fibras que componen cada uno de los nervios. En esta tesis se ha elegido el estudio electromiográfico como procedimiento demostrativo. Con este método se establece que si se estimula de forma selectiva una rama nerviosa y se recoge un potencial de acción en el músculo monitorizado se puede afirmar que esa rama nerviosa inerva a ese músculo en concreto. Obviamente el experimento ha de realizarse con una metodología adecuada para evitar falsas respuestas atribuibles a la contaminación (efecto “cross talk”).

Para demostrar que el patrón clásico de inervación motora de la laringe es insuficiente para explicar la función motora de la laringe y que las conexiones internerviosas tienen función motora, se siguió el siguiente método:

Realizar un estudio electromiográfico global en laringe humana “in vivo”, que demuestre que en ocasiones las respuestas motoras que se obtienen no pueden explicarse en base a descripciones anatómicas clásicas (se las denominó respuestas atípicas). Posteriormente establecer el porcentaje de respuestas atípicas e intentar correlacionarlas con los porcentajes descritos de las conexiones nerviosas en la tesis de la doctora Eva Maranillo.

Finalmente, en los casos que fuera posible realizar una microdissección de la pieza anatómica, intentar identificar la conexión nerviosa responsable de la respuesta atípica, para establecer que si cuando se recoge una respuesta atípica existe también la conexión que la justifique.

La discusión de esta tesis se ha dividido en siguientes apartados:

1. Discusión del método. Falsos negativos y falsos positivos.
2. Discusión de las hipótesis del trabajo:
 - a. Resultados electromiográficos globales.
 - b. Resultados por estimulación selectiva de las tres ramas nerviosas.

1. Discusión del método. Falsos negativos y falsos positivos.

Hay que resaltar que la gran virtud de esta tesis doctoral, es que se ha realizado con pacientes “in vivo”. Este hecho comporta, que si el procedimiento y el método empleado han sido los correctos, nuestras conclusiones serán ciertas. Desde el punto de vista electromiográfico, el método utilizado para demostrar que un nervio tiene una función motora es que su estimulación eléctrica eficiente y selectiva produce una respuesta motora (potencial de acción) en el músculo que inerva. Si el procedimiento se realiza correctamente, se puede afirmar que tal rama nerviosa tiene una función motora y que es la responsable de inervación de tal músculo.

Sin embargo debemos comentar que el estudio de laringes “in vivo” durante un acto quirúrgico, en un paciente real bajo anestesia general tiene también contrapartidas. Estos hechos han condicionado la realización de algunas partes del estudio. En ningún momento se olvidó que lo principal era el tratamiento quirúrgico del tumor del paciente y bajo ninguna circunstancia se realizó acto alguno que pudiera poner en peligro al

paciente o el correcto tratamiento del tumor. Este estudio fue aprobado por el Comité Ético del Hospital de la Santa Cruz y Sant Pau.

El diseño del estudio implica dos tipos de contrapartidas importantes. El primer tipo hace referencia a que no en todos los casos se haya podido cumplir el protocolo de estudio de forma completa y homogénea. En dos casos (caso 9 y 12) no se realizó la disección de la pieza para identificar las conexiones debido que ello podría alterar el estudio anatomopatológico posterior. Pensamos que este hecho no supone un obstáculo importante al objetivo principal de la tesis, dado que el hecho que no se busque la conexión, no significa de ningún modo que no exista.

El segundo grupo de limitaciones hace referencia a la veracidad de las respuestas obtenidas. Hay que aceptar que el estudio era complejo (disecar los tres nervios laríngeos, disecar y monitorizar todos los músculos intrínsecos durante una cirugía a tiempo real) y que además no se realizó en el entorno más adecuado sino todo lo contrario, en un quirófano, con un paciente con un problema oncológico importante, bajo anestesia general y con unas limitaciones horarias. Obviamente el investigador no dispuso de la tranquilidad que se tiene en un laboratorio experimental.

Estas circunstancias hacen que seamos plenamente conscientes que se pueden haber recogido tanto respuestas falsas (falsos positivos) como podamos haber “perdido” respuestas reales (falsos negativos). Estos falsos positivos y negativos podrían restar validez a nuestros resultados.

Por todo ello es indispensable describir el método que se ha empleado para evitar estas respuestas falsas, así como la interpretación del registro.

Falsos negativos

Cuando al estimular el nervio no se obtiene la respuesta muscular esperada cabe plantear varias fuentes de error.

- **Incorrecta identificación del nervio o del músculo.**

Un buen conocimiento de la anatomía de la región estudiada seguida por la meticulosa disección de las ramas nerviosas y de los músculos evitan este tipo de errores. En el presente estudio la identificación macroscópica de las estructuras nerviosas y musculares fue realizada por cirujanos expertos en cirugía laríngea y facilitada por un campo quirúrgico amplio con exposición visual directa de las estructuras.

- **Problemas en colocación del electrodo.** En nuestro estudio se utilizó electrodos bipolares con doble aguja que son fáciles de insertar en los músculos laríngeos expuestos y se mantienen estables durante la manipulación de la laringe. No obstante es posible que en condiciones intraoperatorias y debido a la manipulación de la pieza, la punta del electrodo atraviese el grosor del músculo o que se descoloque el electrodo insertado, especialmente en el músculo cricoaritenoides posterior o interaritenoides.

En nuestro estudio se revisó que la ubicación del electrodo y su correspondiente conexión con el equipo fuese la correcta.

- Falta de la respuesta muscular puede ser el resultado del **daño de la rama nerviosa o de la sección de las ramas próximas al músculo estudiado.** Para evitar este problema la disección de la laringe se efectuó por parte de cirujanos expertos y desde el lado contrario al estudiado. Sin embargo esta posibilidad nunca debe desestimarse.

- **Utilización de bloqueantes neuromusculares durante el acto quirúrgico.**

Los relajantes musculares empleados para facilitar la ventilación mecánica podrían anular las respuestas musculares durante la estimulación de los nervios. En los trabajos actuales no se encuentra evidencias que el uso de relajantes musculares influya en el resultado de EMG utilizando las agujas bipolares⁷². En nuestro estudio para disminuir al mínimo la probabilidad de obtener los falsos negativos se decidió reducir el grado de relajación muscular durante el tiempo de la estimulación nerviosa.

Durante anestesia general se suele emplear medicamentos que pueden modificar las respuestas reflejas de la laringe.

Se ha observado que con el aumento de la dosis de fentanilo, durante la anestesia con propofol, se alteran los reflejos de las vías aéreas en modo dosis dependiente⁶⁶. En nuestro estudio se observó la aparición del reflejo glótico en el 50% de los casos coincidiendo con los resultados encontrados en la literatura⁵⁹, dato que orienta a que el grado de relajación muscular no fue causa de los falsos negativos.

- **Fatiga muscular.** Cabe mencionar también el efecto de la fatiga muscular que es el resultado del declive de la capacidad de un músculo para mantener una fuerza de contracción constante después de una estimulación repetida y prolongada. Este efecto queda anulado si se deja los músculos en reposo unos instantes, que es justo el tiempo que transcurría entre las diferentes estimulaciones.

- **Mala técnica de estimulación.** Es importante conseguir la disección adecuada del nervio ya que la presencia de una fascia muy gruesa a su alrededor puede alterar la calidad del estímulo.

Además una intensidad de estímulo inicial demasiado baja causaría falta de respuesta muscular. Dependiendo de las condiciones, en el caso que el nervio esté bien disecado y seco, el estímulo de 0.3-0.4 mA debería provocar la contracción del músculo. El máximo de la despolarización se espera con intensidades de 0.8 mA, aunque puede ser muy variable⁷⁵.

La incorrecta utilización del estimulador también puede ocasionar la aparición de los falsos negativos. Cuando se emplea el estimulador bipolar hay que tener en cuenta la colocación del dispositivo. La estimulación eléctrica de una estructura nerviosa es más eficaz cuando el flujo de la corriente sigue la dirección de la zona proximal a la distal. En el aparato NIM el flujo de la corriente de estimulación va desde el polo negativo (cátodo) al positivo (ánodo), por lo que el cátodo que es el extremo más pequeño debería colocarse en la posición más proximal del nervio. Ambos electrodos tienen que estar totalmente en contacto con el tejido neural y además las puntas deben tener orientación paralela al nervio. A lo contrario podemos no conseguir la despolarización del nervio y la consecuente ausencia del potencial motor del músculo.

En nuestro estudio se prestó mucha atención a la buena disección de los tres nervios estudiados y también a la correcta estimulación bipolar.

- **Presencia de los líquidos corporales en la zona estimulada**, como sangre o exudado seroso, puede provocar la pérdida de la corriente por lo que al nervio no le llega la intensidad suficiente para superar el umbral de despolarización. Para disminuir la posibilidad de falsos negativos se procura realizar la estimulación en condiciones libres de líquidos y utilizando el estimulador bipolar.
- Algunos de los pacientes con tumores avanzados presentan **progresión tumoral** en el momento de realizar el acto quirúrgico. La infiltración tumoral de la cuerda vocal estudiada que ocasiona la disminución de su movilidad podría alterar las respuestas electromiográficas causando la aparición de falsos negativos a pesar de la integridad de la inervación. En los casos de infiltración tumoral el potencial puede aparecer con la misma latencia que en el músculo sano pero tiene una amplitud más baja ⁸⁸. En nuestro estudio se objetivó la invasión de la comisura anterior en cinco casos (caso número 2, 6, 9, 10 y 12), pero solamente en el caso número 2 y 10 observamos amplitud más baja del potencial del músculo tiroaritenoides al estimular el nervio recurrente en comparación con otras respuestas musculares.

- No se debe menospreciar la influencia de la **radioterapia**. Los efectos físicos de la radioterapia se extienden desde la alteración de las células mucosecretoras causando la sequedad, la formación de tejido fibroso, alteraciones en microcirculación y finalmente la atrofia de las fibras musculares. Se ha demostrado que la radioterapia tanto para tumores glóticos, como aquellos no laríngeos en la misma zona, puede alterar la integridad de las cuerdas vocales y su biomecánica ⁸⁹.
- **Neurotoxicidad**. En algunos casos de nuestro estudio existió el antecedente de quimioterapia (caso número 3, 5, 7 y 9), radioterapia (caso 6, 11 y 12) o la combinación de ambos tratamientos (caso 13). Estos tratamientos previos al acto quirúrgico podrían distorsionar las respuestas electromiográficas en algunos casos dado su conocida neurotoxicidad.
- **Errores técnicos**. En los casos de ausencia de respuesta muscular a la estimulación se debe revisar siempre el estado de las conexiones del equipo, la colocación de los electrodos musculares con sus correspondientes conexiones con el equipo, los fusibles y parámetros del equipo establecidos. El umbral de evento puede estar configurado demasiado alto y no registrar potenciales válidos pero con una amplitud baja.

Durante el estudio nos hemos encontrado con problemas técnicos del equipo como fallo de la impresora en dos casos (caso 12 y 13), que condicionó la recogida de una parte de resultados en otro formato que impresión en el papel.

- **Errores de interpretación**. La interpretación del registro electromiográfico no está dentro de las capacidades del otorrinolaringólogo y puede generar errores. En esta tesis doctoral la validez de los resultados obtenidos y su interpretación fueron revisados por un experto en electromiografía (Dr. Xavier Navarro, catedrático de fisiología de la UAB).

En nuestro estudio, en 6 casos se obtuvo respuestas con poca amplitud (n=3) o no se generó el potencial esperado (n=3) en algunos de los músculos monitorizados. Veámoslo con detalle.

Músculo interaritenoido.

En tres casos de nuestro estudio no se obtuvo respuestas esperadas a nivel del **músculo interaritenoido** al estimular el nervio recurrente.

- Como ocurre en el caso número 3 donde el potencial no alcanzó mucha amplitud (189 μV) en comparación con los registros del músculo tiroaritenoido (1821 μV) y cricoaritenoido posterior (5083 μV). La colocación del electrodo fue comprobada y se descartó la influencia de relajantes musculares porque se obtuvieron respuestas en los otros músculos y por el tiempo transcurrido desde la última dosis de relajantes aplicada. La única explicación sería el escaso volumen muscular que tenía este músculo que hace posible que en este caso la aguja se colocase en una zona marginal.

Además el paciente tuvo el antecedente de quimioterapia de inducción que se suspendió finalmente tras el primer ciclo por presentar como complicación un accidente cerebrovascular. Estas circunstancias podrían explicar la pobre respuesta electromiográfica del músculo interaritenoido en el paciente.

- Una situación parecida se observó en el caso número 12 donde se obtuvo una respuesta con poca amplitud (109 μV) en el músculo interaritenoido al lado de un potencial de 455 μV del músculo tiroaritenoido y 496 μV del músculo cricoaritenoido posterior. El paciente recibió radioterapia previa con escasa respuesta a nivel tumoral. En la literatura se ha descrito la asociación de la radioterapia con la parálisis de los nervios laríngeos o su alteración subclínica confirmada mediante el estudio electromiográfico ⁹⁰. En este caso, a parte de la escasa respuesta del músculo interaritenoido al estimular el nervio recurrente, se observó poca respuesta refleja en comparación con las respuestas de otros casos.

- En el caso número 13 no se obtuvo ninguna respuesta del músculo interaritenoides. El paciente tuvo antecedente de radioterapia y quimioterapia previa por un tumor de orofaringe que podría influir en los resultados electromiográficos ya que se apunta a la neurotoxicidad de este tipo de tratamiento. La atrofia y el poco volumen muscular serían otros factores justificantes.

Músculo tiroaritenoides.

En dos casos faltan respuestas electromiográficas a nivel del **músculo tiroaritenoides**.

- En el caso número 8 donde no se encontró la causa aparente de la ausencia de respuesta a nivel del músculo tiroaritenoides. Sin embargo se observó una respuesta de 450 μV de amplitud del músculo cricoaritenoides posterior y también se registró potencial del músculo interaritenoides (145 μV). Una salida accidental del electrodo podría ser la única explicación de la falta de respuesta del músculo tiroaritenoides.
- En el caso número 10 la poca amplitud (152 μV) de la respuesta del músculo tiroaritenoides al lado del potencial de del músculo cricoaritenoides posterior (1521 μV) y del músculo interaritenoides (1361 μV) se debe posiblemente a la infiltración tumoral de la cuerda estudiada dado la progresión tumoral encontrada durante la intervención.

Músculo cricoaritenoides posterior.

En un caso falta la respuesta a nivel del **músculo cricoaritenoides posterior**.

- En el caso número 7 se comprobó la correcta colocación del electrodo. Se obtuvo respuestas simultáneas de otros músculos intrínsecos al estimular las ramas nerviosas (608 μV del músculo tiroaritenoides y 323 μV del músculo interaritenoides al estimular el nervio recurrente). El factor externo que podría

causar la ausencia del potencial en este músculo podría ser la quimioterapia previa o el daño de las ramas nerviosas procedentes del nervio recurrente. Otras posibles explicaciones podrían ser quizás una colocación errónea o desplazamiento del electrodo.

Valoración de la influencia de los falsos negativos.

Desde un punto de vista conceptual y de la veracidad de los resultados, hay que resaltar que la presencia de los falsos negativos no tiene un impacto decisivo en las conclusiones de esta tesis doctoral dado que, aunque provocan que no se obtenga respuesta, en ningún caso generan respuestas falsas. Por lo que los resultados que obtuvimos y se presentan en esta tesis no son erróneas ya que no establecen una conexión falsa sino en todo caso las respuestas estarían infravaloradas. El porcentaje de respuestas reales es como mínimo el que se ha descrito en esta tesis.

Falsos positivos

Cuando al estimular un nervio laríngeo se obtiene una respuesta muscular no explicable según el patrón clásico de la inervación motora de la laringe (la denominaremos la respuesta atípica) cabe plantearse que sea debida a la presencia de una conexión laríngeo o puede tratarse de un error metodológico dando pie a un falso positivo. Los falsos positivos se definen por la obtención de una respuesta que no se debe a la contracción del músculo estudiado causada por la estimulación de la rama nerviosa.

A continuación se describen las posibles fuentes de error y los métodos utilizados para evitarlas:

- **Contaminación debida a la actividad eléctrica del músculo vecino o por utilizar electrodos monopolares.** Existe la posibilidad de contaminación del registro del “músculo diana” por los potenciales producidos por los músculos de vecindad, debido al fenómeno de “cross talk”.

La contaminación aparece, bien porque el músculo vecino tiene un gran volumen de fibras musculares que genera un gran potencial de acción que se detecta en las zonas de proximidad, o bien porque el estímulo eléctrico es tan intenso que difunde hacia la laringe a través de las estructuras vasculares o fluidos ⁷⁵.

En el caso de la laringe, el pequeño volumen de los músculos hace muy difícil la contaminación por excesivo potencial de vecindad, especialmente a nivel del músculo cricotiroides que se encuentra separado de los otros músculos por la barrera que supone la lámina tiroidea. Además mediante la experiencia obtenida durante el empleo de la estimulación percutánea de los músculos a baja intensidad, se sabe que primero se despolarizan las estructuras nerviosas, que tienen umbral de activación más bajo que las fibras musculares. En la laringe, los músculos tienen un tamaño relativamente pequeño y es prácticamente imposible obtener la estimulación directa de las fibras musculares sin que se activen previamente las fibras nerviosas. Tal y como describe Sanders ⁸⁶, con una estimulación de 3 mA de intensidad es razonable asumir que se activen solamente las estructuras nerviosas en la zona estimulada. Con las intensidades mayores de 5 mA es posible que se contraigan los músculos vecinos y en el caso de las laringes paralizadas con succinilcolina se necesita estímulo de 20 mA para obtener el movimiento. En este estudio nunca se sobrepasó estimulaciones mayores de 2,50 mA.

Además hay que resaltar que en nuestro estudio se utilizó únicamente electrodos bipolares y también el estimulador bipolar que reduce la posibilidad de falsos positivos ⁹¹.

- **Confusión entre el artefacto y el potencial verdadero.** Analizando el registro de electromiografía se puede encontrar con potenciales difíciles de interpretar y dar por válido a un artefacto. La sospecha de un falso positivo aparece cuando se obtiene potenciales de una amplitud muy baja que no se incrementan de manera proporcional al aumentar la intensidad del estímulo y no mantienen la morfología tras estimulaciones repetidas. Además la duración del potencial falso difiere del potencial verdadero. Con la aguja concéntrica bipolar el potencial verdadero tiene una duración media de 4,3 ms ⁷².

En nuestro estudio se estableció un umbral de potencial mínimo de 50 μV con el objetivo de disminuir la confusión entre el potencial verdadero y artefactos. Por otro lado la morfología del potencial verdadero es diferente para cada uno de los músculos monitorizados.

En ocasiones durante la estimulación se observa un artefacto de estimulación que tiene forma de una onda monofásica. Aparece inmediatamente después de realizar la estimulación y puede distorsionar la morfología del potencial motor que la sigue.

Aparece cuando el electrodo que registra la respuesta se encuentra demasiado cerca del sitio del estímulo. En nuestro estudio se utilizó un estimulador bipolar con lo que se disminuyó la probabilidad de fuga de corriente que puede interferir de forma directa en el potencial del músculo.

Por último la probabilidad de la aparición de los artefactos de estimulación dependerá de la distancia entre el punto estimulado y el músculo monitorizado. Para evitar la interferencia el punto de estimulación del nervio recurrente se situó a una distancia media de 13 mm de la articulación cricotiroidea y de 38 mm del músculo tiroaritenideo. También la distancia media desde el punto de estimulación del nervio laríngeo externo hasta el músculo cricotiroideo es de 14 mm y hasta el músculo tiroaritenideo es de 29 mm.

- **Colocación incorrecta del electrodo.** Una de las causas de la aparición de las falsas respuestas electromiográficas podría ser incorrecta colocación de los electrodos. Sin embargo la buena visibilidad de los músculos durante la cirugía abierta reduce considerablemente este riesgo.
- Otras causas de falsos positivos que se tuvo en cuenta son
 - a. artefactos que aparecen tras la irrigación del campo con líquidos fríos,
 - b. tracción del nervio estudiado,
 - c. cuando el paciente se despierta de anestesia,
 - d. cuando los cables de los electrodos y el estimulador se entrelazan,
 - e. también pueden aparecer potenciales a causa de las interferencias con otros equipos eléctricos que hay que apartar del perímetro.

Todos estos artefactos son controlables debido a la diferencia en la forma, latencia y amplitud con el potencial verdadero.

Valoración de la influencia de los falsos positivos.

Los falsos positivos pueden alterar la interpretación de los resultados electromiográficos e identificar de forma errónea la existencia de ramas nerviosas intralaringeas con función motora. En nuestro estudio se analizó la aparición de potenciales atípicos considerando siempre la posibilidad de falsos positivos. De gran ayuda fue la aportación del doctor Xavier Navarro quien participó en la interpretación de los resultados electromiográficos. Se analizaron los registros prestando especial atención a la forma de los potenciales motores, la latencia de su aparición, su duración y amplitud. En caso de respuestas dudosas no se incluyeron en los resultados. En los casos de encontrarse con respuestas inusuales al estimular determinadas ramas nerviosas, se procedió, en la mayoría de los casos, a la microdissección, intentando localizar las conexiones nerviosas responsables del fenómeno.

Sin embargo la dificultad de la microdissección en quirófano y con la limitación del estudio anatomopatológico posterior, hizo que en varias ocasiones no se halló la conexión, lo cual no significa que no exista.

2. Discusión de las hipótesis del trabajo.

2.1 Los resultados electromiográficos globales de la hemilaringe.

El patrón clásico de inervación laríngea vigente durante muchos siglos ha empezado a modificarse gracias a la publicación de nuevos estudios anatómicos. La presencia habitual de conexiones entre los nervios laríngeos es el sustrato anatómico que justifica el cambio del concepto clásico.

La electromiografía laríngea es una herramienta que nos permite conocer la función que desempeñan estas conexiones y cuyo significado se intentó descubrir en nuestro estudio. A modo de síntesis se observó diferentes patrones electromiográficos

- 2.1.1 Patrón electromiográfico típico.
- 2.1.2 Patrón electromiográfico atípico.
- 2.1.3 Reflejo glótico.

2.1.1 Patrón electromiográfico típico.

De los doce registros del nuestro estudio, en la mitad de los casos (caso número 6, 7, 8, 10, 11 y 13) se obtuvo un patrón electromiográfico concordante con el patrón clásico de inervación de la laringe descrito en la literatura. Este patrón se define por respuestas

electromiográficas a nivel del músculo cricotiroides al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior. Cuando se estimula la rama interna no aparecen potenciales directos en los músculos. Finalmente al estimular el nervio recurrente se obtiene respuestas de los músculos tiroaritenoides, cricoaritenoides posterior e interaritenoides.

2.1.2 Patrón electromiográfico atípico.

En los otros seis casos (caso número 1, 2, 3, 5, 9 y 12) al lado de las respuestas musculares esperadas aparecieron otras que no siguieron el patrón clásico (respuestas atípicas) sugiriendo algún tipo de conexión nerviosa intralaríngea. Por tanto, el patrón electromiográfico atípico representa un 50% de los registros. El porcentaje es lo suficientemente alto como para pensar que denominarlo “atípico” es semánticamente poco afortunado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se trata de una muestra de pequeño tamaño que requiere confirmarse con una población de mayor tamaño.

La disección anatómica llevada a cabo en varios de los casos confirmó la existencia de las conexiones entre diferentes ramas nerviosas (caso número 1, 2, 3, 5 y 7) aunque no todas encontraron confirmación de su función motora en el registro electromiográfico (como ocurre en el caso número 7). En dos casos a pesar de la existencia de las respuestas inhabituales en la EMG no se realizó la disección para no alterar la pieza quirúrgica (caso número 9 y 12).

Las respuestas atípicas podemos agrupar en tres patrones electromiográficos globales:

- **Patrón EMG con la respuesta atípica en el músculo cricotiroides al estimular el nervio recurrente (33,3% de los registros atípicos).**

En dos casos (caso número 2 y 9), al estimular el nervio recurrente, al margen de las respuestas musculares clásicas, apareció una respuesta aislada a nivel del músculo cricotiroides. Este hecho sugirió la presencia de una conexión directa entre el nervio

recurrente y el músculo cricotiroido. La conexión cricotiroido descrita en la tesis de la doctora Marañillo (encontrada en 68% de las hemilaringes estudiadas) sería el sustrato anatómico de esta respuesta atípica. Sin embargo en nuestro estudio en un caso no se pudo confirmar su presencia mediante la microdissección, probablemente debido al pequeño tamaño que tiene esta conexión. En el otro caso (caso número 9) se decidió no realizar la disección para no alterar la valoración anatomopatológica de la pieza debido a la extensión tumoral. En un estudio reciente de Martín-Oviedo se observó en 7 de los 13 casos (53%), la presencia de una respuesta electromiográfica a nivel del músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente que coincidió con el hallazgo de la conexión cricotiroido en todos estos casos ².

- **Patrón EMG con la respuesta atípica en el músculo tiroaritenoido al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior (33,3%).**

Otro patrón electromiográfico inusual apareció en 2 casos (caso número 3 y 12) donde se encontró una respuesta aislada del músculo tiroaritenoido al estimular el nervio laríngeo externo. Las respuestas musculares encontradas sugieren la presencia de una conexión cricotiroido descrita en la literatura en forma de rama que penetra en el músculo cricotiroido dirigiéndose hacia el pliegue vestibular donde se anastomosa con el nervio recurrente superficialmente al músculo tiroaritenoido o entre sus fibras y que se ha propuesto como una fuente de la inervación adicional para el músculo vocal ¹⁴. La presencia de la conexión cricotiroido se confirmó en el caso número 3 mediante la microdissección. En el caso número 12 no se realizó la disección para no alterar la valoración anatomopatológica de la pieza.

- **Patrón EMG con la respuesta atípica en el músculo cricotiroides al estimular el nervio recurrente y en el músculo tiroaritenoides al estimular el nervio laríngeo externo (33,3%).**

Un tercer patrón electromiográfico se registró en 2 casos (caso número 1 y 5) donde se obtuvo respuestas tanto del músculo cricotiroides al estimular el nervio recurrente como del músculo tiroaritenoides al estimular el nervio laríngeo externo. Este hecho indica la presencia de una conexión cricotiroides que se confirmó en la disección anatómica en un caso (caso número 5). En el otro caso se encontraron las fibras procedentes del nervio laríngeo externo que alcanzaban el músculo cricoaritenoides lateral y el músculo tiroaritenoides. Estos datos sugieren que la conexión cricotiroides entre el nervio recurrente y el nervio laríngeo externo puede ser bidireccional.

Estos hallazgos apoyan nuestra hipótesis de trabajo y apuntan un papel motor de las conexiones intralaringeas. La variedad de respuestas electromiográficas y diferentes patrones del registro electromiográfico abren la puerta a la interpretación de fenómenos como la diferente posición que adopta la cuerda vocal en lesiones nerviosas a un mismo nivel. También pueden ayudar a establecer el pronóstico y el tratamiento de las parálisis laríngeas en el futuro.

2.1.3 Reflejo glótico.

Además en el 50% de los casos del estudio se recogieron las respuestas musculares compatibles con el reflejo glótico (caso número 1, 6, 7, 10, 12 y 13) que aparece tras estimulación de la rama interna del nervio laríngeo superior. En la mitad de estos casos se observó las respuestas del músculo tiroaritenoides e interaritenoides que aparecieron de manera casi simultánea, en 2 casos (caso número 12 y 13) se registró solamente la

respuesta en el músculo tiroaritenoides. Finalmente en un caso (caso número 10) apareció potencial del músculo interaritenoides sin que se registrara respuesta del músculo tiroaritenoides. El reflejo glótico coincidió en la mayoría de los casos con el patrón clásico de la inervación (4/6). Esta respuesta no ha de confundirse con una respuesta atípica sino que es la manifestación electromiográfica del reflejo de protección que tiene la laringe para evitar las aspiraciones.

2.2 Resultados por estimulación de las tres ramas nerviosas

En los casos con respuestas no habituales se analizó los resultados según la rama estimulada para demostrar nuestras hipótesis.

Primera hipótesis anuncia que

El nervio recurrente no solo inerva al músculo cricoaritenoides posterior, interaritenoides, tiroaritenoides y cricoaritenoides lateral, como se acepta hasta ahora, sino que también puede inervar en ciertas ocasiones al músculo cricotiroideo.

Estimulando **el nervio recurrente** se obtuvo respuestas electromiográficas a nivel del músculo cricotiroideo en 4 de los doce casos (33%).

La existencia de la conexión submucosa entre el nervio recurrente y el nervio laríngeo externo fue descrita por Dilworth en el año 1921. En los años siguientes se realizaron estudios en los animales que confirmaron la presencia de las ramas nerviosas procedentes del nervio laríngeo externo que alcanzaban la mucosa de subglotis y el

músculo tiroaritenoides. En los estudios en pacientes se observó que el nervio laríngeo externo penetraba en el músculo cricotiroides dirigiéndose hacia el pliegue vestibular donde se anastomosaba con el nervio recurrente superficialmente al músculo cricoaritenoides lateral, tiroaritenoides o entre las fibras del mismo músculo tiroaritenoides. Wu nombró la rama como el nervio humano comunicante (“human communicating nerve”), aunque a lo largo de los años se le asignó diferentes nombres como nervio piriforme⁹² o anastomosis cricotiroides. Se propuso que podría ser una fuente de la inervación adicional para el músculo vocal y además Olthoff logró confirmar la presencia de las fibras motoras¹⁴. Recientemente se ha descrito varios patrones de conexiones entre ambos nervios que pueden aparecer a diferentes niveles, implicando las ramas nerviosas que se dirigen también a los músculos cricoaritenoides lateral, interaritenoides y cricoaritenoides posterior. En los estudios basados en la disección se aprecia que la prevalencia de la conexión cricotiroides es variable y se encuentra entre 4,3% en los estudios del principio del siglo pasado y 85% de los casos cuando se ha utilizado el microscopio. Globalmente en todos los estudios de disección publicados hasta la fecha que cuenta con 609 hemilaringes se encontró 277 conexiones entre el nervio recurrente y la rama externa del nervio laríngeo superior, estableciendo una frecuencia de 45%⁹³.

Habitualmente la conexión tiene forma de una rama única, pero en ocasiones (14% de los casos) la rama procedente del nervio laríngeo externo puede desdoblarse justo antes de formar la conexión con el nervio recurrente.

También se ha descrito la existencia de una rama nerviosa que nace del nervio recurrente y alcanza el músculo cricotiroides (22%) sin formar una conexión⁹³.

Si consideramos los casos donde aparece la respuesta en el músculo cricotiroides podemos observar que:

- En el caso número 1 se encontró la respuesta electromiográfica a nivel del músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente con la intensidad de 1mA. Se puede considerar como respuesta débil por su poca amplitud (330 μ V) en comparación con las respuestas de otros músculos (amplitud desde 1602 μ V para el músculo cricoaritenoido posterior, y 3919 μ V en el caso del músculo interaritenoido) pero bien estructurada. En consecuencia **se consideró posible la presencia de la conexión entre la rama externa del nervio laríngeo superior y el nervio recurrente**. Además, en este caso se observó la respuesta electromiográfica a nivel del músculo tiroaritenoido (606 μ V) al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior con la intensidad de 1mA y un aumento de la amplitud hasta 754 μ V al elevar la intensidad a 2 mA, sugiriendo la presencia de una conexión cricotiroido. Sin embargo a pesar de las evidencias electromiográficas, no se pudo identificar claramente la anastomosis cricotiroido en la microdissección realizada en este caso. Solamente se apreciaron unas **fibras nerviosas procedentes del nervio laríngeo externo** que alcanzaban el músculo cricoaritenoido lateral y el músculo tiroaritenoido y justifican la respuesta muscular del músculo vocal tras la estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior. Sin embargo no aclaran la aparición de la respuesta a nivel del músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente.
- En el caso número 2 se observó una respuesta muy evidente del músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente. Se obtuvo el potencial de 355 μ V de amplitud con intensidad del estímulo de 0.3 mA, que aumentó hasta 1181 μ V al incrementar la intensidad a 1.7 mA. **Estos hallazgos sugieren la presencia de la conexión cricotiroido**. Sin embargo a pesar de la respuesta electromiográfica evidente **no se confirmó la presencia de la conexión cricotiroido mediante la microdissección**. No obstante no se pudo descartar la existencia de las ramas nerviosas que forman la conexión entre el nervio

recurrente y el músculo cricotiroido debido a las dificultades en la microdissección en condiciones intraoperatorias.

- En el caso número 5 al estimular el nervio recurrente se obtuvo una respuesta a nivel del músculo cricotiroido con una amplitud creciente (de 347 μV a 378 μV) conforme se aumentó la intensidad del estímulo (de 1.15 mA a 2.40 mA). Además al estimular el nervio laríngeo externo con una intensidad de 1.10 mA se obtuvo respuesta del músculo tiroaritenoido (996 μV) con una amplitud parecida a la del músculo cricotiroido (925 μV). **Este patrón de registro electromiográfico indica posible existencia de la conexión cricotiroida.** En este caso dado las condiciones favorables y el estado anestésico de la paciente se realizó un estudio más ampliado.

Se confirmó la presencia de la conexión cricotiroida mediante la microdissección. Al final de estudio se seccionó el tronco del nervio recurrente y se estimuló directamente las fibras nerviosas. Se obtuvo respuesta a nivel del músculo cricotiroido con una amplitud (715 μV) parecida a la del músculo cricoaritenoido posterior (638 μV). Durante la estimulación del nervio laríngeo externo con el nervio recurrente seccionado persistió la respuesta del músculo tiroaritenoido. El potencial del músculo cricotiroido en este caso parece englobar el artefactado del estímulo. Finalmente la respuesta del músculo tiroaritenoido durante la estimulación del nervio laríngeo externo desapareció cuando se seccionó la rama de la conexión cricotiroida encontrada. Es el caso donde se pudo demostrar de forma evidente el papel motor que tiene esta conexión.

- En el caso número 9 al estimular el nervio recurrente con una intensidad de 1.45 mA se observó una respuesta a nivel del músculo cricotiroido que alcanzó una amplitud de 651 μV . Esta respuesta tuvo amplitud mayor que la del músculo cricoaritenoido posterior (331 μV) y del músculo ineteraritenoido (520 μV). **La aparición del potencial sugirió la presencia de una conexión**

intralaríngea aunque en este caso **no se realizó la microdissección**, a pesar de haber detectado el patrón electromiográfico atípico para no alterar la valoración anatomopatológica de la pieza quirúrgica.

Valoración: En cuatro de los doce casos estudiados (33%) al estimular el nervio recurrente se obtuvo respuestas electromiográficas inhabituales para un patrón clásico de inervación. La aparición de los potenciales en el músculo cricotiroides sugiere existencia de alguna conexión entre el nervio recurrente y la rama externa del nervio laríngeo superior. En dos casos en nuestro estudio (16%) coincidieron respuestas electromiográficas atípicas en dos músculos en el mismo paciente. Cuando se estimuló el nervio recurrente se obtuvo respuesta a nivel del músculo cricotiroides y al estimular el nervio laríngeo externo apareció respuesta a nivel del músculo tiroaritenoides. Este tipo de registro no se observó en ningún otro estudio.

En un estudio recién publicado por el doctor Martín-Oviedo et al. se demuestra la presencia de la conexión cricotiroides en los registros electromiográficos del 54% de los casos estudiados ². Ambos estudios ponen en evidencia la existencia no despreciable de un patrón electromiográfico diferente al conocido y aceptado hasta ahora.

Sin embargo, al realizar la disección anatómica en los casos donde aparecieron respuestas atípicas en el músculo cricotiroides se confirmó la presencia de la conexión cricotiroides solamente en un caso y en el otro se encontró fibras directas procedentes del nervio laríngeo externo que alcanzaban el músculo cricoaritenoides lateral y el músculo tiroaritenoides sin localizar la conexión directa entre el nervio recurrente y el nervio laríngeo externo. Los estudios de disección amplios publicados hasta la fecha establecen una prevalencia de la conexión cricotiroides alrededor de 45% ^{46,93}. Aunque hay un estudio con 13 pacientes que encuentra la conexión cricotiroides en 77% de hemilaringes ². La baja prevalencia de la conexión cricotiroides en nuestro estudio se puede justificar por las condiciones de la disección anatómica realizada en ambiente de quirófano, por el tiempo limitado para ejecutar el estudio y en algunos casos la renuncia

expresa a la disección para no alterar el estudio anatomopatológico de la pieza quirúrgica.

Teniendo en cuenta que el enfoque principal de esta tesis fue el estudio electromiográfico de la hemilaringe humana en búsqueda de nuevos patrones y posibles conexiones nerviosas, la parte de disección anatómica tiene un valor complementario aunque cuando se encuentra la conexión da más valor a los resultados.

Considerando los resultados obtenidos podemos decir que nuestra hipótesis ha sido demostrada y que el nervio recurrente puede inervar en ciertas ocasiones al músculo cricotiroideo.

El resto de los músculos monitorizados al estimular el nervio recurrente siguieron el patrón clásico de la inervación, a excepción de algunos registros donde no se obtuvo la respuesta esperada (6/12) por su baja amplitud o falta del potencial.

Segunda hipótesis anuncia que

El nervio laríngeo interno no es exclusivamente un nervio sensitivo, sino que en alguna ocasión aporta fibras motoras para el músculo tiroaritenoides e interaritenoides.

Al estimular el **nervio laríngeo interno** se observó en 6 casos (50%) la aparición de potenciales a nivel del músculo tiroaritenoides e interaritenoides. Esta respuesta ha de valorarse con mucha cautela dado que puede tratarse de una respuesta directa o bien de la expresión del reflejo glótico que no está mediado por las conexiones entre los nervios. La primera aproximación a este resultado cuestiona la naturaleza de la rama interna del nervio laríngeo superior clásicamente considerada puramente sensitiva. Existen evidencias que la rama interna del nervio laríngeo superior proporciona la inervación sensitiva a la parte por encima de las cuerdas vocales y además según los estudios más recientes se considera que su rama inferior interviene también en la inervación sensitiva de la subglotis⁹⁴.

La existencia de las conexiones entre los nervios laríngeo superior y nervio recurrente fue observada en los estudios anatómicos clásicos, sin embargo su función motora fue puesta en duda por Lemere en los años treinta del siglo XX basándose en experimentos de estimulación de las anastomosis. A partir de aquel momento muchos autores asumieron, que la totalidad de las fibras que forman la conexión, son de tipo sensorial. Esta opinión perduró durante décadas⁴⁶. Hasta que los autores como Clerf, Baltzell (1953) y Tschiasny (1957) aventuraron la posible existencia de fibras motoras que alcanzarían el músculo interaritenoides y que serían responsables de la posición paramediana de las cuerdas vocales en la parálisis recurrencial bilateral de las cuerdas vocales. Esta teoría se vio reforzada cuando Kruse encontró fibras positivas para la enzima de acetilcolina en el tronco y ramas del nervio laríngeo interno que se dirigían hacia el vestíbulo y el músculo interaritenoides²⁰.

En nuestro estudio apareció un caso (caso número 1) con respuesta directa del músculo interaritenoides al estimular la rama interna del nervio laríngeo superior. Es una respuesta desencadenada con la estimulación de 1 mA y alcanzó una amplitud de 120 μ V que aumentó (180 μ V) cuando se incrementó la intensidad de la estimulación a 2 mA. Este efecto podría corresponder a la onda M del reflejo de Hoffmann que consiste en que al estimular un nervio mixto que posee axones motores y sensitivos aparece una

respuesta muscular directa seguida por una respuesta H que aparece con cierta latencia. A intensidades bajas aparece sólo el reflejo H, ya que las fibras sensitivas tienen un umbral de acción más bajo que los axones motores. A medida que aumenta la intensidad del estímulo aparece la onda M que se debe a la estimulación directa de las fibras motoras y que aumenta progresivamente. En nuestro caso la aparición de la onda directa en el músculo interaritenideo sugiere la presencia de las fibras motoras en la rama interna del nervio laríngeo superior de acuerdo con la teoría de Clerf, Baltzell y Tschiasny.

El resto de las respuestas musculares registradas presentaron una latencia considerable (16-20 ms) que descarta la estimulación directa. Además tuvieron un trazo polifásico de duración muy superior a los potenciales musculares registrados en otros músculos, por lo que se interpretaron como la presencia del conocido reflejo glótico.

Las primeras aproximaciones al reflejo glótico las hicieron Doty y Bosna en 1956 estimulando el nervio laríngeo superior en monos, perros y gatos. Estos autores demostraron mediante la electromiografía la participación de los músculos laríngeos aductores en el cierre glótico durante la deglución, lo que interpretaron como el propio reflejo de protección⁵⁴.

La estimulación directa del nervio laríngeo superior en los experimentos animales de Roubau bajo anestesia general, causó una respuesta del músculo cricotiroideo ipsilateral que no se observó en nuestro estudio y cuatro respuestas de los músculos tiroaritenideos que fueron ipsi y contralaterales. La estimulación con la intensidad de 1 mA no provocaba la respuesta refleja, pero con la estimulación de 2 mA se obtenía respuesta en la mitad de los casos con una marcada coherencia en el lado ipsilateral. En nuestro estudio respondieron en forma del reflejo glótico 6 de los 12 casos, coincidiendo con la estimulación entre 1.2 mA y 2 mA. Novedosa parece la respuesta a nivel del músculo interaritenideo que coincide con la respuesta del músculo tiroaritenideo no descrita en la literatura⁹⁵.

Existen múltiples factores que pueden frenar la aparición del reflejo como por ejemplo la anestesia general. Sasaki en modelos experimentales en animales bajo anestesia general estudió el reflejo y describió varias respuestas de las cuales la primera parece ser constante. Es una respuesta muy rápida de aducción de la cuerda ipsilateral (R1), que aparece con una latencia de unos 10-18 ms. Esta respuesta se observó también de manera constante en pacientes bajo anestesia general⁵⁹. En nuestro estudio también se pudo apreciar este tipo de respuesta en 6 casos.

- En el primer caso, la respuesta que se obtuvo al estimular el nervio laríngeo interno tiene varios componentes. A nivel del músculo interaritenoso aparece una respuesta directa a los 3.5 ms (estimulación a 1 mA) con una amplitud de 120 μV , seguida por una respuesta con latencia de 16 ms y curva polifásica de amplitud máxima de 439 μV , parecida a las respuestas reflejas y de duración de 20 ms. Cuando se incrementó la intensidad del estímulo a 2 mA se obtuvo las respuestas parecidas a las anteriores. La respuesta directa a los 3 ms y de 180 μV de amplitud y otra respuesta que apareció con una latencia de 21.5 ms y amplitud de 772 μV . Es un patrón de respuesta atípico ya que no existen evidencias que el reflejo glótico contenga un componente de respuesta directa a la estimulación y tampoco parece ser resultado de “cross-talk”. La conexión internerviosa encontrada en la disección en forma de la conexión tiroaritenosa no justifica esta respuesta.

Considerando la respuesta del músculo tiroaritenoso a la estimulación del nervio laríngeo interno (1 mA) se encontró los registros polifásicos que aparecieron con latencia de 20 ms, de amplitud de 211 μV y duración de 7,5 ms. Su amplitud se incrementó ligeramente hasta 289 μV con una estimulación de 2 mA y una duración de 16 ms. Se trata de una respuesta refleja clásica al estimular el nervio laríngeo interno, que coincide con la descrita en la literatura.

- En el caso número 6, al estimular el nervio laríngeo interno con una intensidad de 1.5 mA se obtuvo una respuesta polifásica a nivel de los músculos tiroaritenosoideo (659 μV) e interaritenosoideo (1202 μV) con latencia de 16 ms en ambos casos y una duración de 26,5 ms en el caso de músculo tiroaritenosoideo y de 29,5 ms en el músculo interaritenosoideo. Se objetivó una respuesta motora intensa al estimular el nervio laríngeo interno. Dado que la respuesta presentó latencia, se interpretó como un reflejo laríngeo de cierre.
- En el caso número 7 la estimulación del nervio laríngeo interno resultó en la respuesta en los músculos tiroaritenosoideo e interaritenosoideo que tuvieron una morfología polifásica. En el músculo interaritenosoideo apareció con latencia de 16.5 ms con una amplitud de 420 μV y una duración de 20 ms. En el músculo tiroaritenosoideo apareció con latencia de 18 ms, una amplitud de 340 μV y una duración de 22 ms.

Es interesante mencionar que la latencia en el músculo interaritenosoideo fue aparentemente más corta que en el músculo tiroaritenosoideo. Se podría buscar la posible justificación en la distribución de las ramas nerviosas del nervio recurrente que en primera instancia suple el músculo interaritenosoideo. Sin embargo las distancias son tan pequeñas que no son clínicamente relevantes.

- En el caso número 10 al estimular el nervio laríngeo interno (intensidad de 1.5 mA y 2 mA) apareció el reflejo de cierre a expensas del músculo interaritenosoideo que tuvo una morfología polifásica. La respuesta apareció con latencia de 20 ms disminuyendo al aumentar la intensidad del estímulo hasta 19 ms y duró unos 14 ms. La amplitud varía de 821 μV a 671 μV según la intensidad aplicada. En este caso se amplió el estudio mediante la sección de la rama interna del nervio laríngeo interior.

Destacó también la falta de respuesta refleja a nivel del músculo tiroaritenoides que no se puede justificar por las condiciones de anestesia general. Uno de los factores que podrían inducir la ausencia de la respuesta del músculo es la extensión tumoral en la comisura anterior.

- En el caso número 12 la estimulación del nervio laríngeo interno con 2.0 mA provocó la aparición de la respuesta polifásica del músculo tiroaritenoides (143 μV) con una latencia de 21 ms y una duración de 19 ms. No se detectó una respuesta refleja del músculo interaritenoides, coincidiendo con la poca respuesta de este músculo a la estimulación del nervio recurrente (109 μV) y podría ser resultado de la toxicidad del tratamiento previo de radioterapia.
- En el caso número 13 al estimular el nervio laríngeo interno (1.2 mA) apareció una respuesta a nivel del músculo tiroaritenoides. El potencial tuvo forma polifásica y una amplitud que sobrepasó 8000 μV . Apareció con latencia de 17 ms y su duración fue de 32,5 ms.

Valoración: El reflejo glótico apareció en 6 de los 12 casos en nuestro estudio (caso número 1, 6, 7, 10, 12 y 13). Es un número que coincide con lo descrito en la literatura (50%)⁵⁹.

En cinco casos apareció el potencial en el músculo tiroaritenoides con una latencia media de 18.8 ms (16- 21 ms) encontrándose en el rango citado en la literatura⁵⁹. La amplitud media del potencial que tuvo un trazado polifásico fue de 357 μV , excepto en un caso que sobrepasó 8000 μV . La duración media del potencial a nivel del músculo tiroaritenoides fue de 23,2 ms (16- 32,5 ms).

En tres casos (caso número 1, 6 y 7) las respuestas implicaron dos músculos intrínsecos aductores, el músculo tiroaritenoides e interaritenoides, que se contrajeron

simultáneamente, aparecieron con casi la misma latencia, tuvieron parecida amplitud y duración.

En un único caso (caso número1) se encontró una respuesta directa del músculo interaritenoso a los 3.5 ms (estimulación a 1 mA) con una amplitud de 120 μV , seguida por la respuesta típica del reflejo con una latencia de 16 ms y una curva polifásica de amplitud máxima de 439 μV y una duración de 20 ms. Cuando aumentó la intensidad del estímulo a 2 mA se obtuvo unas respuestas parecidas a las anteriores con un aumento de amplitud. Sin embargo, nuestra descripción es la primera donde se observa respuesta directa a nivel del músculo interaritenoso. En el estudio de Thumfart se describe la aparición de respuestas musculares directas en el músculo cricotiroides al estimular la rama interna del nervio laríngeo superior que no se observó en nuestro estudio. Aparecen con la latencia variable entre 4-6 ms⁹⁶.

En un caso (caso número 10) apareció solamente la respuesta refleja en el músculo interaritenoso (821 μV), sin detectar los potenciales del músculo tiroaritenoso. La posible explicación podría encontrarse en la extensión tumoral.

En la mayoría de los casos (4/6) el reflejo glótico coincidió con un patrón electromiográfico considerado como clásico.

Finalmente cabe mencionar que el reflejo de cierre glótico proviene de la estimulación de los mecanorreceptores y quimiorreceptores y no se desencadena con el estiramiento de los músculos intrínsecos de la laringe⁶⁴.

Existe un único caso (8,3% de la serie) que apoya nuestra hipótesis que el nervio laríngeo superior no es solamente un nervio sensitivo sino que también puede llevar fibras motoras.

Tercera hipótesis anuncia que

El nervio laríngeo externo no es un nervio motor exclusivo del músculo cricotiroides sino que también, en ocasiones, puede llevar la inervación al músculo tiroaritenoides.

La estimulación del **nervio laríngeo externo** causó en cuatro casos respuestas inhabituales a nivel del músculo tiroaritenoides. Aunque solamente en un paciente se pudo confirmar la presencia de la conexión cricotiroides mediante la microdissección. El hallazgo de la conexión cricotiroides explica el comportamiento del músculo tiroaritenoides, y da a la conexión una razón funcional.

- En el caso número 1 se observó la respuesta electromiográfica en el músculo tiroaritenoides (606 μV) al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior con una intensidad de 1 mA. La amplitud aumentó hasta 754 μV al elevar la intensidad a 2 mA, confirmando la presencia de la conexión nerviosa. En la disección anatómica se apreciaron **fibras nerviosas procedentes del nervio laríngeo externo** que alcanzaban el músculo cricoaritenoides lateral y el músculo tiroaritenoides que justifican la respuesta en el músculo vocal después de la estimulación de la rama externa del nervio laríngeo superior.
- En el caso número 3 apareció la respuesta del músculo tiroaritenoides al estimular (intensidad de 0.5 mA) el nervio laríngeo externo con una amplitud de 2540 μV y que podría corresponder a la conexión cricotiroides encontrada en la disección.

- Se encontró también el patrón electromiográfico no típico en el caso número 5 al estimular el nervio laríngeo externo (intensidad de 1.10 mA) obteniendo una respuesta del músculo tiroaritenoides (996 μ V) con una amplitud parecida a la del músculo cricotiroideo (925 μ V). **Este patrón de registro electromiográfico sugiere la presencia de la conexión cricotiroidea, que fue confirmada en el estudio de disección.** La estimulación del nervio laríngeo externo con el nervio recurrente seccionado causó una respuesta de los músculos cricotiroideo y tiroaritenoides. La respuesta del músculo tiroaritenoides durante la estimulación del nervio laríngeo externo desapareció cuando se secciona la rama de la conexión cricotiroidea encontrada confirmando su función motora.
- En el caso número 12 se encontró una respuesta con escasa amplitud (60 μ V), bien estructurada en el músculo tiroaritenoides al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior con una intensidad de 1.0 mA. No se realizó la disección anatómica en este caso.

Resumen: En nuestro estudio encontramos respuestas electromiográficas en el músculo tiroaritenoides en 4 de los 12 casos (33%). En dos casos se pudo confirmar la presencia de la conexión cricotiroidea y en otro la presencia de las fibras directas desde el nervio laríngeo externo hasta el músculo tiroaritenoides.

Con lo consiguiente se puede afirmar que el nervio laríngeo externo no es un nervio motor exclusivo del músculo cricotiroideo sino que también, en ocasiones, puede llevar la inervación al músculo tiroaritenoides.

Al lado del patrón clásico de la inervación, que en nuestro estudio está representado por seis casos, existe una variedad de las respuestas electromiográficas dependiendo del tipo y número de las conexiones encontradas. Teniendo en cuenta que en estudios

anatómicos sobre las conexiones intralaringeas, el 100% de las hemilaringes estudiadas presentan un mínimo de dos anastomosis y en el 79% tres o más ⁴⁶ la magnitud del fenómeno proporcionaría una importante variabilidad funcional.

Correlación de los resultados electromiográficos con las ramas nerviosas encontradas durante la microdissección.

Comparando la microdissección de las piezas quirúrgicas con las respuestas electromiográficas encontramos

- 3 casos de concordancia entre los hallazgos de la electromiografía y la disección anatómica (caso número 1, 3 y 5)
- 1 caso donde se encontró la conexión tiroaritenoides pero no resultó en una respuesta en la electromiografía (caso número 7)
- 2 casos donde a pesar de la existencia de respuestas electromiográficas no se realizó la microdissección para no alterar la pieza quirúrgica (caso 9 y 12)

Nuestros resultados podrían ser la base funcional que esclarecería las evidencias clínicas que no son explicables con el patrón clásico. Además en el futuro el conocimiento amplio de las conexiones intralaringeas puede servirnos para realizar el

- diagnóstico más preciso de la parálisis de las cuerdas vocales ya que en el momento actual se basa en la posición de la cuerda vocal sin precisar el nivel de la lesión
- también puede ayudar para predecir secuelas de las cirugías si pudiéramos conocer las posibles conexiones intralaringeas e inervación accesoria de los músculos intrínsecos
- cambiar el concepto de trasplante de la laringe para obtener una buena funcionalidad. Quizás en el futuro podremos crear las laringes biónicas controladas por los nervios del propio paciente o laringes cultivadas de las células madre.

- 1. El nervio laríngeo recurrente participa en la inervación motora del músculo cricotiroideo en un 33% de nuestros casos (4/12). En uno de estos cuatro casos se identificó la conexión cricotiroidea.**
- 2. El nervio laríngeo interno participa en la inervación motora de otros músculos intrínsecos de la laringe. En un caso de nuestra serie (8,3%) el nervio laríngeo interno inerva el músculo interaritenoides. Las respuestas en el músculo tiroaritenoides e interaritenoides encontradas en seis de los doce casos se deben a la presencia del reflejo glótico. El músculo interaritenoides participa en el reflejo glótico (4 de los seis casos).**
- 3. El nervio laríngeo externo participa en la inervación del músculo tiroaritenoides en un 33% de nuestros casos (4/12). En dos casos se confirmó la presencia de la conexión cricotiroidea y en uno la presencia de las fibras directas desde el nervio laríngeo externo hasta el músculo tiroaritenoides.**
- 4. Se encontró 6 conexiones nerviosas entre los nervios laríngeos en cuatro disecciones realizadas (dos conexiones cricotiroideas, dos casos de fibras que procedían desde la rama externa del nervio laríngeo superior con su terminación en el músculo tiroaritenoides y finalmente dos conexiones tiroaritenoides). Cinco de las seis conexiones tuvieron función motora. Existen dos casos donde se observó la función motora de la conexión cricotiroidea con sentido bidireccional con la aparición de respuestas en el músculo cricotiroideo al estimular el nervio recurrente y tiroaritenoides al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior.**

- 5. El patrón clásico de la inervación de la laringe descrito en la literatura permite explicar sólo 50% de nuestros resultados electromiográficos. En el otro 50% el patrón debe contener alguna conexión internerviosa intralaríngea para justificar los hallazgos.**

1. Agur A, Dalley A. Grant's Atlas of Anatomy. 12th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2009, pp. 763. ISBN 9780781770552.
2. Martin-Oviedo C, Maranillo E, Lowy-Benoliel A, Pascual-Font A, Martínez-Guirado T, Rodríguez-Niedenfu M, Sañudo J, Scola B, Vazquez T. Funcional role of human laryngeal nerve connections. *Laryngoscope* 2011, vol. 121, no.11, pp. 2338-2343.
3. Castro L, Toro M. La evolución del lenguaje. *Ludus Vitalis*. Centro Secretaría de Educación Pública, la Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa y Edicions UIB de la Universitat de les Illes Balears, 2005, vol. VIII, no. 24, pp. 203-210.
4. Aitchison J. El lenguaje humano se parece más al de los pájaros que al de los chimpancés. *MUY Interesante*. Entrevista publicada 1.08.1996 .Núm.183.
5. Kaplan EL, Salti GI, Roncella M, Fulton N, Kadowaki M. History of the recurrent laryngeal nerve: from Galen to Lahey. *World J Surg* , 2009, vol. 33, no. 3, pp. 386-393.
6. Romero R. Erasistratus de Ceos (310-250 A.C.). Pionero de los Estudios Anatómicos, *Int. J. Morphol*, 2008, vol. 26, pp. 823-824.
7. Plaza F. Historia de la nomenclatura de los nervios craneales. *Rev Soc Venez Hist Med* 2008, vol. 57, pp. 7-16.
8. Hooper F. The Respiratory Function of the Human Larynx. Papers II Physiological Laboratory Harvard Medical School. Max -Planck_Institute for the History of Science. The Virtual Laboratory Essays and Resources on the Experimentalization of Life. Berlin. Collected 1885, pp. 1-20.
9. Hooper F. Concerning the Positions of Paralyzed Vocal Bands. Physiological Laboratory Harvard Medical School. Max - Planck_Institute for the History of Science. The Virtual Laboratory Essays and Resources on the Experimentalization of Life. Berlin. Collected 1886, pp. 1-11.
10. Blalock A, Crowe S.J. The recurrent laryngeal nerves in dogs experimental studies. *Arch Surg*, 1926, vol. 12, pp. 95-116.
11. Stavroulaki P, Birchall M. Comparative study of the laryngeal innervation in humans and animals employed in laryngeal transplantation research. *J Laryngol Otol*, 2001, vol. 115, no.4, pp. 257-266.

12. Ibañez M. Estudio anatómico e inmunohistoquímico de los ganglios asociados a los nervios laríngeos humanos. Tesis doctoral. Dirigida por José Ramón Sañudo. Universidad Autónoma de Barcelona. 2003, pp 96-106.
13. Mu L, Sanders I. Sensory nerve supply of the human oro- and laryngopharynx: a preliminary study. *Anat Rec*, 2000, vol. 258, pp. 406-420.
14. Olthoff A, Schiel R, Kruse E. The supraglottic nerve supply: an anatomic study with clinical implications. *Laryngoscope*, 2007, vol. 117, pp. 1930-1933.
15. Stephens RE, Wendel KH, Addington WR. Anatomy of the internal branch of the superior laryngeal nerve. *Clin Anat*, 1999, vol. 12, pp. 79-83.
16. Rouvière H, Delmas A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. Elsevier, Masson, 2005, pp. 315-316. ISBN 8445813137.
17. Evans JM, Schucany WG. Hoarseness and cough in a 67-year-old woman. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*, 2004, vol. 17, pp. 469-472.
18. Townsend C, Sabiston D, Beauchamp D. Sabiston, tratado de cirugía: Fundamentos biológicos de la práctica quirúrgica moderna. 17th ed. Madrid: Elsevier, 2005, vol. I, pp. 948. ISBN 8481748986.
19. Cagnol G, Santini J, Demard F. Anatomy of the recurrent nerve. Descriptive anatomy, trajectory and relationships, variations. *Acta Otorhinolaryngol Belg*, 1987, vol. 41, pp. 821-827
20. Kruse E, Olthoff A, Schiel R. Functional anatomy of the recurrent a superior laryngeal nerve. *Langenbecks Arch Surg*, 2006, vol. 391, pp. 4-8.
21. Blitzer A, Jahn AF, Keidar A. Semon's law revisited: an electromyographic analysis of laryngeal synkinesis. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1996, vol.105, pp. 764-769.
22. Woodson GE. Configuration of the glottis in laryngeal paralysis. II: Animal experiments. *Laryngoscope*, 1993, vol. 103, pp. 1235-1241.
23. Hoffman H, Springell PH. Local re-innervation in partially denervated muscle; a histophysiological study. *Aust J Exp Biol Med Sci*, 1950, vol. 28, pp. 383-397.
24. Hoffman H, Springell PH. An attempt at the chemical identification of neurocletin (the substance evoking axon-sprouting). *Aust J Exp Biol Med Sci*, 1951, vol. 29, pp. 417-424.
25. Hast MH. The respiratory muscle of the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1967, vol. 76, pp. 489-497.

26. English DT, Blevins CE. Motor units of laryngeal muscles. *Arch Otolaryngol* 1969, vol. 89, no. 5, pp. 778-784.
27. Cody CC. Associated paralysis of the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1946, vol. 55, pp. 549-561.
28. Muller F, O'Rahilly R, Tucker JA. The human larynx at the end of the embryonic period proper. I. The laryngeal and infrahyoid muscles and their innervation. *Acta Otolaryngol*, 1981, vol. 91, no. 5-6, pp. 323-336.
29. Marañillo E. Estudio anatómico de los nervios laríngeos: conexiones intralaríngeas y patrones de inervación muscular. Dirigida por José Ramón Sañudo. Universidad Autónoma de Barcelona, 2003.
30. Sañudo JR, Marañillo E, León X, Mirapeix RM, Orús C, Quer M. An anatomical study of anastomoses between the laryngeal nerves. *Laryngoscope*, 1999, vol. 109, no. 6, pp. 983-987.
31. Furlan JC, Brandao LG, Ferraz AR. Prevalence of Galen's anastomosis: an anatomical and comparative study. *J Laryngol Otol*, 2002, vol. 116, no. 10, pp. 823-825.
32. Marañillo E, León X, Orús C, Quer M, Sañudo JR. Variability in nerve patterns of the adductor muscle group supplied by the recurrent laryngeal nerve. *Laryngoscope*, 2005, vol. 115, no.2, pp. 358-362.
33. Tellis CM, Rosen C, Thekdi A, Sciote JJ. Anatomy and fiber type composition of human interarytenoid muscle. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2004, vol. 113, no.2, pp. 97-107.
34. Ludlow CL. Central nervous system control of the laryngeal muscles in humans. *Respir Physiol Neurobiol*, 2005, vol. 147, no. 2-3, pp. 205-222.
35. Céruse P, Ltaief-Boutrigou A, Buiret G, Cosmidis A, Tringali S. Anatomía descriptiva, endoscópica y radiológica de la laringe. *EMC -Otorrinolaringología* 2012, vol. 3, pp. 1-26.
36. Sanders I, Han Y, Wang J, Biller H. Muscle spindles are concentrated in the superior vocalis subcompartment of the human thyroarytenoid muscle. *J Voice*, 1998, vol. 12, pp. 7-16.
37. Stuart DG, Hamm TM, Vanden Noven S. Partitioning of monosynaptic Ia EPSP connections with motoneurons according to neuromuscular topography: generality and functional implications. *Prog Neurobiol*, 1988, vol. 30, pp. 437-447.

38. Netter F. Atlas de Anatomía Humana. 4ª ed. Elsevier Masson, 2007, p 594. ISBN 9788445817599.
39. Sanders I, Jacobs I, Wu BL, Biller HF. The three bellies of the canine posterior cricoarytenoid muscle: implications for understanding laryngeal function. *Laryngoscope*, 1993, vol. 103, no.2, pp. 171-177.
40. Bryant NJ, Woodson GE, Kaufman K, Rosen C, Hengesteg A, Chen N, Yeung D. Human posterior cricoarytenoid muscle compartments. *Anatomy and mechanics. Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1996, vol. 122, no.12, pp.1331-1336.
41. Sanders I, Wu BL, Mu L, Biller HF. The innervation of the human posterior cricoarytenoid muscle: evidence for at least two neuromuscular compartments. *Laryngoscope*, 1994, vol. 104, no. 7, pp. 880-884.
42. Eller RL, Miller M, Weinstein J, Sataloff RT. The innervation of the posterior cricoarytenoid muscle: exploring clinical possibilities. *J Voice*, 2009, vol. 23, no.2, pp. 229-234.
43. Sanders I, Rai S, Han Y, Biller HF. Human vocalis contains distinct superior and inferior subcompartments: possible candidates for the two masses of vocal fold vibration. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1998, vol. 107, no.10, pp.826-833.
44. Choi HS, Berke GS, Ye M, Kreiman J. Function of the thyroarytenoid muscle in a canine laryngeal model. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1993, vol. 102, no.10, pp. 769-776.
45. Han Y, Wang J, Fischman DA, Biller HF, Sanders I. Slow tonic muscle fibers in the thyroarytenoid muscles of human vocal folds; a possible specialization for speech. *Anat Rec*, 1999, vol. 256, no.2, pp. 146-157.
46. Wu BL, Sanders I, Mu L, Biller HF. The human communicating nerve. An extension of the external superior laryngeal nerve that innervates the vocal cord. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1994, vol. 120, no.12, pp. 1321-1328.
47. Nasri S, Beizai P, Ye YM, Sercarz JA, Kim YM, Berke GS. Cross-innervation of the thyroarytenoid muscle by a branch from the external division of the superior laryngeal nerve. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1997, vol. 106, no.7, pp. 594-598.
48. Nasri S, Beizai P, Sercarz JA, Kreiman J, Graves MC, Berke GS. Function of the interarytenoid muscle in a canine laryngeal model. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1994, vol. 103, no.12, pp. 975-982.
49. Mu L, Sanders I, Wu BL, Biller HF. The intramuscular innervation of the human interarytenoid muscle. *Laryngoscope*, 1994, vol. 104, no.1, pp. 33-39.

50. Mu L, Sanders I. The human cricothyroid muscle: three muscle bellies and their innervation patterns. *Journal of Voice*, 2009, vol. 23, no.1, pp. 21-28.
51. Hong KH, Ye M, Kim YM, Kevorkian KF, Kreiman J, Berke GS. Functional differences between the two bellies of the cricothyroid muscle. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1998, vol. 118, no.5, pp. 714-722.
52. Sasaki CT. *Physiology of the larynx*. Philadelphia: Harper and Row, 1984, pp. 10
53. Hyodo M, Taguchi A, Yamagata T, Desaki J. A complex muscle fiber network in the cricothyroid muscle: a scanning electron microscopic study. *Laryngoscope*, 2007, vol. 117, no.4, pp. 600-603.
54. Canals P, López Catalá F, Villoslada C, Marco Peiró A, Marco Algarra J. *Electromiografía laríngea: aplicaciones y técnica*. ORL-DIPS, 2001, vol. 28, no.3, pp. 132-137.
55. Ikari T, Sasaki CT. Glottic closure reflex: control mechanisms. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1980, vol. 89, no.3, pp. 220-224.
56. Haraguchi S, Fung RQ, Sasaki CT. Effect of hyperthermia on the laryngeal closure reflex. Implications in the sudden infant death syndrome. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1983, vol. 92, no.1, pp. 24-28.
57. Ludlow CL, Van Pelt F, Koda J. Characteristics of late responses to superior laryngeal nerve stimulation in humans. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1992, vol. 101, no.2, pp. 127-134.
58. Henriquez VM, Schulz GM, Bielamowicz S, Ludlow CL. Laryngeal reflex responses are not modulated during human voice and respiratory tasks. *J Physiol*, 2007, vol. 585, no.3, pp. 779-789.
59. Sasaki CT, Suzuki M. Laryngeal reflexes in cat, dog, and man. *Arch Otolaryngol*, 1976, vol. 102, no.7, pp. 400-402.
60. Goding GS, Richardson MA, Trachy RE. Laryngeal chemoreflex: anatomic and physiologic study by use of the superior laryngeal nerve in the piglet. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1987, vol. 97, no.1, pp. 28-38.
61. Yamashita T, Nash EA, Tanaka Y, Ludlow CL. Effects of stimulus intensity on laryngeal long latency responses in awake humans. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1997, vol. 117, no.5, pp. 521-529.
62. Sasaki CT, Yu Z, Xu J, Hundal J, Rosenblatt W. Effects of altered consciousness on the protective glottic closure reflex. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2006, vol. 115, no.10, pp. 759-763.

63. Kim YH, Kang JW, Kim KM. Characteristics of glottic closure reflex in a canine model. *Yonsei Med J*, 2009, vol. 50, no.3, pp. 380-384.
64. Loucks TM, Poletto CJ, Saxon KG, Ludlow CL. Laryngeal muscle responses to mechanical displacement of the thyroid cartilage in humans. *J Appl Physiol*, 2005, vol. 99, no.3, pp. 922-930.
65. Janczewski WA. Muscle relaxation attenuates the reflex response to laryngeal negative pressure. *Respir Physiol*, 1997, vol. 107, no.3, pp. 219-230.
66. Tagaito Y, Isono S, Nishino T. Upper airway reflexes during a combination of propofol and fentanyl anesthesia. *Anesthesiology*, 1998, vol. 88, no.6, pp. 1459-1466.
67. Cox KA, Alipour F, Titze IR. Geometric structure of the human and canine cricothyroid and thyroarytenoid muscles for biomechanical applications. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1999, vol. 108, no.12, pp. 1151-1158.
68. Sanders I, Mu L. Anatomy of the human internal superior laryngeal nerve. *Anat Rec*, 1998, vol. 252, no.4, pp. 646-656.
69. Ryan S, McNicholas WT, O'Regan RG, Nolan P. Intralaryngeal neuroanatomy of the recurrent laryngeal nerve of the rabbit. *J Anat*, 2003, vol. 202, no.5, pp. 421-430.
70. Guyton A. *Tratado de fisiología médica*. 6ª ed. México: Nueva Editorial Interamericana. 1986, pp. 125-145. ISBN 9682508738.
71. Santo Neto H, Marques MJ. Estimation of the number and size of motor units in intrinsic laryngeal muscles using morphometric methods. *Clin Anat*, 2008, vol. 21, no.4, pp. 301-306.
72. Tschopp KP, Gottardo C. Comparison of various methods of electromyographic monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2002, vol. 111, no.9, pp. 811-816.
73. Schweizer V, Woodson GE, Bertorini TE. Single-fiber electromyography of the laryngeal muscles. *Muscle Nerve*, 1999, vol. 22, no.1, pp. 111-114.
74. Eisele DW. Intraoperative electrophysiologic monitoring of the recurrent laryngeal nerve. *Laryngoscope*, 1996, vol. 106, no.4, pp. 443-449.
75. Randolph G, Dralle H, Abdullah H, Barczynski M, Bellantone R, Brauckhoff M, Carnaille B, Cherenko S, Chiang FY, Dionigi G, Finck C, Hartl D, Kamani D, Lorenz K, Miccolli P, Mihai R, Miyauchi A, Orloff L, Perrier N, Poveda MD, Romanchishen A, Serpell J, Sitges-Serra A, Sloan T, Van Slycke

- S, Snyder S, Takami H, Volpi E, Woodson G. Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. *Laryngoscope*, 2011, vol. 121, suppl.1, pp. 1-16.
76. Sataloff RT, Mandel S, Mann EA, Ludlow CL. Laryngeal electromyography: an evidence-based review. *Muscle Nerve*, 2003, vol. 28, no.6, pp. 767-772.
 77. Kimaid PA, Quagliato EM, Crespo AN, Wolf A, Viana MA, Resende LA. Laryngeal electromyography in movement disorders: preliminary data. *Arq Neuropsiquiatr*, 2004, vol. 62, no.3A, pp. 741-744.
 78. Eckel HE, Wittekindt C, Klussmann JP, Schroeder U, Sittel C. Management of bilateral arytenoid cartilage fixation versus recurrent laryngeal nerve paralysis. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2003, vol. 112, no.2, pp. 103-108.
 79. Munin MC, Rosen CA, Zullo T. Utility of laryngeal electromyography in predicting recovery after vocal fold paralysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, vol. 84, no.8, pp. 1150-1153.
 80. Min YB, Finnegan EM, Hoffman HT, Luschei ES, McCulloch TM. A preliminary study of the prognostic role of electromyography in laryngeal paralysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1994, vol. 111, no.6, pp. 770-775.
 81. Woodson GE. Configuration of the glottis in laryngeal paralysis. I: Clinical study. *Laryngoscope*, 1993, vol. 103, no.11, pp. 1227-1234.
 82. Mikuni N, Satow T, Taki J, Nishida N, Enatsu R, Hashimoto N. Endotracheal tube electrodes to map and monitor activities of the vagus nerve intraoperatively. Technical note. *J Neurosurg*, 2004, vol. 101, no.3, pp. 536-540.
 83. Mu LC, Yang SL. Electromyographic study on end-to-end anastomosis of the recurrent laryngeal nerve in dogs. *Laryngoscope*, 1990, vol. 100, no.9, pp. 1009-1017.
 84. Ludlow CL, Yeh J, Cohen LG, Van Pelt F, Rhew K, Hallett M. Limitations of electromyography and magnetic stimulation for assessing laryngeal muscle control. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1994, vol. 103, no.1, pp. 16-27.
 85. Rodriguez AA, Myers BR, Ford CN. Laryngeal electromyography in the diagnosis of laryngeal nerve injuries. *Arch Phys Med Rehabil*, 1990, vol.71, no.8, pp. 587-590.
 86. Sanders I, Kraus WM, Morel B, Wu BL, Aviv JE, Biller HF. Transmucosal electrical stimulation of laryngeal muscles. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1989, vol. 98, no.5, pp. 339-345.

87. Asgharpour E, Maranillo E, Sañudo J, Pascual-Font A, Rodriguez-Niedenfuhr M, Valderrama F, Viejo F, Parkin I, Vázquez T. Recurrent laryngeal nerve landmarks revisited. *Head and Neck*, 2012, vol. 34, no.9, pp.1240-1246.
88. Xu W, Han D, Hou L, Zhang L, Zhao G. Value of laryngeal electromyography in diagnosis of vocal fold immobility. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2007, vol. 116, no.8, pp. 576-581.
89. Fung K, Yoo J, Leeper HA, Hawkins S, Heeneman H, Doyle PC, Venkatesan VM. Vocal function following radiation for non-laryngeal versus laryngeal tumors of the head and neck. *Laryngoscope*, 2001, vol. 111, no.11, pp. 1920-1924.
90. Lau DP, Lo YL, Wee J, Tan NG, Low WK. Vocal fold paralysis following radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma: laryngeal electromyography findings. *J Voice*, 2003, vol. 17, no.1, pp. 82-87.
91. Ingelmo I, Trapero JG, Puig A, De Blas G, Regidor I, Leon JM. Intraoperative monitoring of the facial nerve: anesthesia and neurophysiology considerations. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*, 2003, vol. 50, no.9, pp. 460-471.
92. Sanders I, Li Y, Biller H. Axons enter the human posterior cricoarytenoid muscle from the superior direction. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1995, vol. 121, no.7, pp. 754-757.
93. Maranillo E, León X, Quer M, Orús C, Sañudo JR. Is the external laryngeal nerve an exclusively motor nerve? The cricothyroid connection branch. *Laryngoscope*, 2003, vol. 113, no.3, pp. 525-529.
94. Yoshida Y, Tanaka Y, Hirano M, Nakashima T. Sensory innervation of the pharynx and larynx. *Am J Med*, 2000, vol. 108, Suppl 4a, pp. 51S-61S.
95. Roubeau B, Lefaucheur JP, Moine A, Lacau St Guily J. Asymmetry of the laryngeal reflex responses to superior laryngeal nerve stimulation unrelated to the length of the recurrent nerves in the porcine model. *Acta Otolaryngol*, 1998, vol. 118, no.6, pp. 882-886.
96. Thumfart WF. Electromyography of the larynx and related technics. *Acta Otorhinolaryngol Belg*, 1986, vol. 40, no.2, pp. 358-376.

Ilustraciones:

Agur A, Dalley A. Grant's Atlas of Anatomy. 12th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2009, pp. 763. ISBN 9780781770552.

Maranillo E. Estudio anatómico de los nervios laríngeos: conexiones intralaríngeas y patrones de inervación muscular. Dirigida por José Ramón Sañudo. Universidad Autónoma de Barcelona, 2003.

Netter F. Atlas de Anatomía Humana. 4^a ed. Elsevier Masson, 2007, p 594. ISBN 9788445817599.

Testut L, Latarget A. Anatomía humana. Barcelona: Salvat. 1972. Tomo III. pp. 882-931.

A.D.A.M Interactive Anatomy Version 3.0.6, 2000.

A Miguel Quer por sus consejos, paciencia y absoluta disponibilidad.

A César Orús por su estímulo constante, apoyo moral en los momentos de dificultad y por haberme contagiado con su entusiasmo hacia la investigación novedosa.

A Montse López por la energía transmitida que me ayudó a terminar este trabajo y por sus consejos en la edición de esta tesis.

A Joan Montserrat por su interés y por darme ánimos para continuar la labor de escribir.

A Eva Maranillo por su generosidad en compartir los frutos de su trabajo de investigación.

A Dr. Xavier Navarro por su inestimable ayuda en la interpretación de los resultados de electromiografía.

A mis padres por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por su presencia silenciosa, por la constante motivación y ayuda para hacer realidad esta tesis.

A mi hermano Karol por su incesable estímulo y su afán por resolver problemas técnicos.

A Consuelo por su dedicación y su talento que ha dado un toque final a la parte gráfica de este trabajo.

A mis hijas por su inocente interés en adornar este trabajo.

A Miguel por estar siempre a mi lado, por sus consejos y el tiempo dedicado.

A todos los compañeros del Servicio de Otorrinolaringología médicos, residentes, enfermeras y auxiliares, personal administrativo por su colaboración.

A todos aquellos que me hayan ayudado de alguna manera y que por olvido involuntario no están aquí.

Y para terminar una reflexión que sigue actual más que nunca

Si...

Si puedes mantener en su lugar tu cabeza cuando todos a tu alrededor,
han perdido la suya y te culpan de ello.

Si crees en tí mismo cuando todo el mundo duda de tí,
pero también dejas lugar a sus dudas.

Si puedes esperar y no cansarte de la espera;
o sí, siendo engañado, no respondes con engaños,
o sí, siendo odiado, no te domina el odio
Y aun así no pareces demasiado bueno o demasiado sabio.

Si puedes soñar y no hacer de los sueños tu amo;
Si puedes pensar y no hacer de tus pensamientos tu único objetivo;
Si puedes conocer al triunfo y la derrota,
y tratar de la misma manera a esos dos impostores.
Si puedes soportar oír toda la verdad que has dicho,
tergiversada por malhechores para engañar a los necios.
O ver cómo se rompe todo lo que has creado en tu vida,
y agacharte para reconstruirlo con herramientas maltrechas.

Si puedes amontonar todo lo que has ganado
y arriesgarlo todo a un solo lanzamiento ;
y perderlo, y empezar de nuevo desde el principio
y no decir ni una palabra sobre tu pérdida.
Si puedes forzar tu corazón y tus nervios y tus tendones,
para seguir adelante mucho después de haberlos perdido,
y resistir cuando no haya nada en ti
salvo la voluntad que te dice: "Resiste!".

Si puedes hablar a las masas y conservar tu virtud.
o caminar junto a reyes, y no distanciarte de los demás.
Si ni amigos ni enemigos pueden herirte.
Si todos cuentan contigo, pero ninguno demasiado.
Si puedes llenar el inexorable minuto,
con sesenta segundos de lucha bravía...

Tuya es la Tierra y todo lo que hay en ella,

y lo que es más: serás un hombre, hijo mío.

Rudyard Kipling

La inervación de la laringe humana se basa fundamentalmente en tres nervios de acuerdo con la anatomía clásica: el nervio laríngeo recurrente que inerva a todos los músculos intrínsecos a excepción del músculo cricotiroido, el nervio laríngeo externo que inerva el músculo cricotiroido y el nervio laríngeo interno que tiene un papel exclusivamente sensitivo. Sin embargo, los recientes estudios de neuroanatomía de la laringe describen múltiples conexiones que se establecen entre los tres nervios laríngeos, variables en su prevalencia. Estas conexiones podrían proporcionar la inervación motora adicional a los músculos laríngeos. El objetivo de esta tesis es estudiar los patrones de respuesta electromiográfica de la hemilaringe humana tras estimulación de los nervios laríngeos “in vivo” y correlacionarlos con la presencia de las conexiones nerviosas. **Material y métodos:** El estudio se realizó sobre 13 pacientes (10 hombres y 3 mujeres) sometidos a la laringectomía total por su patología tumoral. La edad media de los pacientes fue de 64.4 años (52-81 años). Siete de los trece pacientes (54 %) incluidos en el estudio recibieron algún tratamiento previo del tumor (en 4 casos la quimioterapia y en 3 casos la radioterapia). Durante la intervención de la laringectomía total se localizaron los tres nervios laríngeos en el lado no afecto por el tumor y se monitorizaron cuatro músculos intrínsecos de la laringe (el músculo cricoaritenoido posterior, interaritenoido, tiroaritenoido y cricotiroido) mediante los electrodos de aguja bipolares. En los casos en los que se obtuvo respuestas que sólo podrían ser explicadas por la existencia de conexiones entre los nervios, se realizó la microdissección. **Conclusiones:** **1.** El nervio laríngeo recurrente participó en la inervación motora del músculo cricotiroido en un 33% de nuestros casos (4/12). La conexión cricotiroido se identificó solamente en uno de los casos. **2.** El nervio laríngeo interno participó en la inervación motora de otros músculos intrínsecos de la laringe. En un caso de nuestra serie (8,3%) el nervio laríngeo interno inerva el músculo interaritenoido. El reflejo glótico se registró en seis de los doce casos. El músculo interaritenoido participó en el reflejo glótico en 4 de los seis casos. **3.** El nervio laríngeo externo participó en la inervación del músculo tiroaritenoido en un 33% de nuestra serie (4/12). En dos casos se confirmó la presencia de la conexión cricotiroido y en uno la presencia de las fibras directas desde el nervio laríngeo externo hasta el músculo tiroaritenoido. **4.** Se encontraron 6 conexiones nerviosas entre los nervios laríngeos en cuatro disecciones realizadas (dos conexiones cricotiroido, dos casos de fibras que procedían desde la rama externa del nervio laríngeo superior con su terminación en el músculo tiroaritenoido y finalmente dos conexiones tiroaritenoido). Cinco de las seis conexiones tuvieron función motora. Existen dos casos donde se observó la función motora de la conexión cricotiroido con sentido bidireccional con la aparición de respuestas en el músculo cricotiroido al estimular el nervio recurrente y en el músculo tiroaritenoido al estimular la rama externa del nervio laríngeo superior. **5.** El patrón clásico de la inervación de la laringe descrito en la literatura permite explicar sólo 50% de nuestros resultados electromiográficos. En el otro 50% el patrón debe contener alguna conexión internerviosa intralaríngea para justificar los hallazgos.

The innervation of the human larynx is based on three nerves according to the classic anatomy: the recurrent laryngeal nerve innervates all the intrinsic muscles except for cricothyroid muscle, the external laryngeal nerve only innervates the cricothyroid muscle and the internal laryngeal nerve is a purely sensitive branch. However, recent studies describe multiple neural connections between the three laryngeal nerves with a variable prevalence. Those neural connections could provide an additional motor nerve supply to the laryngeal muscles. The objective of this thesis is to study electromyographic response patterns of the human hemilarynx after laryngeal stimulation "in vivo" and correlate them with neural connections between laryngeal nerves. **Materials and methods:** 13 patients (10 males and 3 female) with 64.4 years of mean age (52-81) undergoing total laryngectomy due to oncologic pathology were included. Seven of the thirteen patients (54%) had been previously treated (4 cases with chemotherapy and 3 cases with radiotherapy). During the total laryngectomy three laryngeal nerves were dissected at the unaffected laryngeal side and four intrinsic muscles of the larynx (the posterior cricoarytenoid, arytenoid, thyroarytenoid and cricothyroid muscle) were monitored by bipolar needle electrodes. In cases with electromyographic responses that could be explained only by the existence of connections between nerves a histomorphometric study was performed. **Conclusions:** 1. The recurrent laryngeal nerve was involved in the motor innervation of the cricothyroid muscle in 33% of our cases (4/12). The cricothyroid connection was identified only in one case. 2. The internal laryngeal nerve was involved in the motor innervation of other intrinsic muscles of the larynx. In one case (8.3%) the internal laryngeal nerve innervated the arytenoid muscle. Glottic reflex was present in six out of the twelve cases. The arytenoid muscle was involved in the glottis reflex in 4 out of the six cases. 3. The external laryngeal nerve was involved in the innervation of the thyroarytenoid muscle in 33% cases (4/12). Cricothyroid connection was confirmed in 2 cases, and direct fibers from the external laryngeal nerve to the thyroarytenoid muscle were detected in one more case. 4. We found 6 neural connections between the laryngeal nerves in 4 dissected larynxes: cricothyroid connections in 2 cases, fibers from the external branch of the superior laryngeal nerve ending in thyroarytenoid muscle in 2 cases, and thyroarytenoid connections in other 2 cases. Five out of 6 neural connections had motor function. Cricothyroid motor connection was bidirectional in 2 cases. That bidirectionality was detected by the response of the cricothyroid muscle after stimulating the recurrent nerve and by the response of thyroarytenoid muscle after stimulating the external branch of the superior laryngeal nerve. 5. The classic pattern of innervation of the larynx explained only 50% of our electromyographic findings. In the other 50% another pattern of nerves connection would justify the findings.

