

# FISIOLOGIA I MECÀNICA DE LA VEU

MONTSERRAT PRATDESABA RIBAS



## **INDEX**

1.- Esquema de la fonació .....	pàg. 2
2.-La fonació .....	pàg. 4
3.- Mecànica vocal .....	pàg. 12
4.- La freqüència glotal .....	pàg. 26
5.- Les cavitats ressonadores .....	pàg. 41
6.- Síntesi de vocals .....	pàg. 56
7.- L´articulació de la parla .....	pàg. 68
9.- Miscel·lània .....	pàg. 72
9.- La respiració .....	pàg. 76
10.- Bibliografia i articles .....	pàg. 90

# FISIOLOGIA I MECÀNICA DE LA VEU

## 1. ESQUEMA DE LA FONACIÓ

En la producció i emissió de la veu humana hi intervenen diferents parts del cos, que poden agrupar-se en tres grups funcionals:

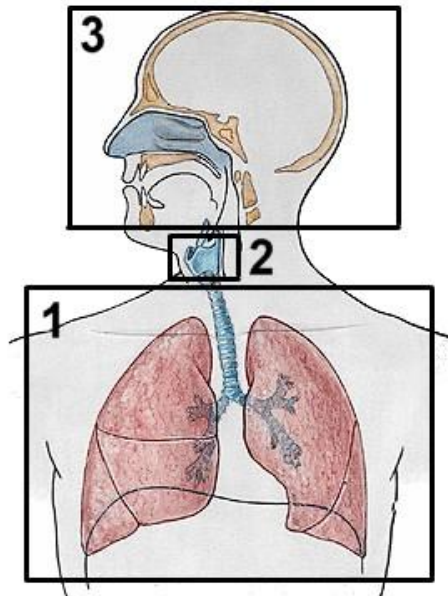


Fig. 1

- 1.- Un dipòsit d'aire i el corresponent manxador, que emmagatzema l'aire i l'extreu dosificant-lo, i fa referència a l'aparell respiratori i a tota la musculatura implicada en la respiració (NOTA: en el dibuix esquemàtic de la Fig. 1 no s'hi ha especificat l'espai que abastaria tota aquesta musculatura, ja que també inclou la zona del coll, així com la de tot l'abdomen).
- 2.- Un convertidor del flux d'aire procedent dels pulmons en una vibració de tipus sonor. Aquest convertidor són dues parts elàstiques molt apretades que vibren (les cordes vocals incloses en la laringe) i que produeixen un so al passar-hi l'aire respirat.

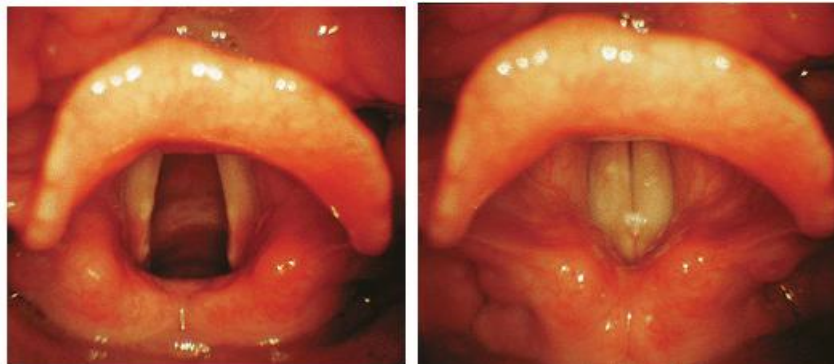


Fig. 2

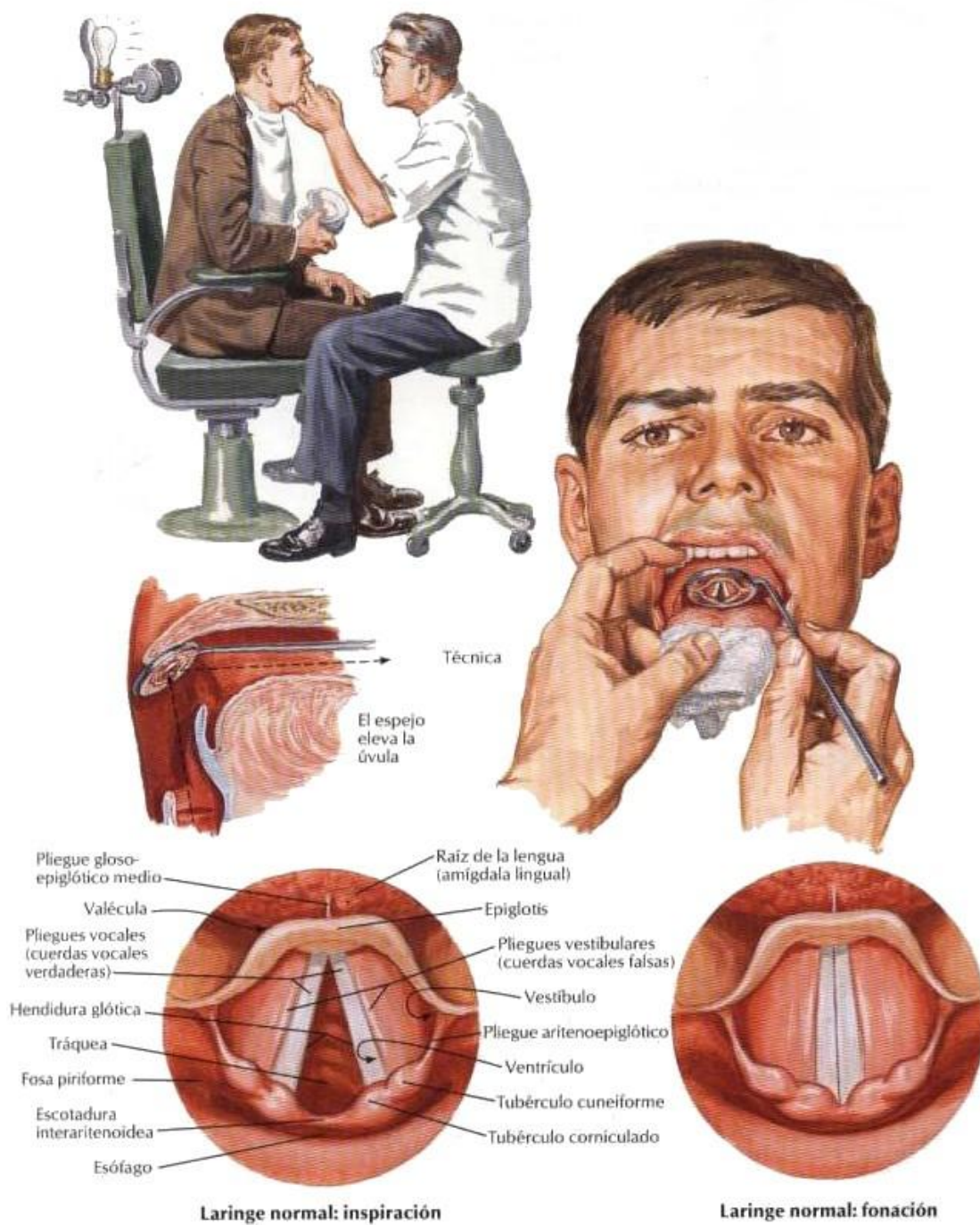


Fig. 3

NOTA: L'any 1855 el cantant i professor de cant Manuel Garcia va aconseguir veure l'interior de la laringe mitjançant un mirallet de dentista un xic modificat i col·locat amb l'orientació correcta. Aquesta tècnica tan senzilla encara s'utilitza avui en dia. A més, si s'hi aplica una llum estroboscòpica a la freqüència fonamental del so emès, es poden veure les cordes vocals gairebé estàtiques, ja que vibren a la mateixa freqüència que s'encén i apaga la llum.

3.- Un modulador de l'ona sonora, on la veu s'articula (els òrgans de l'articulació són: els llavis, llengua i el paladar tou) i adquireix, a més, el timbre propi i amplitud a les cavitats ressonadores (la faringe, la boca, les fosses nasals, etc.).



Fig. 4

## **2. LA FONACIÓ**

La fonació o producció de veu es realitza a la laringe, amb la vibració de les cordes vocals i el pas de l'aire procedent dels pulmons.

La **laringe** és a la part superior de la tràquea i està formada per un esquelet de peces cartilaginoses i pels músculs que les insereixen. Està situada a la part mitja del coll, comunicant per sota amb la tràquea, i per sobre amb la faringe que la connecta a la cavitat bucal i a les fosses nasals. Tota la superfície interna de la laringe està recoberta per una mucosa, la qual és de vital importància en la fonació.

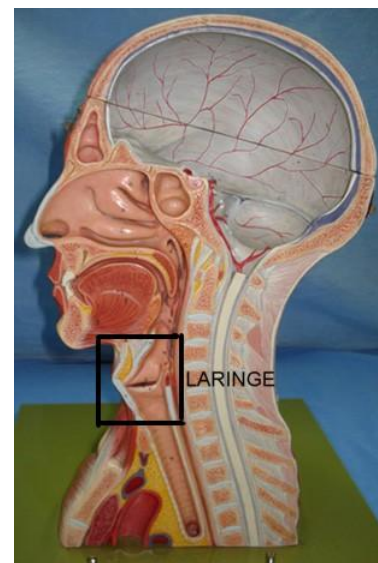


Fig. 5

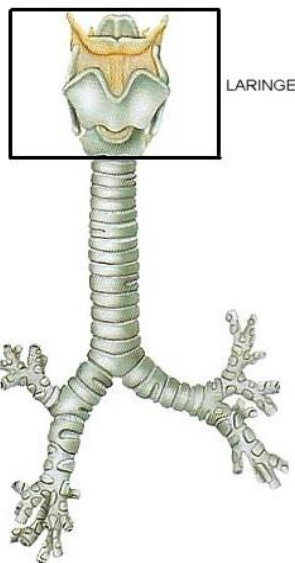


Fig. 6

La laringe està tancada per les seves parets anterior i laterals, pel **cartílag tiroide**, que té forma d'escut, i en la seva paret posterior pel **cartílag cricoide**, i ambdós protegeixen les cordes vocals formant com una mena de capsa que "guarda" les cordes vocals.

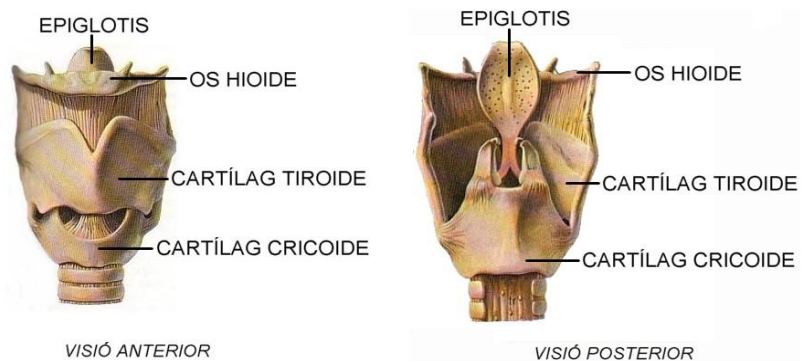


Fig. 7

A la cara interior del cartílag tiroide s'hi insereixen l'epiglòtis, que és un cartílag elàstic amb la funció de tancar la "caixa" de la laringe per la part superior (principalment durant la deglució), i les cordes vocals, que a partir d'ara abreviarem com a CV.

### Cartílagos de la laringe

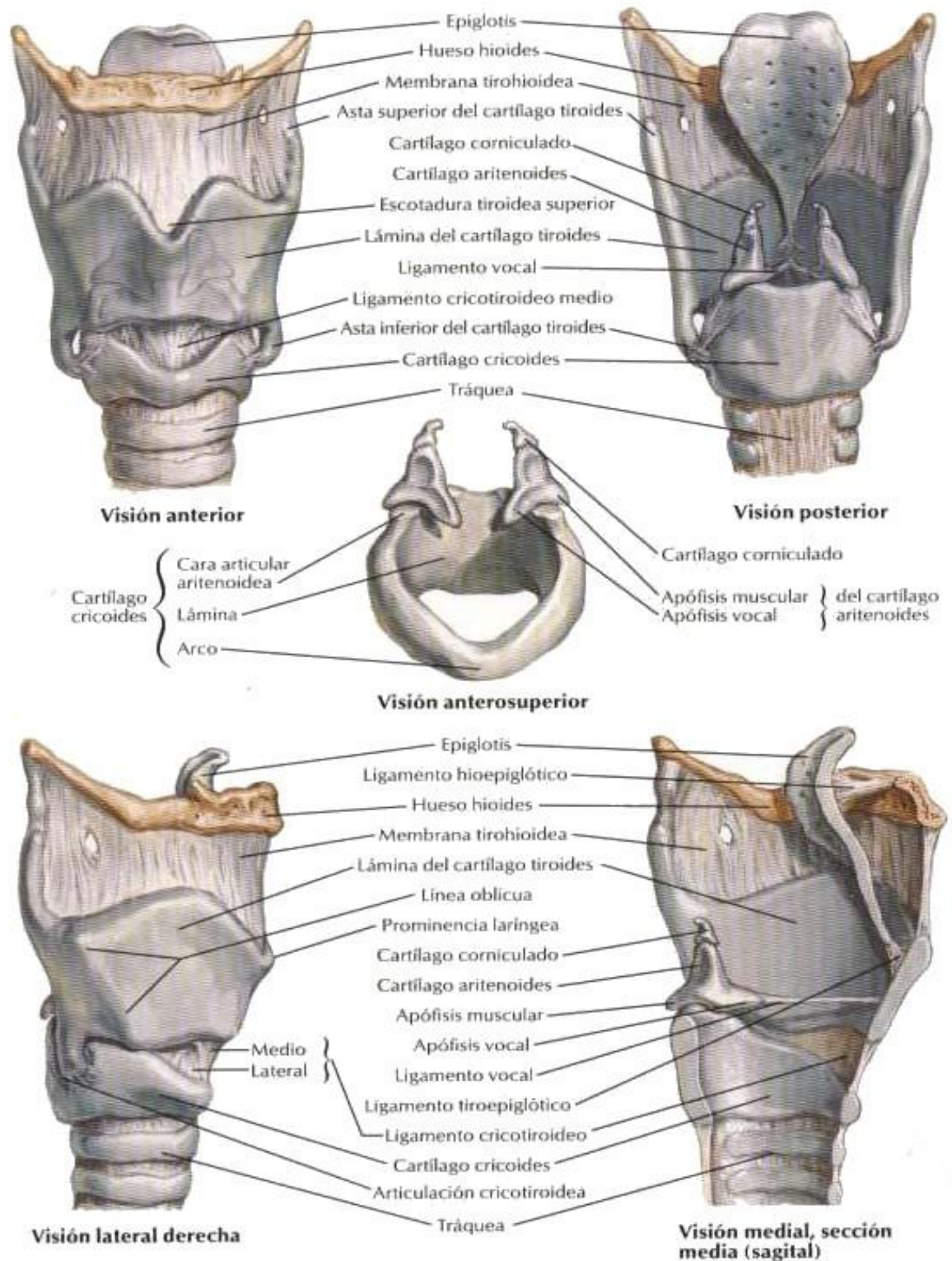


Fig. 8

Hi ha diferents formes d'entendre què són les CV, des d'anomenar així els músculs vocals, com només a dir-ho a la mucosa que els embolcalla, o bé a tot el sistema dels plects vocals, incloent-hi la musculatura que els fa moure i la mucosa.

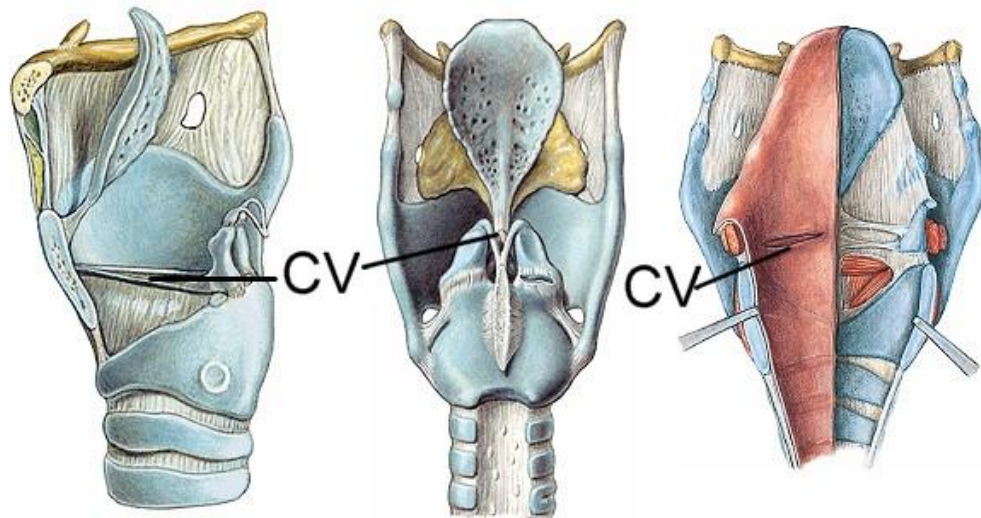


Fig. 9

En aquest tractat adoptarem com a criteri considerar les CV de la següent manera: Les CV o **plecs vocals** se situen a ambdós costats de la laringe i cadascuna d'elles està formada pel **múscul vocal** (capa interna del múscul tiroaritenoidal inferior que està innervat pel nervi laringi inferior o recurrent), pel **lligament vocal** (que és la membrana fibroelàstica que uneix el múscul vocal i la mucosa laríngia) i la **mucosa laríngia**, a la zona més externa.

#### SECCIÓ LATERAL DE LA LARINGE

Les CV surten juntes del vèrtex intern del cartílag tiroide i continuen seguint la forma d'una V, fins a inserir-se en els **cartílags aritenoides** que obren i tanquen aquesta V segons les ordres que rebin del **nervi laringi** (superior i inferior o recurrent) sobre els **músculs intrínsecs**. (Veure **NOTA 1** i **NOTA 2** al final d'aquest apartat)

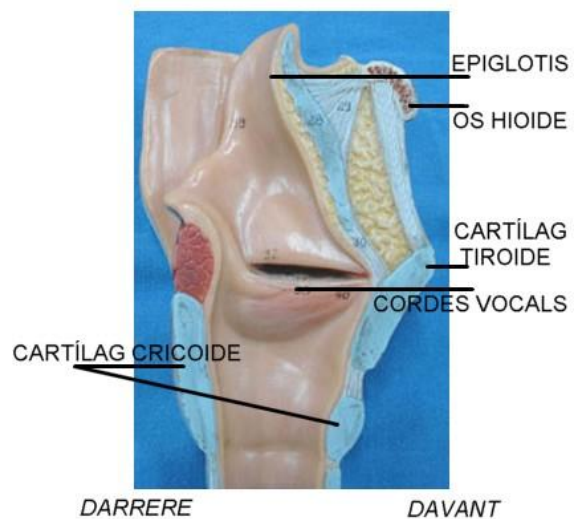


Fig. 10



Fig. 11

Els cartílags aritenoides són dues peces triangulars que contribueixen a l'extensió de les CV pel seu extrem mòbil. Els cartílags aritenoides s'articulen al **cartílag cricoide**, que està situat a la base de la laringe i en la part posterior, tancant-la pel darrera i per la zona més baixa.

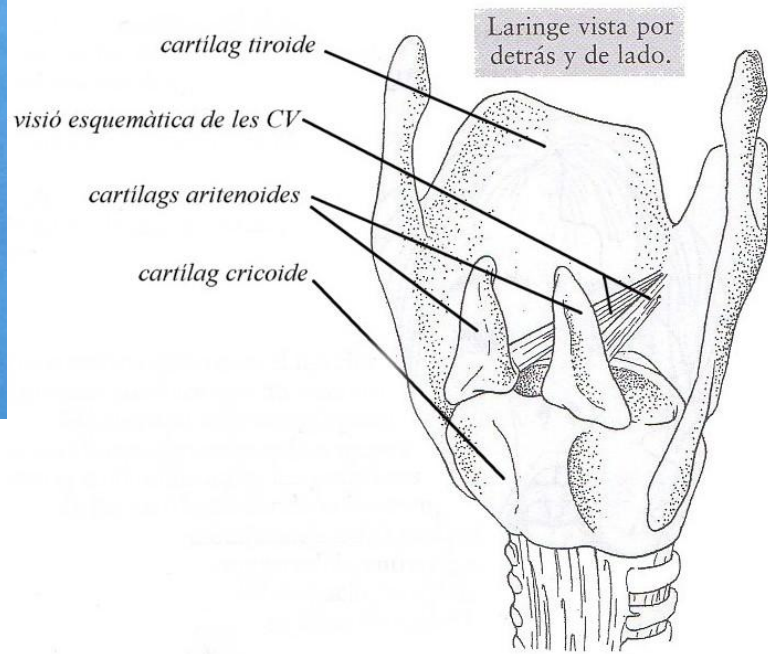


Fig. 12

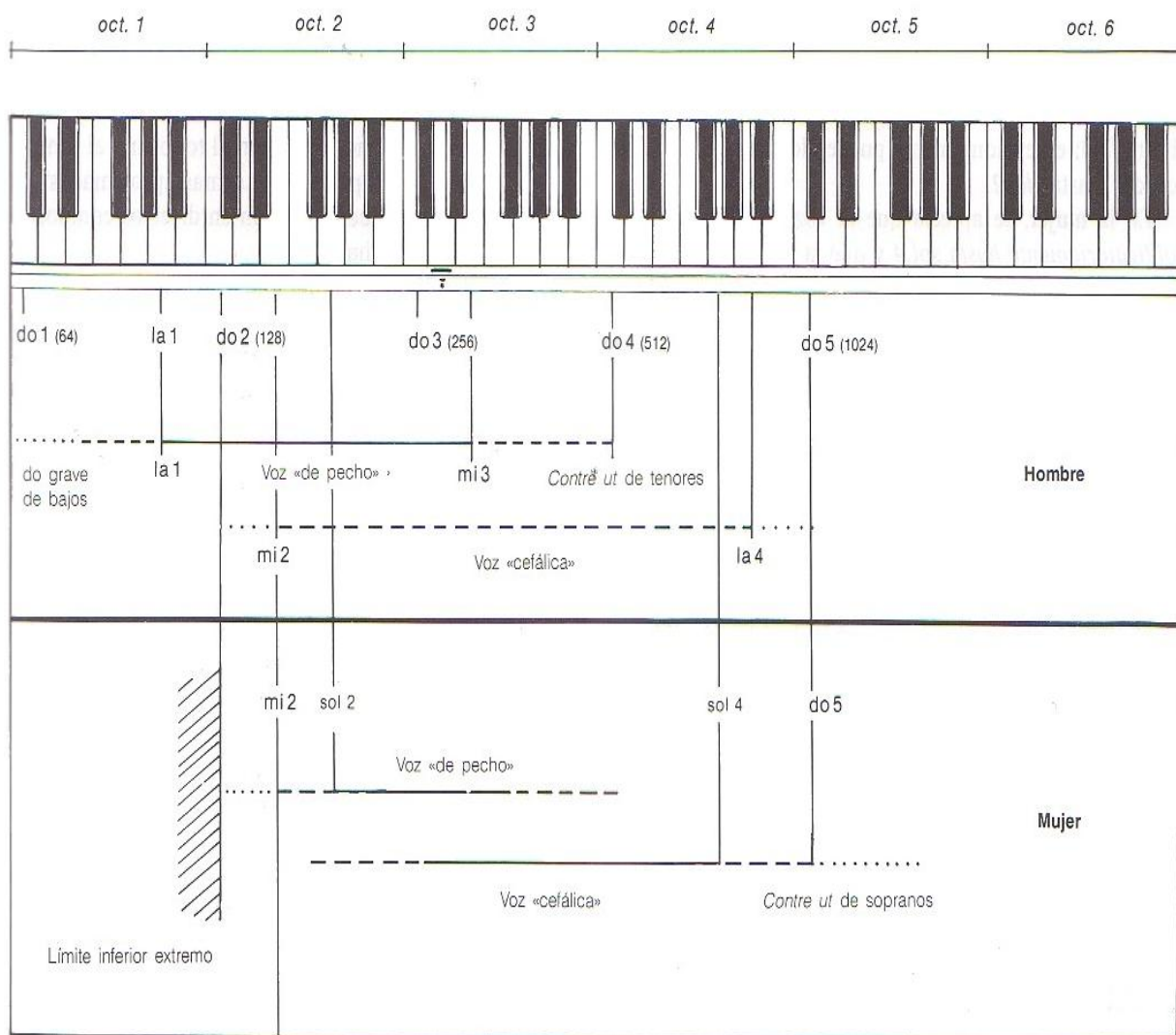
Durant la fonació, en primer lloc, les CV s'apropen i s'allarguen per l'acció dels músculs intrínsecs, i els cartílags aritenoides "tiben" les CV pels dos extrems lliures, posant-se en tensió fins a entrar en contacte. Llavors, l'aire pulmonar és expulsat i la seva pressió provoca una lleu obertura de les CV. Seguidament, les CV tendeixen a tancar-se de nou, oferint resistència al pas de la columna d'aire procedent dels pulmons. El procés d'obertura i tancament de la part més vibràtil dels plecs vocals es repeteix moltes vegades i de forma rapidíssima, "tallant" l'aire periòdicament a freqüències que poden anar des dels 65 Hz (el *do1* aprox. d'alguns baixos) als 1.050 Hz (el *do5* aprox. d'algunes sopranos). D'aquesta manera, per la vibració de les CV i l'efecte sobre l'aire que les travessa, es produeix l'ona sonora.



Fig. 13



Làmina en la qual podem observar les freqüències fonamentals dels diversos registres de la veu



Amplitud vocal y principales registros según el sexo y el tipo vocal. —, Amplitud obligatoria con independencia del tipo de voz. - - -, Posibilidades especiales según el tipo de voz. · · ·, Posibilidades excepcionales.

Fig. 14

Per tal de comprendre com es produeix l'estirament de les CV en la fonació, exposarem a continuació quins són els músculs que provoquen aquesta tensió així com també dels nervis que els transmeten l'ordre de contraure's.

NOTA 1: El nervi laringi superior és un nervi que es subdivideix en dos:

- 1.- Nervi laringi superior intern: que és un nervi sensitiu i actua a la mucosa laríngia.

2.- Nervi laringi superior extern: que actua sobre el **múscul intrínsec crico-tiroïdal**, que és el que al contraure's per l'impuls nerviós provoca una basculació del tiroïdes sobre el cricoïdes, allargant les CV i contribuint a posar-les en tensió.

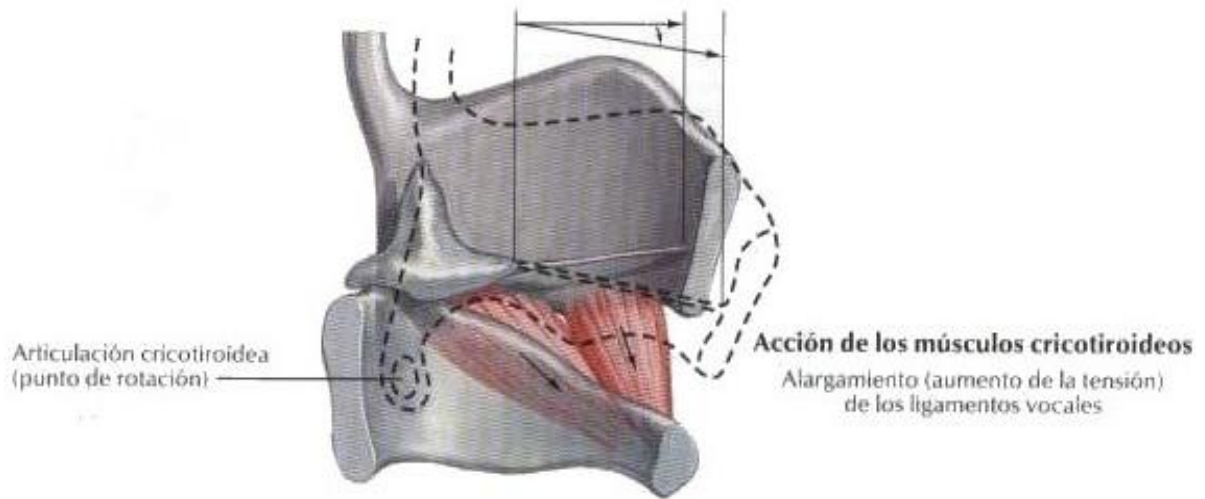


Fig. 15

*Làmina que mostra l'acció dels músculs que s'insereixen als aritenoides*

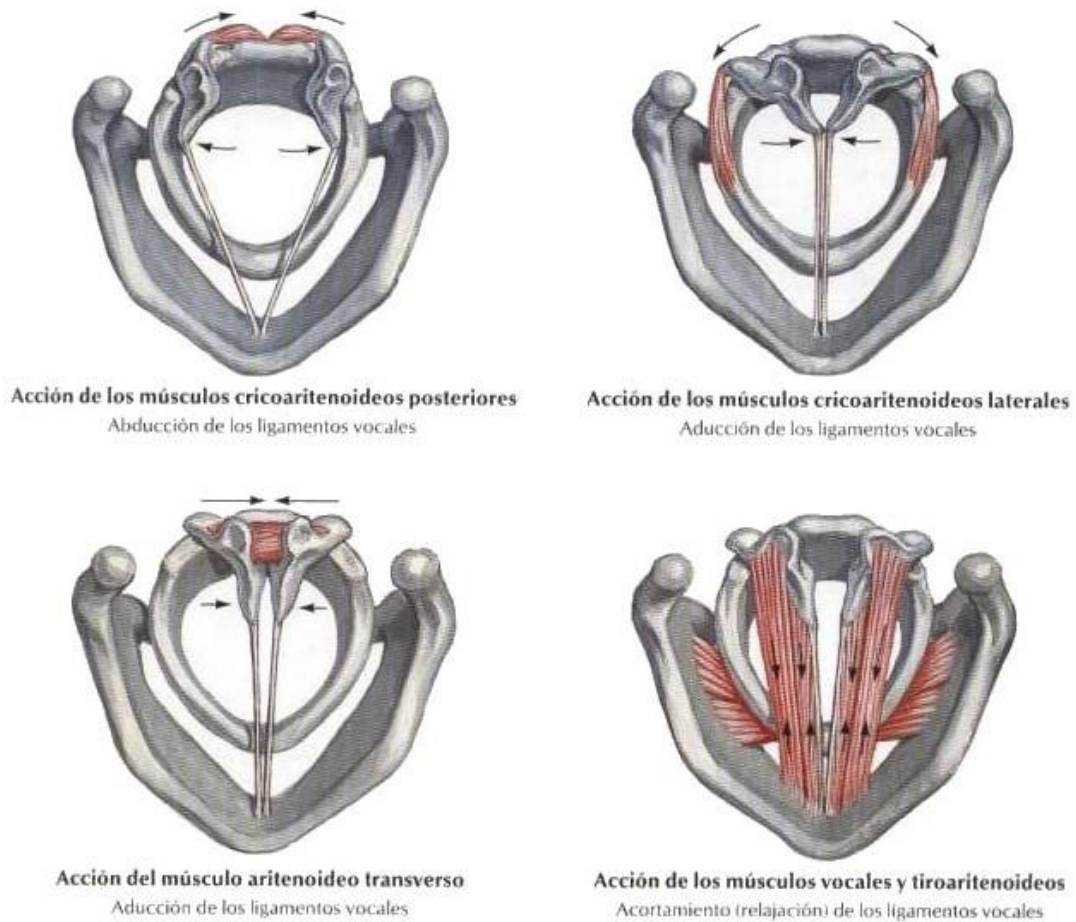


Fig. 16

NOTA 2: El nervi laringi inferior o recurrent és un nervi que actua sobre la resta de músculs intrínsecs que són, a més del múscul crico-tiroïdal, els següents:

- Músculs crico-aritenoïdal posteriors —
- Músculs crico-aritenoïdal laterals —
- Capa interna del múscul tiro-aritenoïdal o múscul vocal (esquerra i dret) —
- Capa externa del múscul tiro-aritenoïdal (esquerra i dret) —
- Múscul aritenoïdal transvers —
- Músculs aritenoïdals oblics —

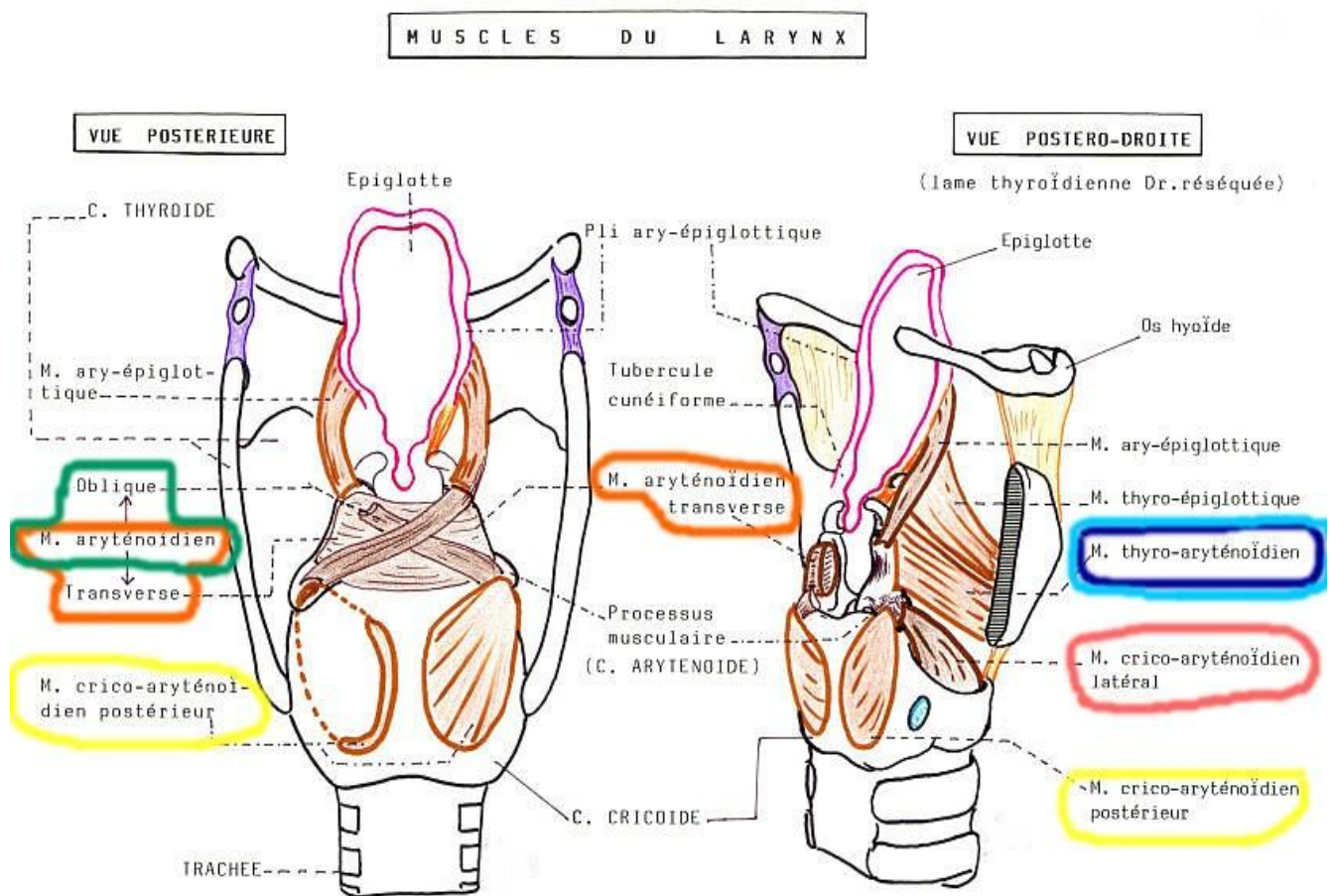


Fig. 17

## Músculos intrínsecos de la laringe

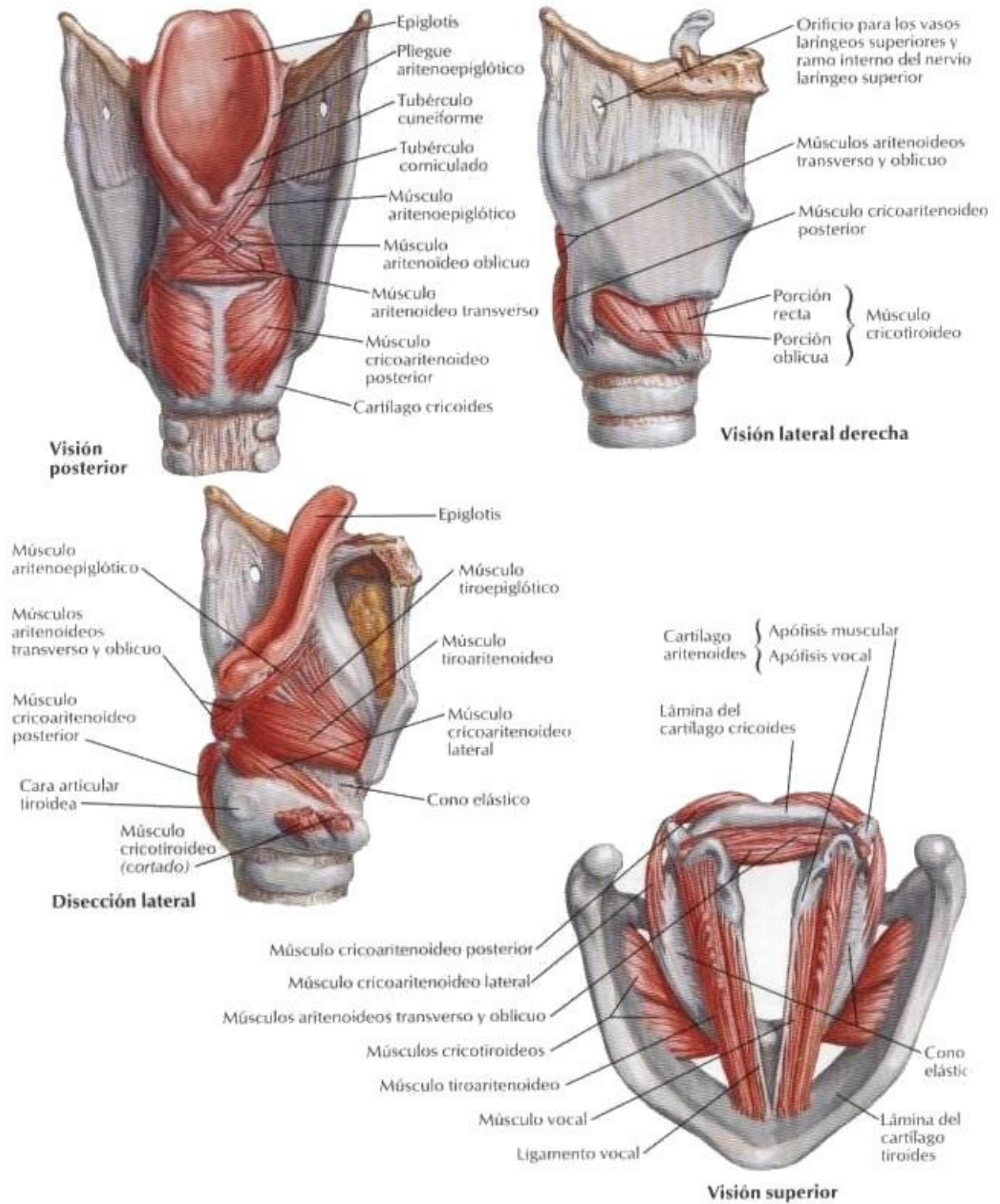


Fig. 18

### **3. MECÀNICA VOCAL**

Des de temps remots ens ha encuriolit el funcionament de l'emissió de la veu, donant-hi diverses explicacions que comparaven l'acció dels òrgans vocals a la d'alguns instruments tals com flautes, cordes de violins, xiulets similars als emprats pels caçadors d'ocells, lengüetes vibràtils com les que trobem als clarinets o als tubs dels òrgans... No fou fins l'any 1898 que Ewald va exposar la teoria mioelàstica, fent una primera aproximació al comportament de les CV, però la seva teoria presentava certes mancances importants. Anys més tard sorgiren altres estudis, els uns crítics amb els precedents i d'altres que ampliaven els anteriors, però encara avui en dia no es pot assegurar que es compregui a la perfecció el funcionament de l'estructura vocal en la seva totalitat. Sens dubte, la complexitat de les argumentacions té a veure amb què les vibracions de les CV són molt ràpides i hi intervenen moltes variables.

Vegem, tot seguit, algunes d'aquestes teories més recents i els seus fonaments.

- **La teoria Mioelàstica** d'Ewald (1898). Aquest estudi es basaria en el següent esquema mecànic simplificat:

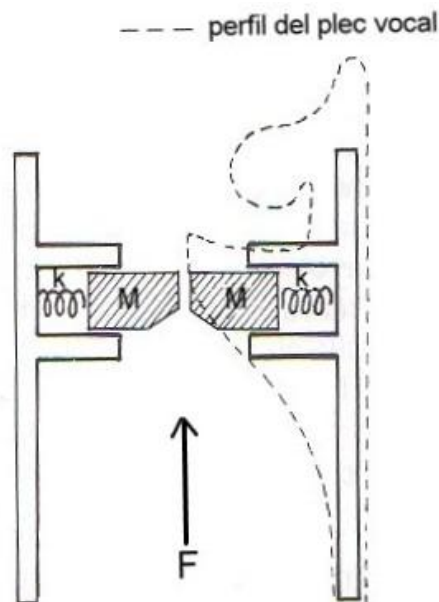


Fig. 19

La vibració del plec vocal es consideraria passiva, deguda a l'acció de l'aire pulmonar cap enfora, i en sentit horitzontal (amb l'individu en posició dempeus).

Podem entendre l'efecte (tot i que mecànicament no és igual) si prenem un globus inflat i estirem l'obertura del globus fent que l'aire emmagatzemat surti produint-s'hi un so estrident per l'efecte de la pressió de l'aire interior que, a l'alliberar-se, fa vibrar el material elàstic tensat.

Segons la teoria mioelàstica, quelcom similar ocorre a les CV si estan ben estirades i les travessa aire procedent dels pulmons amb suficient pressió, és a dir que la vibració de les CV seria produïda per una pressió subglòtica i per la relació entre la massa, la tensió elàstica i la longitud de les mateixes.

Uns anys abans, al 1741, el Dr. Antoine Ferrein (que fou qui va denominar les **CORDES VOCALS** per primera vegada) va demostrar que bufant a través de la tràquea separada d'un cadàver es produïa un so a les CV. Tot i així sembla ser que la relació de massa, elasticitat, longitud i pressió d'aire no són els únics paràmetres que poden produir la fonació i que ha d'haver-hi algun altre condicionant més, que aquesta teoria mioelàstica no sap justificar.

Segons aquesta teoria, la pressió infraglòtica provocaria una obertura de la glotis i, degut a l'elasticitat del plec vocal, les cordes vocals entrarien en vibració (en sentit horitzontal) de la següent manera: la pressió d'aire forçaria les CV a obrir-se que, en separar-se, provocarien una disminució de la pressió infraglòtica que faria tancar de nou les CV fins que aquesta pressió subglòtica tornés a ser prou gran per obrir novament les CV, i el procés es reiniciaria periòdicament.

Aquesta teoria té força objeccions perquè no dona una explicació sobre com s'aconsegueix emetre un so d'una freqüència concreta, degut a què la variació del gruix de les CV no és prou extensa com per a justificar-ho, ni tampoc que la ventilació pulmonar sigui suficient per a produir-lo. A més, hi ha un fet rellevant segons el qual amb aquesta teoria no és possible independitzar la freqüència d'una nota del seu volum, ja què si la pressió infraglòtica és la que produeix el so, això implicaria que la quantitat d'aire que es precisa per obtenir-lo en condicioni també la freqüència.

- **La teoria Neurocronàxica** de Husson (1950) exposa que les CV (en tensió) reben els impulsos motors del nervi laringi recurrent, que les obren i tanquen d'una forma molt ràpida, periòdica i gairebé microscòpica. És a dir, que els plecs vocals manifesten una funció activa i que la freqüència del **nervi laringi recurrent** és condicionant de la freqüència d'obertura i tancament de les CV i, per tant, independent del mecanisme que regula la intensitat del so que depèn només de la pressió subglòtica. De forma esquemàtica tindriem que:

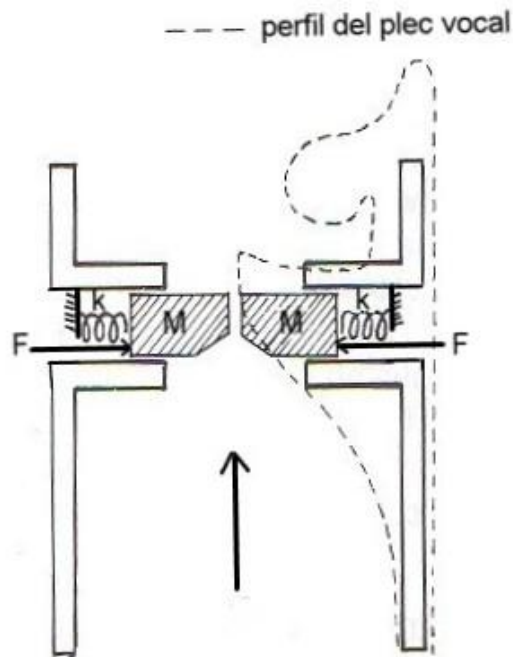


Fig. 20

A modus d'apunt tenim que, segons els estudis histològics de Goertler, la capa interna del **múscul tiro-aritenoïdal inferior** està formada per dos músculs entrecreuats, el **tirovocal** i l'**arivocal**, que s'insereixen de la següent manera:

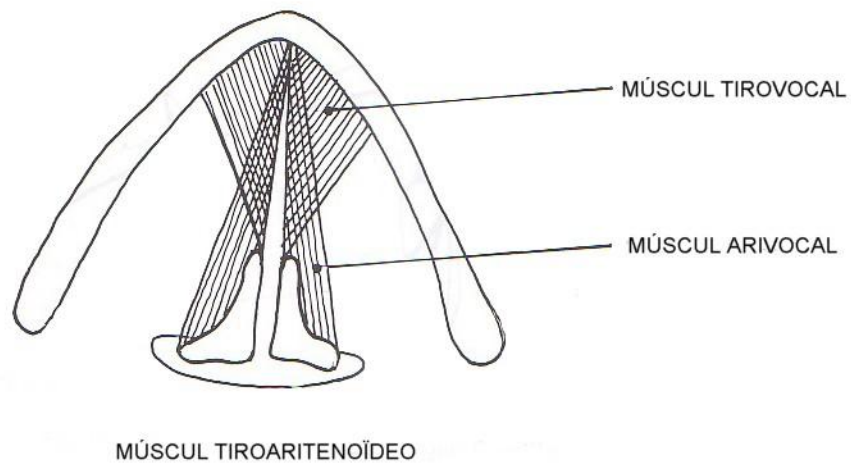


Fig. 21

Així doncs, quan aquests dos petits músculs reben les ordres del nervi laringi recurrent s'escurcen, i per la contracció de les seves microfibril·les es conforma una separació entre els extrems lliures de les C.V. en sentit longitudinal, deixant passar una petita quantitat d'aire infraglàtic que s'hi "escapa". El so s'hi produeix quan aquest fet ocorre un cert nombre de vegades per segon (per sobre de 65Hz, que és el so més greu que pot executar un cantant masculí).

Aquesta teoria rep el nom de "neurocronàxica" del terme **cronàxia d'un axó**, degut a què s'anomena així al temps que empra l'impuls nerviós per propagar-se un centímetre al llarg de l'axó de la neurona. Però el teixit neuronal no presenta un comportament contínu en el temps, sinó que necessita "descansar" i refer-se. Això condicionarà el comportament del plec vocal a altes freqüències.

Analitzem el per què: És sabut que quan l'impuls nerviós ha passat per un punt d'un nervi, el teixit nerviós necessita un temps per a recuperar-se. Aquest lapse de temps durant el qual el nervi roman inexcitable és el que es coneix com a **període refractari pràctic del nervi** i determina la freqüència màxima de l'impuls nerviós que deixarà passar, és a dir, serà una mesura de quan el teixit nerviós serà excitable i quan no. I, com a conseqüència, també serà un límit per a la freqüència d'excitabilitat del nervi recurrent i, per tant, de la vibració de les CV.

Aquest període refractari es podria saber a partir dels experiments realitzats en diversos subjectes per tal de conèixer el valor de les seves cronàxies. Però en el cas del nervi laringi recurrent és impracticable col·locar-hi l'elèctrode estimulador mantenint els individus vius i conscients, ja que aquest nervi està situat dins l'estoig de la laringe. Així doncs, les mesures pràctiques que s'han realitzat han estat sobre el nervi que actua a l'esterno-clido-mastoidal, el **nervi espinal**, ja que aquest té en el cervell un nucli motor comú amb el **nervi pneumogàstric** (també anomenat **nervi vague** o **X**) que és a partir del qual sorgeix el **nervi recurrent**. Els valors de la cronàxia del nervi espinal seran, doncs, similars als del nevi recurrent.

S'admet que el període refractari pràctic d'un nervi qualsevol és, segons els experiments de l'investigador Louis Lapique (1926), de 20 cronàxies. Aquesta dada ens proporciona una informació molt útil per a poder calcular la freqüència màxima o nombre màxim d'impulsos nerviosos que deixaria passar el nervi laringi estant actiu, i que és la quantitat inversa del període refractari:

$$f \text{ màxima} = \frac{1}{20 \times \text{cronàxia (en segons)}}$$

però com que les cronàxies són fraccions de segon molt petites (milisegons), a la pràctica treballarem amb la següent fórmula:

$$f \text{ màxima} = \frac{1000}{20 \times \text{cronàxia (en milisegons)}}$$

obtenint les freqüències màximes, segons els individus, de 392Hz, 494Hz i 587Hz i que correspondrien aproximadament a les notes *sol<sup>3</sup>*, *si<sup>3</sup>* i *re<sup>4</sup>* que són notes significatives per als cantants masculins (baixos, barítons i tenors), tal i com veurem més endavant.



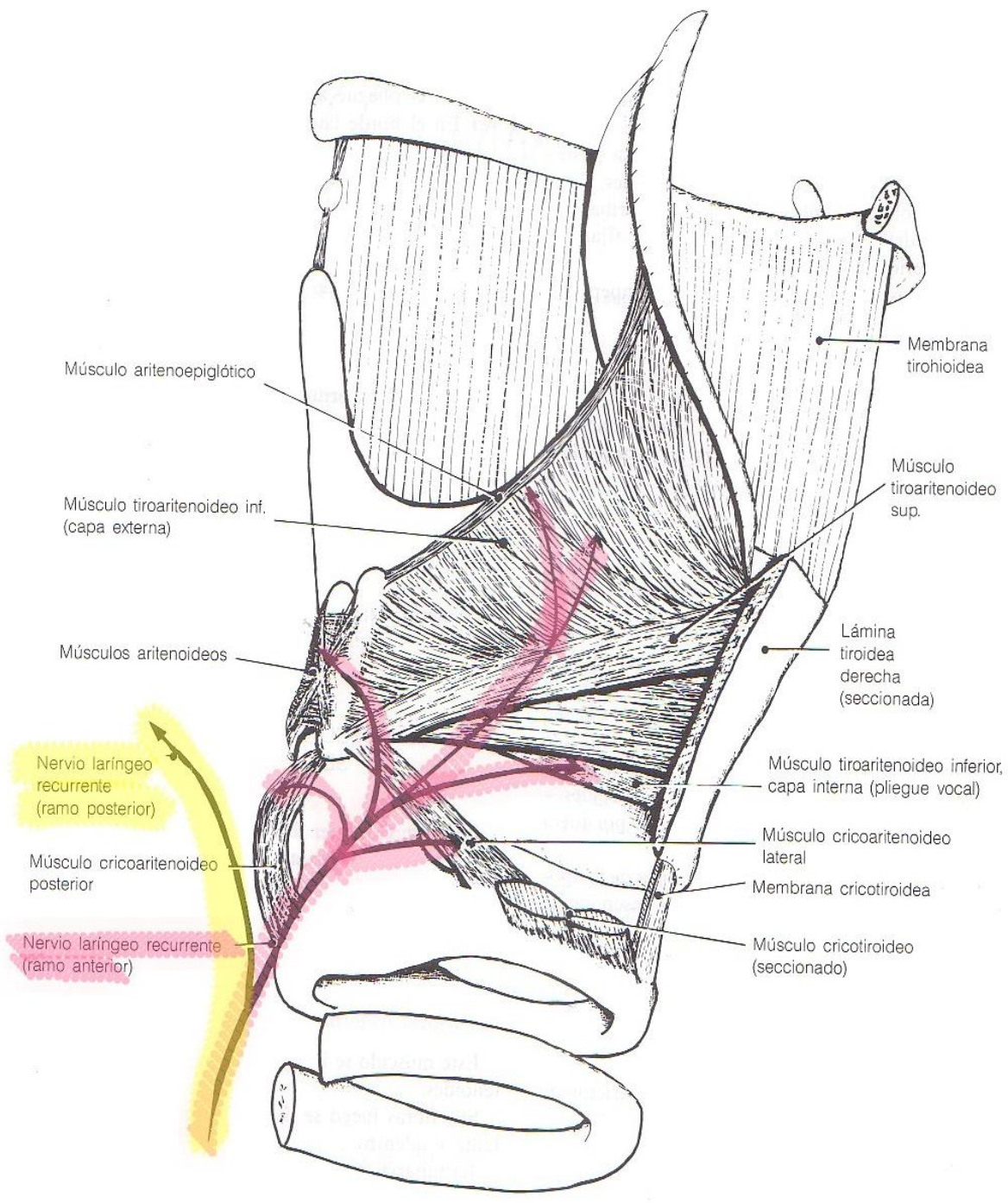
Husson anomena al registre greu, el masculí, com el **registre monofàsic**, i admet que el nervi recurrent pot transportar fins a 500 potencials d'acció per segon, la qual cosa seria una excepció ja que la majoria de nervis només en deixen passar 300 cada segon. Aquest valor correspon alhora al de la **freqüència de fusió tetànica d'un múscul**, que és d'unes 300 contraccions/segon (és a dir, que un múscul "normal" no es contrau més vegades per segon perquè les seves fibres no ho admeten).

Pel què fa al registre agut, el científic exposa que en el nervi recurrent s'hi produiria un fenomen d'especialització, segons el qual el teixit nerviós es dividiria en dues franjes funcionals longitudinals: mentre una estigués transmetent l'impuls nerviós, l'altra meitat es recuperaria, i viceversa, deixant passar el doble d'informació i actuant de forma bifàsica. Així doncs, en el **registre bifàsic** el teixit neuronal del nervi laringi recurrent actuaria alternant-se i, en conseqüència, també ho farien les microfibrilles musculars de les CV que s'agruparien en dos feixos actius per separat.

Les freqüències màximes que obtindríem en el registre bifàsic serien de 784Hz, 988Hz i 1050Hz aprox. per a les cantants femenines (contralts, mezzosopranos i sopranos) que corresponen aproximadament a les notes *sol4*, *si4* i *do5*, i que també veurem més endavant la importància d'aquests valors per a aquestes veus.

Hi ha excepcions que es produeixen i que poden arribar a emetre sons de freqüències fonamentals entre 1000Hz i 1500Hz (*sol5*) i que especialitzarien el seu nervi laringi recurrent per treballar en **registre trifàsic**. Fins i tot existeix la possibilitat d'un **registre tetrafàsic** on s'arribaria a emetre els 2000Hz (*dob*) com a freqüència fonamental.

De tota manera, aquesta característica constitucional de cada individu no implica que arribi a emetre aquests sons si no ha estat educat per fer-ho. És a dir, que malgrat tenir el sistema predisposat per a cantar en un registre determinat, sense un entrenament no s'obtenen els resultats esperats. També cal saber que la cronàxia varia segons les hormones ja que aquestes intervenen en el metabolisme d'alguns electròlits que regeixen l'activitat nerviosa i poden variar-ne la quantitat. És a dir, que tant els estats anímics com l'edat de les persones també influeixen en l'excitabilitat del nervi laringi recurrent. Fins i tot interfereix si s'està o no fent la digestió, ja que aquest nervi és una branca terminal del nervi pneumogàstric o vague que forma part del sistema vegetatiu parasimpàtic i que intervé activament en el procés digestiu, precisant utilitzar les connexions amb el cervell quan aquesta activitat està realitzant-se i minvant les altres activitats neuronals que utilitzen la mateixa via connectiva

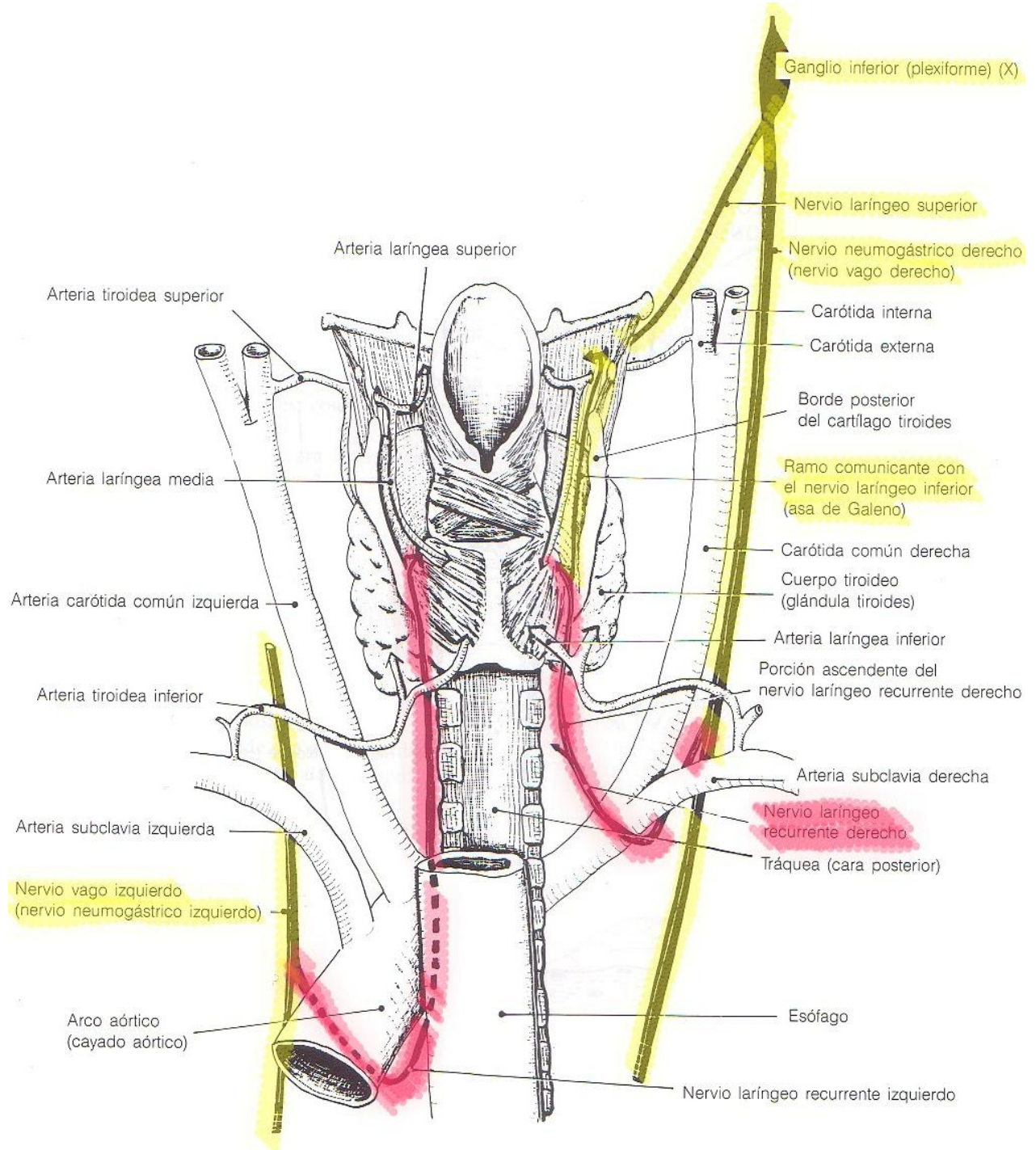


**Músculos intrínsecos de la laringe y nervio laríngeo recurrente.** Se ha seccionado el cartílago tiroideo: se han retirado las astas derechas superior e inferior, así como la parte colindante de la lámina tiroidea para descubrir los ramos terminales del nervio laríngeo recurrente.

Fig. 22

La teoria neurocronàxica de Husson ha tingut molta acceptació perquè dona respostes a la classificació de les veus, donant una importància primordial al sistema nerviós, tot i que no s'ha pogut demostrar del tot. Com a problema que presentaria hi trobem una desincronització entre els nervis laríngeus recurrents esquerra i dret, ja que fan trajectòries de diferent longitud. L'esquerra és més

llarg (veure fig. 23), sorgint del nervi X en el tòrax i voltejant per sota l'arc de l'artèria aorta quan emergeix del cor, per enlairar-se i continuar cap amunt seguint el costat esquerre de la tràquea. A la dreta, el nervi laringi recurrent es diversifica del nervi X a l'alçada de l'artèria subclàvia i posteriorment puja amunt vorejant la part dreta de la tràquea. Alguns científics han exposat que aquesta diferència de longitud podria veure's compensada per una variació de gruix entre el nervi d'un costat i el de l'altre.



Vasos y nervios de la laringe. Visión posterior.

Fig. 23

**NOTA:** Cal saber que un possible mal funcionament de la CV esquerra (p.ex: vibrant més lenta de l'habitual) pot ser l'indicatiu d'algun problema de cor, ja que una aorta excessivament dilatada comprimiria en excés el nervi laringi recurrent esquerra, impeding que transferís l'impuls nerviós amb normalitat.

L'inconvenient de la teoria neurocronàxica és que no dóna gens d'importància a la mucosa dels plecs vocals. Aquest és un dels punts que va rebre més crítiques i que va motivar altres científics a oposar-s'hi i a elaborar teories sobre la viscositat i participació de tal mucosa en la producció de la veu, ja que a la pràctica s'observa que moltes de les patologies clíniques hi estan relacionades.

#### - Teoria Mucoondulatòria de Perelló (1963).

La teoria neurocronàxica de Husson va crear molta polèmica i alguns especialistes no admetien la descripció que el científic feia sobre el moviment exclusiu del múscul vocal, en un únic pla, durant la fonació i per l'efecte dels impulsos nerviosos. L'any 1956, Timcke va comercialitzar el primer aparell mesurador de les vibracions de les CV amb un sistema estroboscòpic. Això va permetre observar que les CV també ofereixen un moviment amunt i avall, com si es tractés d'algú que espolsa una catifa.

Això va motivar al Dr. Jordi Perelló a investigar amb cinematografia ultra ràpida i a escriure la seva tesi al respecte, on especificava que el que entenem com a vibracions de les CV no és, sinó, la ondulació de la mucosa que les recobreix. No rebutia que les CV es possessin en tensió degut a la musculatura intrínseca segons les ordres del cervell, però negava la part en la qual el nervi recurrent actuava sobre el múscul vocal. Així doncs, la fonació seria deguda a la viscositat de la mucosa laríngia de les CV, que responia segons el principi de Bernouilli o l'efecte Venturi.

El teorema de Bernouilli ens descriu el comportament ideal d'un fluid que circula en un únic sentit dins d'un conducte rígid de secció variable, de manera que en estretir-se aquest augmenta la velocitat del fluid alhora que disminueix la pressió. Si en comptes de tenir un tub rígid tenim una mànega o un tub elàstic, aquest experimentaria una succió en el punt d'estretament per l'efecte de la disminució de la pressió en aquesta zona, fins que al tancar-se del tot, la pressió del fluid (circulant en un únic sentit) l'empenyés novament a descloure la zona obstruïda. Aquest fenomen es repetiria si la secció de la mànega seguís sent més estreta en aquest punt que en la resta.

El mateix passa a les CV per l'acció del corrent d'aire que circula només en un sentit quan emetem la veu, i per l'elasticitat i viscositat de la mucosa laríngia.

Vegem´ho en un gràfic:

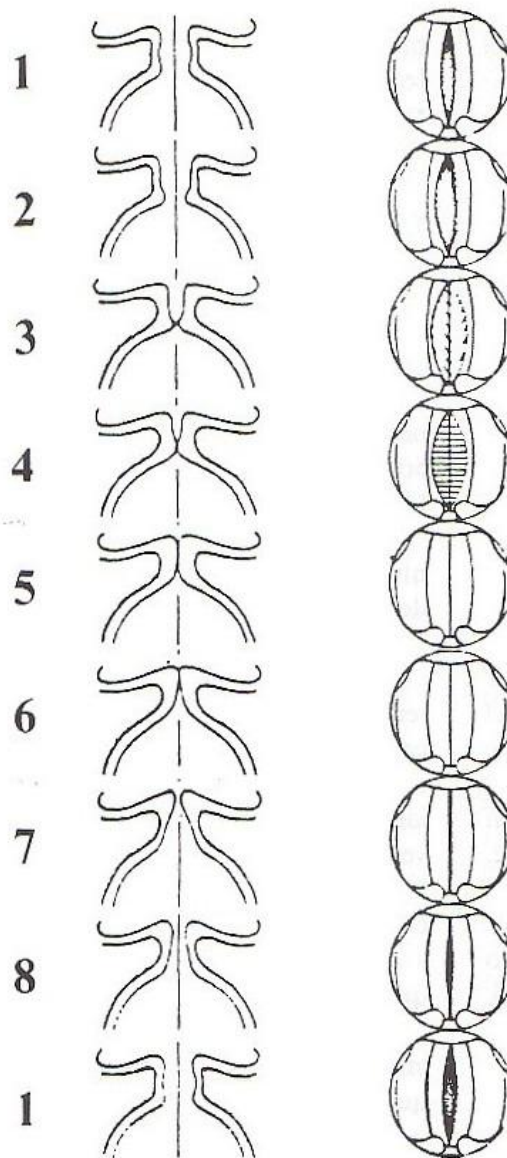


Fig. 24

A la part esquerra hi trobem una columna amb uns números que ens indiquen la seqüència de l'activitat en la mucosa de les CV.

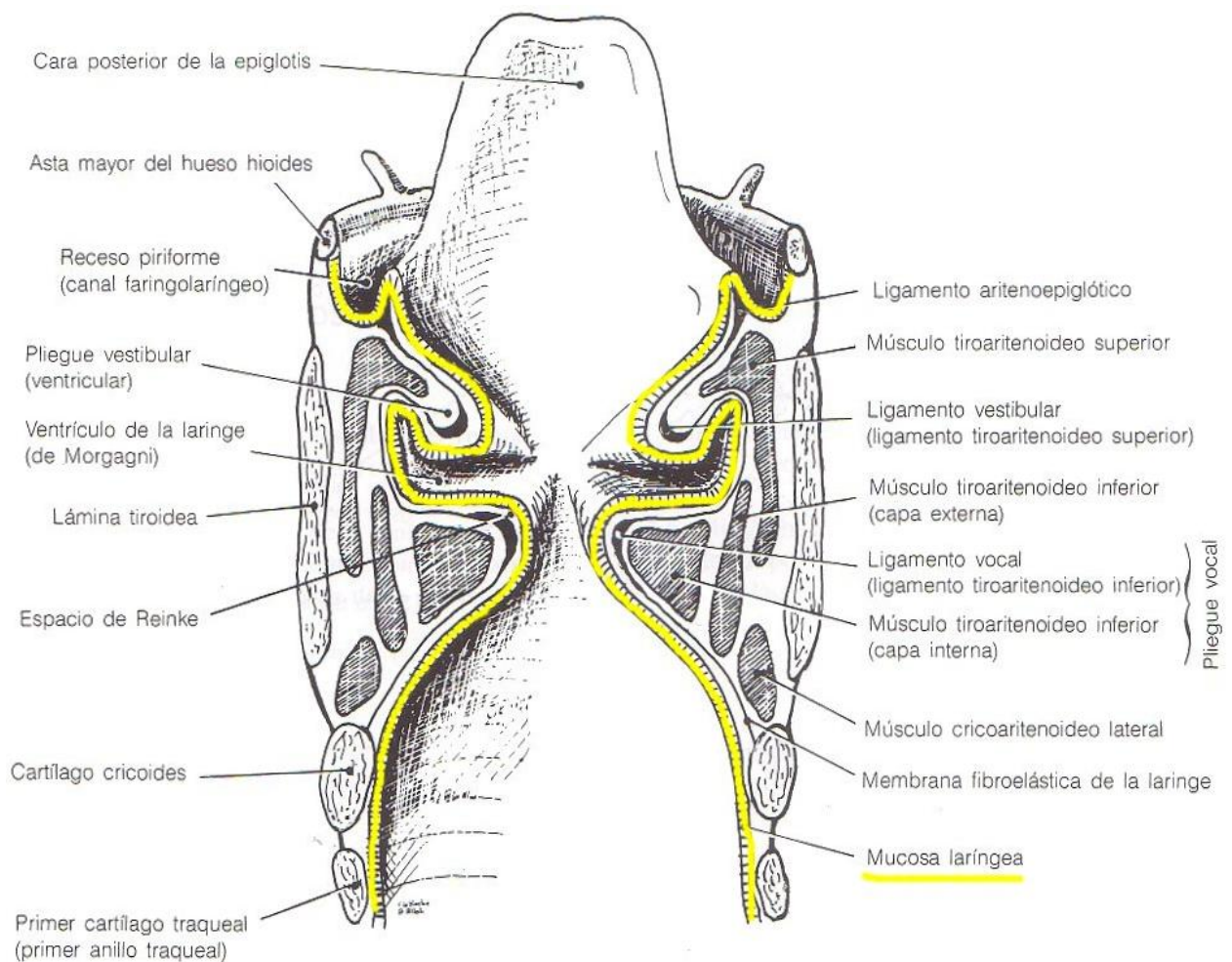
En la següent columna hi veiem una secció de les CV i de com s'obren i tanquen seguint el principi de Bernoulli, observant que en oposar una secció més petita al pas de l'aire provoquen que hi canviï la pressió (disminuint-la en aquesta zona) i obliguen la mucosa de les CV a tancar-se, primer per la seva part inferior, que és la primera àrea que "nota" aquesta disminució de pressió. Quan les cordes estan tancades trobem que la pressió subglòtica torna a fer el seu efecte sobre les CV fins a obrir-les de nou, començant per la seva part inferior que és la que percep

aquest canvi de pressió primer, degut al diferencial de pressió entre la zona subglòtica i la supraglòtica.

A la tercera columna trobem l'obertura glòtica vista des d'un pla zenital observant l'obertura i tancament de la glòtis.

Aquesta teoria va contribuir als estudis sobre la mucosa laríngia i la seva naturalesa complexa i diferenciada, descobrint-ne la forma de cèl·lules epitelials i el seu comportament. D'aquesta manera es va poder donar solució a moltes patologies.

En el següent dibuix podem apreciar on està situada aquesta mucosa laríngia.



Laringe. Corte frontal.

Fig. 25

De tota manera, aquesta teoria, a l'igual que la teoria d'Ewald, també deixa moltes preguntes sense respondre com la de que no justifica el fet del manteniment de la vibració un cop iniciada.

- La teoria Neurooscil·latòria de Mac-Léod i Silvestre (1968) explica que la vibració del plec vocal depèn directament de l'activitat del múscul vocal, però afirma que aquest és un múscul asincrònic de comportament similar al de les ales dels insectes, que les fan bategar no només segons els impulsos nerviosos rebuts, sinó a causa de l'elasticitat de totes les estructures acoblades en moviment.

Els músculs sincrònics funcionen de tal manera que es contrauen degut a l'estímul que reben de les neurones motores, és a dir, que per cada potencial d'acció que la neurona motora transmet, el múscul sincrònic es contrau (un impuls = una resposta). Els músculs asincrònics funcionen de forma diferent, presentant una asincronia entre l'activitat neuronal i la resposta mecànica, és a dir, que la seva resposta a l'impuls no és de 1:1.

En els insectes, la necessitat de moure les ales amb un estalvi energètic els ha portat a desenvolupar aquest tipus de múscul, que presenta una organització fibril·lar força diferent a la dels músculs sincrònics i que els habilita per respondre mecànicament si la càrrega que suporten és reactiva i no només resistiva. Així doncs, aquests músculs poden entrar també en vibració per l'elasticitat de tota



Fig. 26

l'estructura en la qual actuen, tal qual sistema mecànic amb diversos graus de llibertat. D'aquesta manera, l'impuls nerviós inicia i manté el moviment del múscul asincrònic que vibra més ràpid degut a les freqüències pròpies de tot el sistema acoblat, aconseguint-se fins a 1000 moviments d'ala per segon.



**Corte esquemático del tórax de un insecto.** Por deformación rítmica del tórax, el músculo origina un movimiento vibratorio en el ala del insecto. El ritmo de vibración del músculo es independiente del ritmo de los potenciales de acción que lo excitan (músculo asincrónico).

Fig. 27

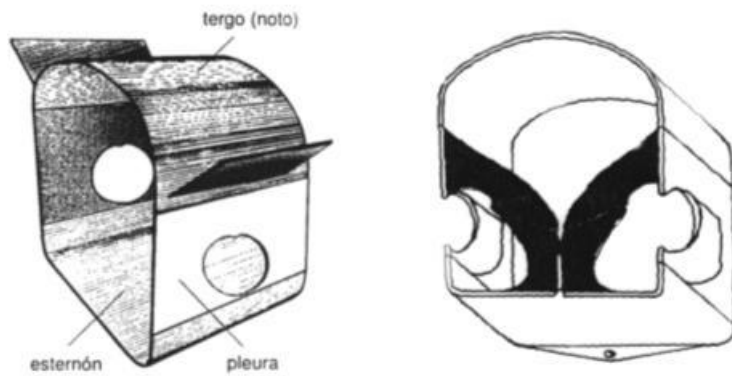


Fig. 28

En la següent imatge podem veure a nivell esquemàtic com seria aquest tipus de múscul i com aniria connectat a l'estructura de l'insecte. La deformació del tòrax també influeix en el "retorn" de l'impuls mecànic al múscul asincrònic, així com el mateix moviment de les ales.

Seguint amb els models mecànics proposats, es podria fer una representació molt simplificada de com funcionaria aquesta teoria a nivell de les CV, obtenint un sistema d'aquest tipus:

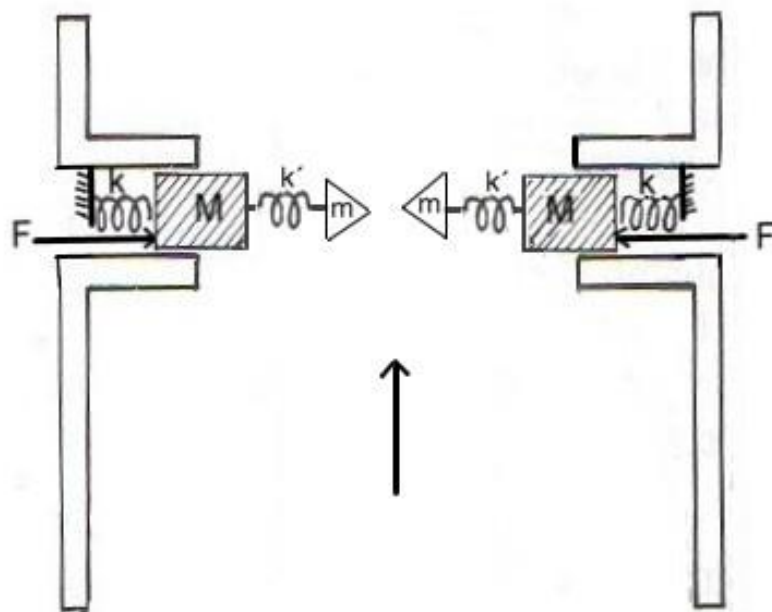


Fig. 29

on veiem representada la força  $F$  com l'impuls nerviós recurrent sobre el múscul vocal, i a on la massa  $M$  és la del múscul vocal i  $m$  la de la mucosa laríngia, que està acoblada a  $M$  per una segona molla  $k'$ . Degut a aquest segon acoblament ( $m$  i  $k'$ ) el primer sistema ( $M$  i  $k$ ) es veu afectat, i quan les dues masses oscil.lin simultàniament tindrem que tota l'estructura anirà "transvasant-se" energia. A més, hem de tenir en compte que el pes de  $m$  i l'acció del corrent d'aire que procedeix dels pulmons aportarà nous paràmetres que complicaran més tota l'oscil.lació.



Tal i com s'ha vist quan exposàvem la teoria neurocronàxica, els estudis de Goertler (Fig. 21) ens mostraven la disposició de les fibres musculars del múscul vocal i com aquestes s'entrecruaven. S'ha comprovat posteriorment que el tipus d'innervació nerviosa a nivell de les membranes intrafibril·lars d'aquests músculs és similar a la que presenten els músculs de les ales d'alguns insectes, però les investigacions fetes fins al moment no han pogut demostrar amb precisió que el múscul vocal sigui un múscul asincrònic. Si aquesta teoria fos certa, permetria no haver de recórrer als fenòmens de diferenciació bifàsica o trifàsica (fins i tot tetrafàsica) del nervi laringi recurrent.

- **La teoria Oscil·loimpedancial** de Dejonckère (1981). A partir de tota una sèrie d'experiments utilitzant tècniques d'alta precisió (electromiografia, electroglotografia, oscil·logrames microfònics, fotoglotografia, etc.), Dejonckère va veure que els moviments de les CV són molt complexos, i va comprovar que podien vibrar sense registrar cap potencial d'acció sobre el múscul vocal, que podia comportar-se com un oscil·lador d'esmoreïment reduït.

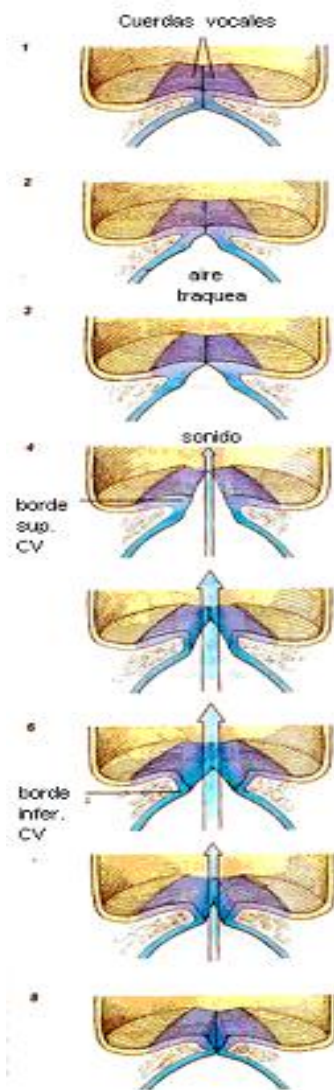


Fig. 30

Va observar com l'estructura histològica (teixits) de les CV ofereix variacions d'impedància mecànica en les seves diferents parts vibrants al pas del aire.

Va constatar que el cos de l'oscil·lador (el múscul vocal) pot variar de gruix i de llargària de forma activa, però que el recobriment (la mucosa laringia) només pot presentar ajustos passius.

Estudiant la dinàmica ondulatoria particular de la mucosa laringia va confirmar l'efecte Bernouilli, i que tant l'obertura com el tancament de la glotis comencen per la seva part inferior i es propaguen cap amunt a través del gruix de la mateixa mucosa laringia.

Va observar com en la prefonació hi ha una petita obertura fusiforme a les CV, provocada per la tensió del múscul vocal, i que aquesta podia facilitar l'inici de les vibracions al pas de l'aire traqueal.

Va veure com les característiques impedancials de l'oscil·lació glòtica variaven segons la posició de l'eix d'oscil·lació de l'extem lliure de la mucosa vocal, i per la seva morfologia (tipus d'epiteli), rigidesa i massa en el moment de la vibració.

Va mesurar que en les freqüències normals de la parla (per una laringe masculina) i en els moments d'obertura de les CV, hi havia una separació d'uns 3 mm en sentit horitzontal i d'uns 0'2 mm a 0'5 mm en sentit vertical.

De totes les seves observacions i mesures, Dejonckère va deduir que la impedància glòtica depèn:

- 1.- De la freqüència de la vibració de les CV.
- 2.- De l'amplitud de l'oscil·lació dels dos extrems que es toquen de les CV.
- 3.- De la longitud de la part vibrant de la glòtis.
- 4.- De l'estructura histològica de tot el plec vocal.
- 5.- De la durada del temps d'adhesió dels plecs vocals en la fonació.
- 6.- De l'orientació de l'eix d'oscil·lació en la part on es toquen els plecs vocals.

A més, Dejonckère va fer diverses mesures de la pressió infraglòtica en estadis de fonació diversos, des de sons suaus fins a sons molt atacats i amb volum, comprovant que en tots els casos la pressió és més elevada a nivell traqueal i que a la zona propera a les CV és similar a la pressió atmosfèrica.

També va estudiar les propietats d'esmoreïment del sistema vibratori vocal durant la fase d'inici i la fase d'acabament de l'emissió de veu, corroborant la seva teoria.

Així doncs, amb la teoria oscil·loimpedancial es constata que l'activitat mecànica de les CV és molt complexa, que depèn de moltes variables, i que seria com si tinguéssim l'esquema mecànic de la fig. 29 però sense l'acció de la força **F**, en el qual l'impuls inicial i mantenidor del moviment seria el de la pressió infraglòtica. A més, tenim que la massa **m** (de la mucosa laríngia) presenta propietats de viscositat variables i que tot plegat conforma un sistema complex acoblat amb infinits graus de llibertat i, a més, d'esmoreïment reduït.

Tal i com hem vist, aquesta teoria es basa en l'observació amb tècniques molt precises. La conclusió final que se'n desprèn és que les CV no reben cap impuls nerviós "vibratori" per part del nervi recurrent, sinó que les oscil·lacions són produïdes per l'aire que surt dels pulmons. Aquestes seran d'una freqüència determinada en funció de l'elasticitat de tot el sistema i de la unió de dos tipus principals de teixits (així com de la morfologia i histologia de cadascun d'ells) que vibren de forma diferent i tenen propietats mecàniques diferenciades, i que en la vibració de tot el plec vocal també hi influeix la viscositat de la mucosa laríngia.

De tot el que s'ha exposat, la teoria oscil.loimpedancial evidencia la complexitat de la fonació, però tampoc acaba de justificar totes les formes d'emissió de veu i els científics l'han situada en la línia de la teoria d'Ewald, tot i que aporta més variables a la difícil previsió del comportament vibratori de les CV.

## **4. LA FREQUÈNCIA GLOTAL**

Malgrat els estudis sobre la vibració de les CV, avui en dia encara no hi ha una teoria que expliqui de forma unitària el complex funcionament de la mecànica laríngia. La majoria dels especialistes admeten, però, que la fonació probablement es produeixi com una barreja de les teories anteriorment exposades.

En la fonació de vocals (per a freqüències més aviat greus), si ens atenem a la viscositat de la mucosa laríngia, al flux d'aire expirat i a l'efecte Bernouilli, sigui quin sigui l'element excitador de les CV, observem que els plects vocals es comporten seguint la següent seqüència:

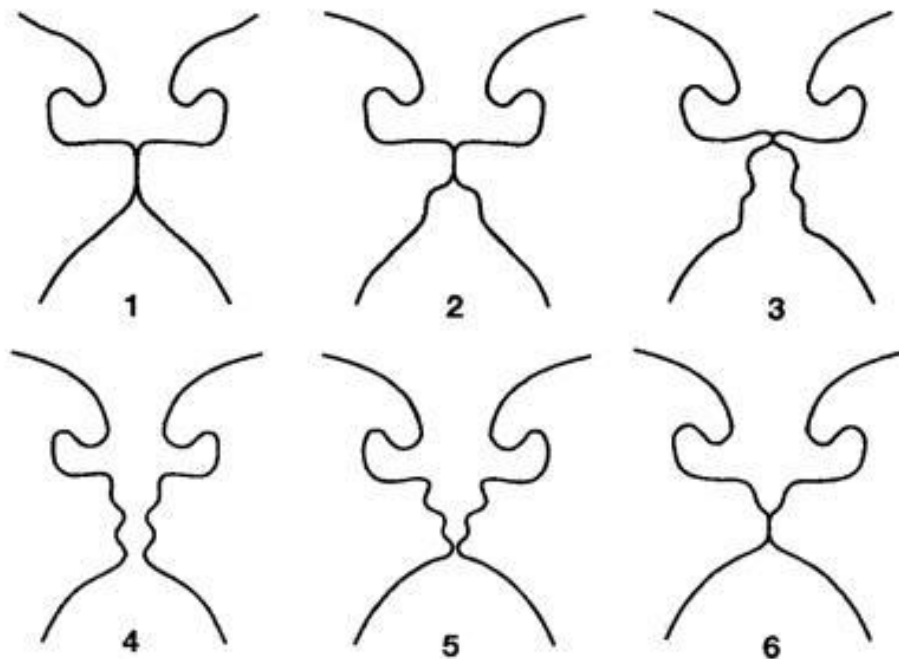


Fig. 31

Secció vertical de la larínge.

La zona més estreta de les figures correspon al gruix de les CV en tancar-se i obrir-se.

El dibuix de la forma d'ona de les variacions de pressió a la sortida de la glotis seguiria el següent patró ideal:

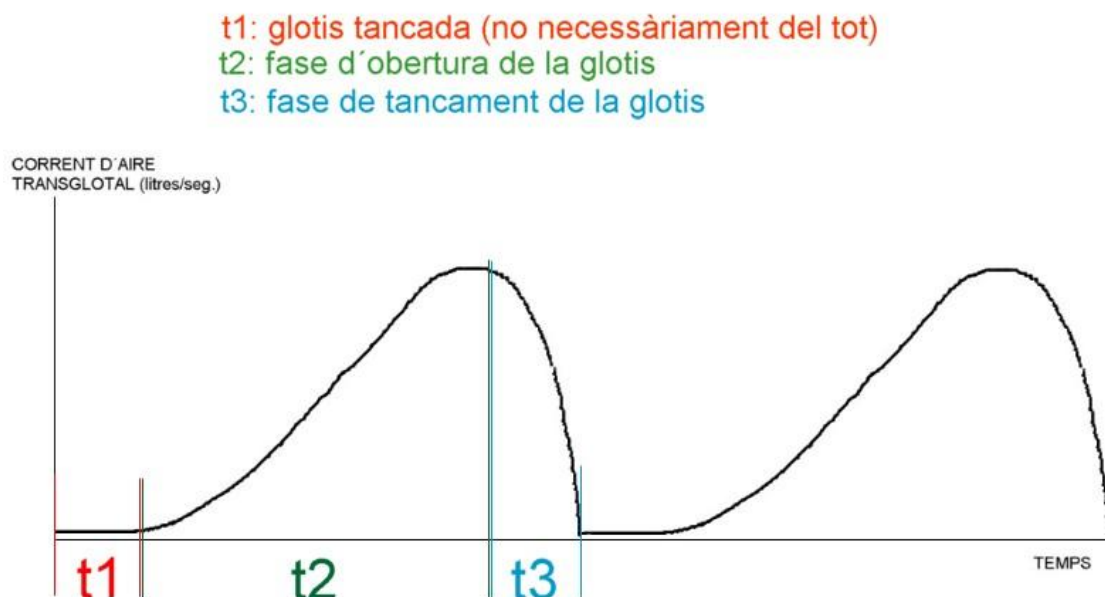


Fig. 32

És a dir que tindriem una ona sonora de forma similar a una dent de serra i que la freqüència de la mateixa correspondria a:

$n^{\circ}$  de vegades que la glotis es tanca i obre durant un segon =  $n^{\circ}$  de cicles per segon dels "talls d'aire traqueal" que travessen la glotis = **freqüència glotal**

Sabem que segons el tipus de persona que sotmetem a estudi, si és algú amb entrenament vocal tant parlat com cantat o no, tindrem unes durades diferents de t1, t2 i t3. En general, el coeficient de laringe tancada (t1), és a dir, el temps durant el qual les CV estan en contacte, és superior en les persones amb tècnica vocal (actors, cantants, etc..) que obtenen una millor eficiència de l'activitat de les CV ja que aprofiten més l'aire que surt dels pulmons per a produir el so, incrementant el rendiment vocal.

Extrapolant-ho a totes les freqüències, dels experiments realitzats per Howard en cantants masculins (1990) i femenines (1995) s'ha observat que:

**Homes:** els que tenen coneixements de tècnica vocal i la practiquen presenten uns temps de tancament glòtic (t1) més alts per a tota l'extensió de la veu que no pas els que no fan entrenament.

**Dones:** les que tenen coneixements de tècnica vocal i la practiquen presenten uns temps de tancament glòtic (t1) més alts que no pas les que no fan entrenament, i aquesta diferència tendeix a incrementar-se amb l'augment de la freqüència fonamental del so emès.

L'espectre d'una ona en dent de serra és el que té tot tipus d'harmònics, tant parells com imparells, i que podem veure'l a continuació per una ona en dent de serra amb una freqüència fonamental de 100Hz:

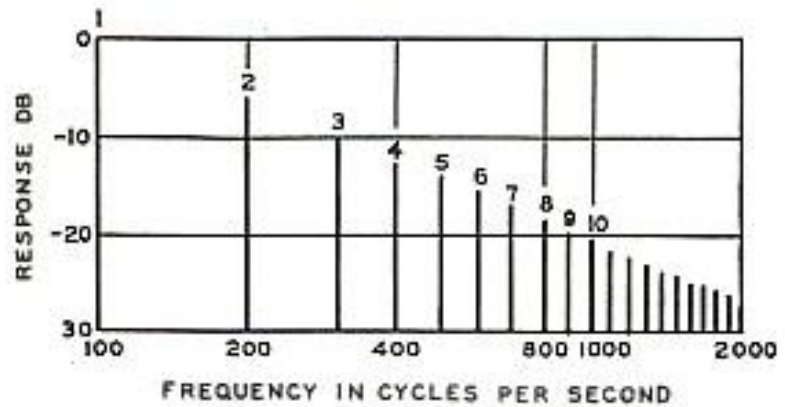


Fig. 34

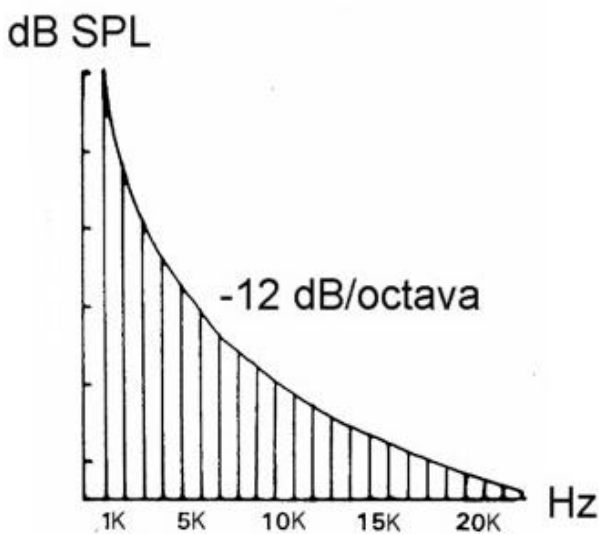


Fig. 33

En el cas de les CV tindrem que vibren presentant una freqüència fonamental que serà la freqüència glotal (i que variarà segons la nota emesa) i tota una sèrie d'harmònics que presenten un espectre freqüencial, tant per la parla com en el cant, amb un descens de 12dB/octava. Aquesta corba variarà un cop el so produït a les CV travessi les cavitats ressonadores (faringe, nasofaringe, foses nasals, etc...) que actuaran a modus de filtres acústics, i fins i tot quan surti de la cavitat bucal degut a la directivitat de l'ona sonora en cada franja freqüencial.

El to de la veu o la freqüència fonamental de les ones produïdes a les CV depèn del gènere i de l'edat de cada individu, que en condicionen la llargària i el gruix, així com de la tècnica vocal, de la praxis de la mateixa, i d'altres variables de tipus genètic o constitucional.

En el següent gràfic podem apreciar la variació de les freqüències fonamentals dels individus en funció de l'edat:

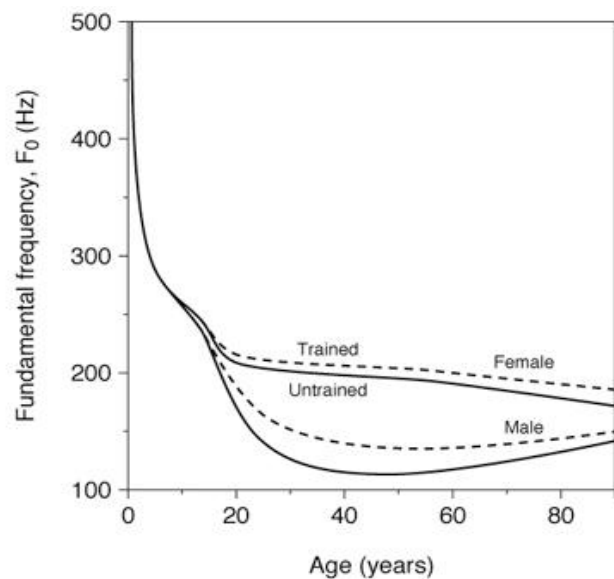


Fig. 35

Pels infants, les seves CV poden mesurar des de 5mm quan són molt petits, fins a uns 12mm a la pre-adolescència, i les freqüències fonamentals que produeixen estan entre els 235Hz i els 580Hz.

En el cas de les dones, poden tenir unes CV d'uns 13mm a uns 18-20mm i produeixen unes freqüències fonamentals entre 150Hz i 1.050Hz (tot i que com hem vist hi ha *sopranos líriques* i *sopranos coloratura* que arriben fins a notes molt agudes).

Els homes tenen les CV més llargues, d'uns 17mm a uns 24mm i produeixen les freqüències fonamentals més greus que les dones i els nens, normalment una octava per sota, i que pot ser entre els 65 Hz i els 500Hz.

La veu parlada ocupa un espectre (freqüències fonamentals i harmònics) d'entre 100 i 8000Hz en el cas de la veu masculina i de 180Hz fins a gairebé 10Khz per a les veus femenines, i amb una pressió sonora als voltants de 70 dB, tal i com es pot veure en el següent diagrama:

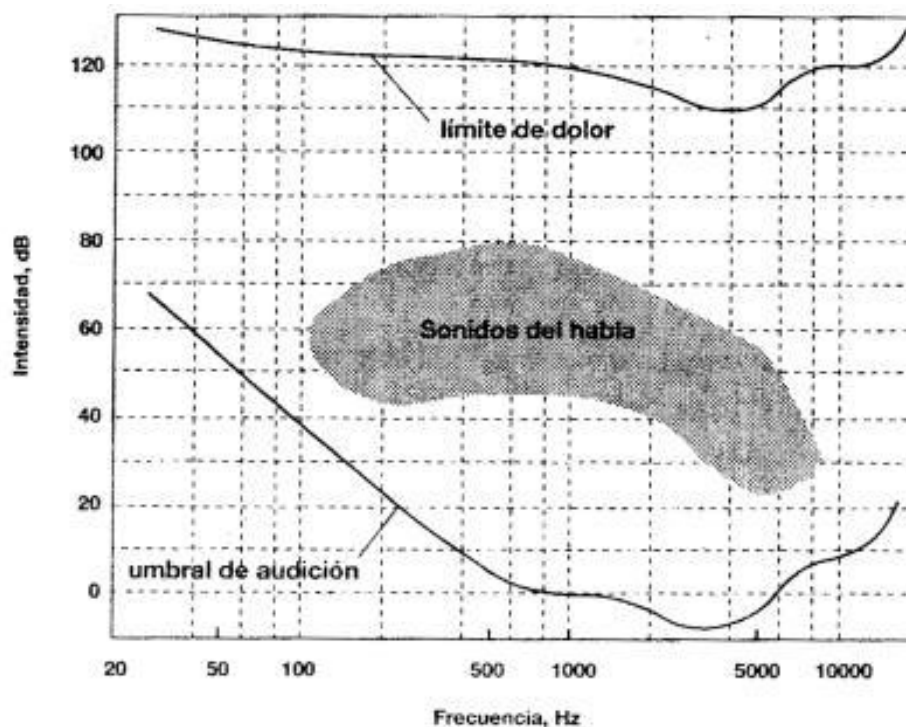


Fig. 36

I amb la veu cantada s'augmenten els marges de la potència, ja que es poden arribar a emetre fins a 120dB a la sortida de la cavitat bucal, en els casos d'alguns i algunes cantants de Gran Òpera, tot i que el promig per a cantants professionals estaria en els 90dB.

Per als cantants masculins, les seves freqüències fonamentals es situen aproximadament entre els següents marges aproximats:

BAIXOS	65Hz ----- 330Hz (C1 ----- E3)
BARÍTONS	90Hz ----- 400Hz (F1 ----- Ab3)
TENORS	110Hz ----- 523 Hz (A1 ----- C4)

I per a les cantants femenines, les freqüències fonamentals de les seves veus es situen aproximadament entre els següents marges, tot i que poden haver-hi sopranos que extenguin la veu encara més amunt:

CONTRALTS	150Hz ----- 660Hz (D2 ----- E4)
MEZZOS	170Hz ----- 860Hz (F2 ----- Ab4)
SOPRANOS	220Hz ----- 1050 Hz (A2 ----- C5)

Per a les veus infantils tenim que les freqüències fonamentals són:

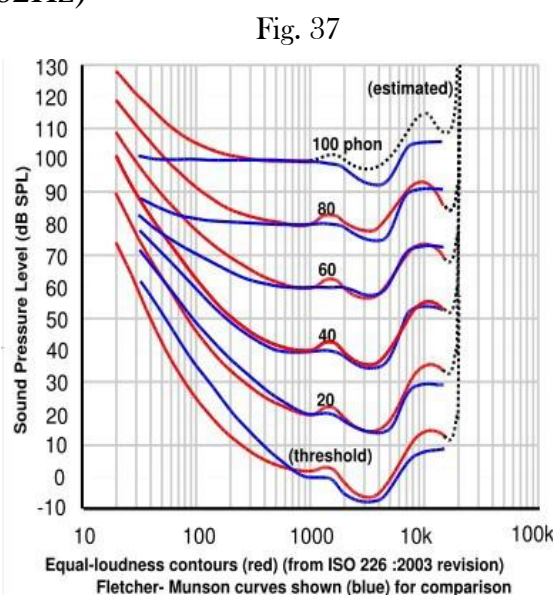
CONTRALTS	235Hz ----- 470Hz (Bb2 ----- Bb3)
TIPLES	294Hz ----- 587Hz (D3 ----- D4)

I el to fonamental de la veu parlada es trobaria centrat en:

BAIXOS	F1/G1	(98Hz/110Hz)
BARÍTONS	A1/B1	(110Hz/123Hz)
TENORS	C2/D2	(131Hz/147Hz)
CONTRALTS	F2	(175Hz)
MEZZOS	A2	(220Hz)
SOPRANOS	C3	(262Hz)

La quantitat de pressió d'aire pulmonar utilitzada en la parla és de 0'5KPa per al nivell de conversa, però en la zona més greu poden emprar-se fins a 1'5KPa per tal de compensar l'efecte auditiu del "loudness" en les freqüències on l'oïda minvaria la sensació auditiva (*veure corbes isofòniques segons les normes ISO R-226 2003 de la fig-37*).

Pel què fa a la veu cantada, en els fortíssims poden emprar-se entre 3'6KPa de pressió i fins a 10KPa per a produir les notes més agudes i compensar també l'efecte del



"loudness" en la zona dels harmònics aguts, així com la tensió de les CV. S'observa també que un increment en la pressió infraglòtica provoca un lleuger augment en el to de l'ona que es produeix a les CV, és a dir, que la freqüència emesa en la fonació dependrà de la tensió del plec vocal, de la llargària del mateix, del seu gruix i massa relativa per mil·límetre cúbic, i també, en part, de la pressió d'aire infraglòtic.

En principi, en la veu cantada es distingeixen dos tipus de registres principals:

- El registre greu o veu de pit, on les CV adopten l'aspecte de dos llavis gruixuts que vibren obrint-se i tancant-se amb força amplitud (recordem la compensació del "loudness" en la zona dels greus) i el so que surt de les CV es transmet a la zona del pit via la musculatura i els tendons infrahioïdals (veure NOTA 1 i NOTA 3 d'aquest mateix apartat).

- El registre agut o cefàlic o veu de cap, on les CV adopten la forma de làmines primes i llargues en tensió que vibren amb amplituds curtes, on la massa relativa de múscul vocal per mil·límetre cúbic també és molt petita, i s'hi observa un comportament gairebé asincrònic. La vibració produïda a les CV s'amplifica a les cavitats ressonadores i es transmet per conducció òssia al cap, podent percebre-hi la sensació de vibració (veure NOTA 3 d'aquest apartat), segons la posició de les parts mòbils del tracte bucal.

Per als cantants que no han rebut educació, hi ha un moment en què al passar d'un registre a l'altre es produeix un canvi brusc a la laringe, mentre que en els cantants entrenats l'emissió de veu és continuada, homogènia i no s'hi aprecia cap canvi sobtat. Aquest fet, segons el qual s'evita la constricció dins la laringe i

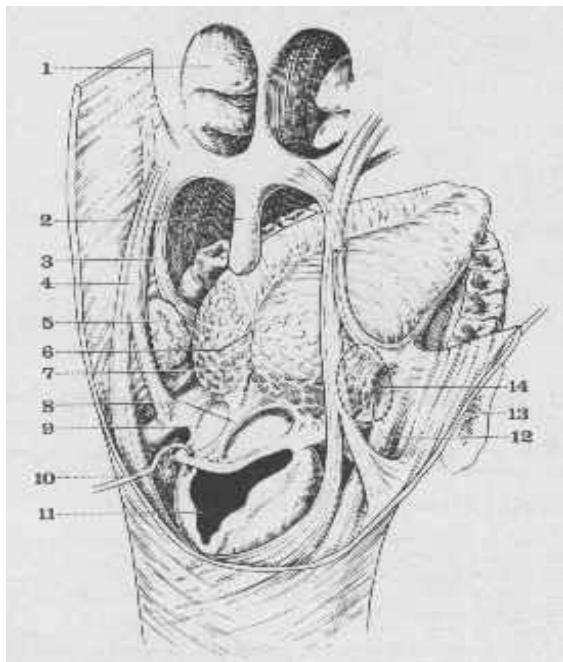


Fig. 38

que es realitzin amb dificultat les notes intermèdies entre el pas d'un registre a un altre, s'aconsegueix amb el què els belcantistes han anomenat la **cobertura del so** i que consisteix en col·locar la laringe en una posició anatòmica baixa i quasi fixa (mitjançant la musculatura extrínseca) i aconseguint una elongació passiva de les CV, tot distanciant els punts de fixació de les mateixes al cartílag tiroïdes i als cartílags aritenoides. A la pràctica, s'aconsegueix baixar la laringe fent descendir l'os hioide (mantenint la llengua ben relaxada) alhora que el vel del paladar ascendeix, és a dir, fent pujar la "campaneta" (veure NOTA 2).



NOTA 1: L'os hioide és l'únic os del nostre esquelet que no està articulat directament a cap altre os i que permet efectuar moviments d'ascens i descens de la laringe. Es troba suspès del crani per lligaments i estructures musculars i s'enllaça al cap i al tòrax pels **músculs suprahioïdals i infrahioïdals** que, amb els seus moviments pugen i baixen l'os hioide, arrossegant alhora la laringe i la llengua.

### Músculos suprahioideos e infrahioideos

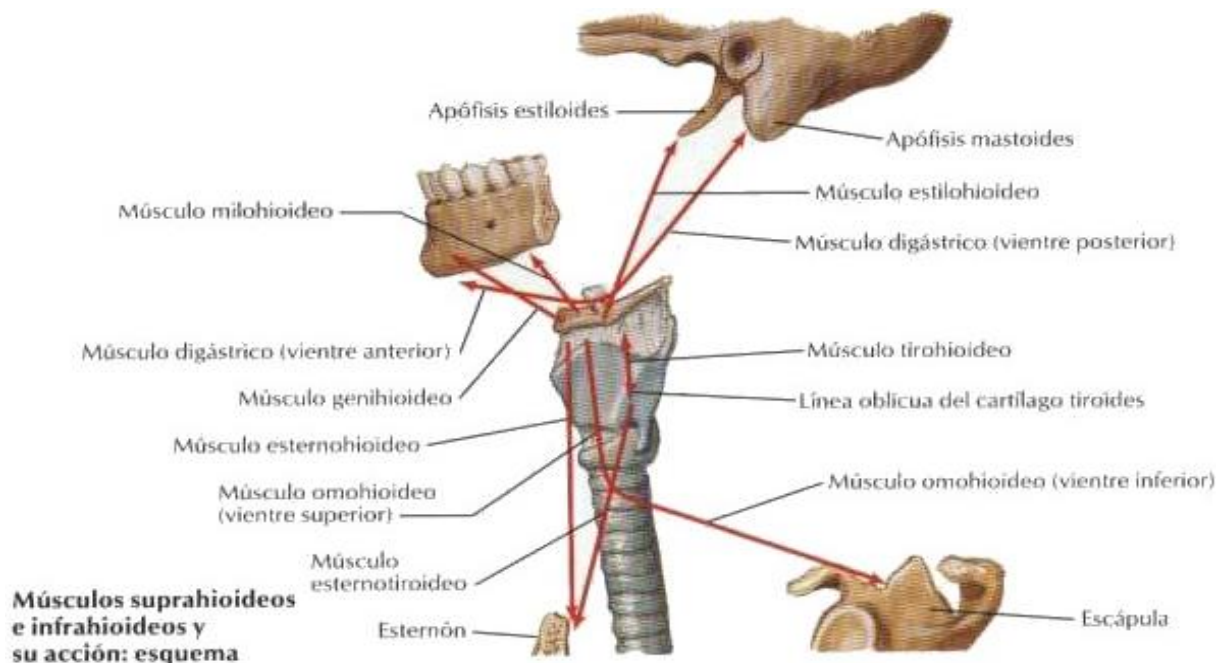
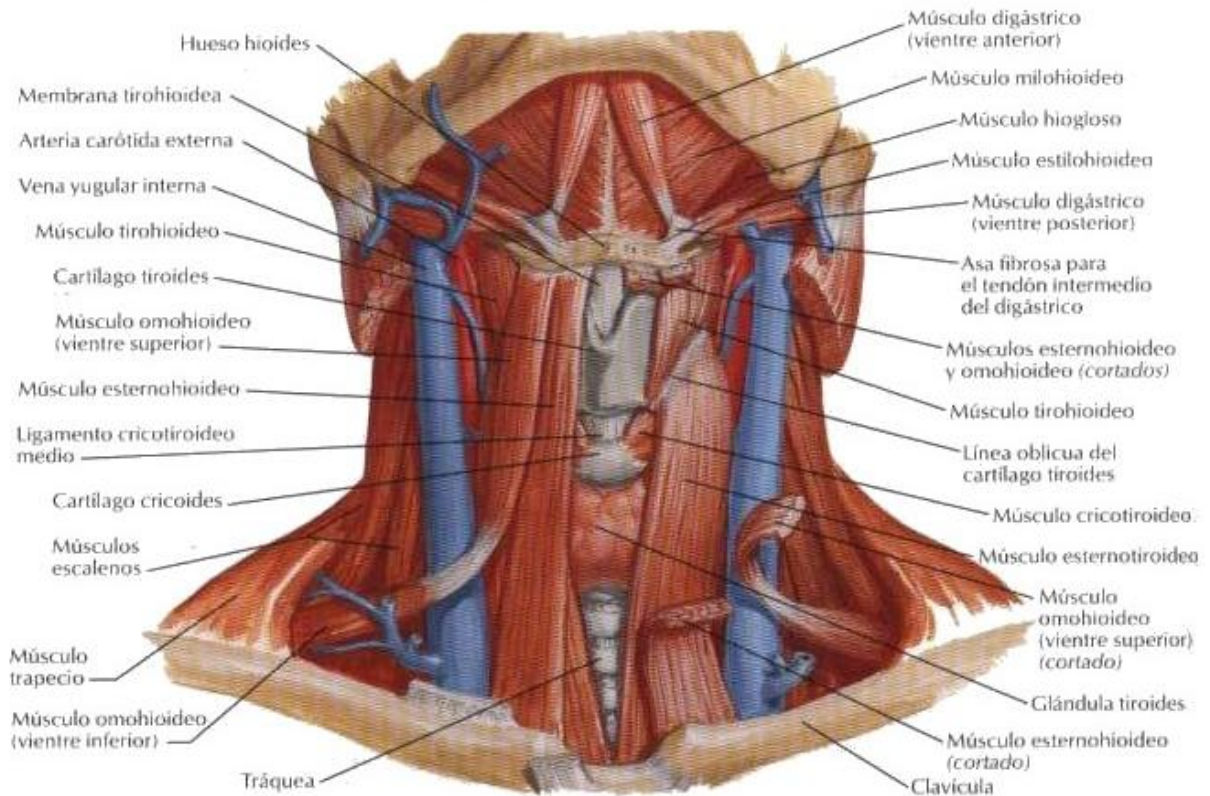


Fig. 39

NOTA 2: Per a realitzar la cobertura del so alguns professors expliquen als alumnes com trobar la sensació d'aixecar el vel laringi mitjançant l'acció de badallar. Això pot provocar tensions degut a l'obertura de la mandíbula inferior i ésser contraproduent per als cantants novells, ja que fer la cobertura del so no implica cantar amb la boca excessivament oberta. Per a ajudar a trobar la sensació d'elevació del vel del paladar mantenint alhora la llengua relaxada i evitar les tensions musculars, es pot suggerir imaginar com es respiraria en un dia fresc i després d'un bon ruixat, o bé simular la inspiració de l'aroma d'una flor, intentant notar la sensació de nasofaringe dilatada. Un cop reconeguda i situada la nasofaringe, l'alumne haurà de trobar la forma de controlar l'elevació de l'úvula, obtenint l'obertura interna desitjada.

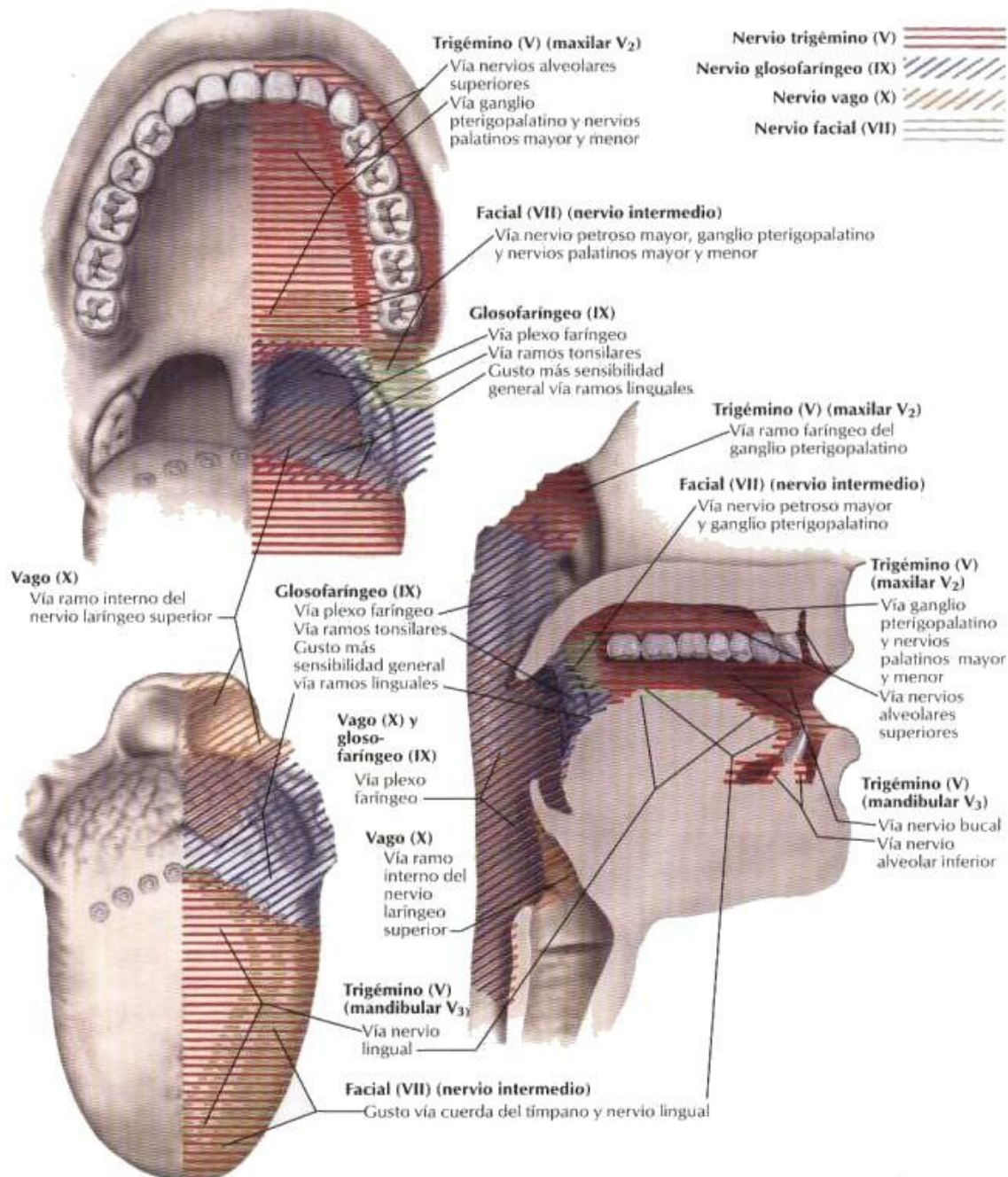


Fig. 40

Tal i com veurem més endavant, amb la recol·locació de la laringe fent la cobertura del so s'aconsegueix també allargar el pavelló faringo-bucal, fent variar els paràmetres de ressonància de les cavitats bucals (baixa la freqüència i augmenta la intensitat del so a les freqüències pròpies de ressonància de tot el tracte bucal). A més, el múscul cricotiroidal (recordar fig. 15) col·labora a que basculi el cartílag tiroides sobre del cricoides, allargant les CV i aprimant-les i tot plegat permet cantar unificant el registre de pit amb el de cap, homogeneitzant la transició de l'un a l'altre.

NOTA 3: tant la *veu de pit* com la *veu de cap* són termes emprats per a descriure sensacions propioceptives. La veu no fa vibrar l'aire o les masses de dins del cap o del pit, però el que sí que ocorre és que, en la **veu de pit** les vibracions produïdes a les CV es transmeten via la musculatura infrahoïdal fins al tòrax. Aquestes es poden percebre si s'està atent a les sensacions que els òrgans Golgi, que tenim disposats en els tendons i que són sensors propioceptius, capten en aquestes zones on la vibració s'hi ha transmès fàcilment.

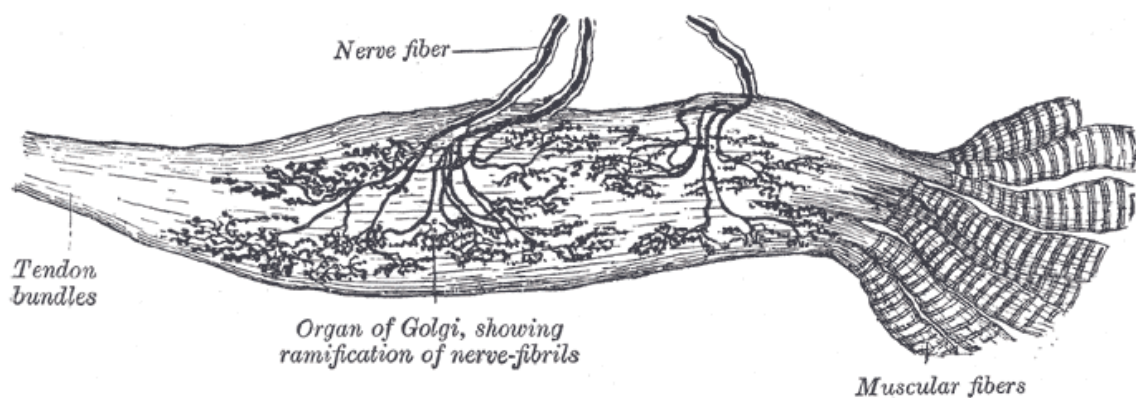


Fig. 41

En la **veu de cap** les vibracions de les CV travessaran el tracte bucal i les cavitats nasals, que actuaran a modus de ressonadors, i des d'aquestes zones es transferiran al crani que, segons demostren els estudis de Froeschels (1957), en "rebre" les vibracions les transmetrà per tota la seva superfície via òssia. Les ressonàncies que es produeixin dins del tracte bucal també entraran a l'oïda interna per la trompa d'Eustaqui a través de la nasofaringe i produiran sensacions auditives internes del timbre de la veu (el so hi arriba abans que per via externa), així com també sensacions propioceptives, que poden notar-se si s'aprèn a posar-hi l'atenció, i que ajuden a corregir la col·locació de la veu.

La vibració que es produeix tant a la zona del pit com al crani és real i, per tant, susceptible de ser percebuda si s'aprèn a notar-la. Ara bé, aquesta vibració no es radia fora del cos sumant-se i influenciant en el volum final del so emès, ja que la seva amplitud no és significativa comparada amb la de l'ona sonora que surt pel tracte bucal i nasal.

Les freqüències fonamentals de les notes en les que, en els cantants no iniciats, es produeix el moment de canvi d'un registre que s'acaba a l'altre que comença rebent el nom tècnic de **passatge molt poc sensible**. En aquest punt cal "negociar" la situació de la veu, ja que s'acostuma a tenir molt clar com col·locar-la a la zona greu tot mantenint una postura similar a la de la parla, i en canvi costa entendre com "saltar" a la zona aguda. Aquestes freqüències poden donar una idea, juntament amb el to de la veu parlada (o el to de la tos sonora), de com classificar la veu d'aquella persona. Corresponen a les següents notes:

### PASSATGE MOLT POC SENSIBLE

BAIXOS	E2/F2	(165Hz/175Hz)
BARÍTONS	G2	(196Hz)
TENORS	A2	(220Hz)
CONTRALTS	E3	(330Hz)
MEZZOS	F3	(350Hz)
SOPRANOS	G3	(392Hz)

Si es continua pujant vers la zona aguda hi ha un altre punt freqüencial de dificultat i que s'ha anomenat el **gran passatge**. En el cas dels homes ocorre quan hi ha un moment en el qual no poden continuar cantant i la veu se'ls atura o bé produeixen un falset involuntari. En el cas de les dones, també hi ha una sensació de fre on la veu no vol continuar, i en ambdós casos, homes i dones, s'ha de trobar la manera de poder superar aquest escull mitjançant un reajustament de tot el mecanisme de producció de veu.

El moment d'aquest gran passatge se situa en les següents zones:

### GRAN PASSATGE

BAIX PROFUND	C3/Db/D3	(261Hz-294HZ)
BAIX CENTRAL	D3/Eb3	(294Hz- ≈315Hz)
BAIX CANTANT	Eb3/E3	(≈315Hz-330Hz)
BARÍTON DRAMÀTIC	Eb3/E3	(≈315Hz-330Hz)
BARÍTON LÍRIC	E3/F3	(330Hz-349Hz)
TENOR ROBUST O DRAMÀTIC	F3/F#3	(349Hz- ≈380Hz)
TENOR SPINTO	F#3/G3	(≈380Hz-392Hz)
TENOR LÍRIC	G3	(392Hz)
TENOR LLEUGER	Ab3/A3	(≈415Hz-440Hz)
TENORINO	Bb3	(465Hz)
CONTRALTO	D4/Eb4	(587Hz- ≈630Hz)
MEZZOSOPRANO	E4/F4	(658Hz-698Hz)
SOPRANO DRAMÀTICA	E4/F4	(658Hz-698Hz)
SOPRANO LÍRICA	F4/G4/A4	(698Hz/784Hz/880HZ)

Recordem que la teoria neurocronàxica de Husson ens exposava que l'impuls del nervi recurrent es movia en fase a través dels seus axons quan les freqüències no superaven el límit de la freqüència màxima o nombre màxim d'impulsos nerviosos que deixaria passar el nervi laringi estant actiu, i que entrava en conducció bifàsica quan es sobrepassava el període refractari del nervi o temps de recuperació del mateix, i també que podia transmetre's l'impuls motriu amb un comportament trifàsic o, fins i tot, tetrafàsic en segons quines excepcions. Recordem també que a partir de les dades d'aquestes freqüències màximes obteníem les freqüències a partir de les quals el nervi recurrent canviava el comportament neurològic.

D'aquests estudis, pot obtenir-se la dada que correspondria als canvis de conducció monofàsica a bifàsica, en el cas dels homes adults, i de conducció bifàsica a trifàsica en el cas de les dones o de la veu infantil. A la pràctica és una zona crítica a nivell nerviós que afectaria alhora el comportament vocal. Els i les cantants han d'exercitar-se per a continuar pujant amunt cap a la zona aguda. Aquest punt d'inflexió funcional del nervi recurrent i en conseqüència, dels plecs vocals, podria correspondre's amb les freqüències fonamentals del **gran passatge**. Les notes d'aquest canvi de comportament nerviós són aproximadament les següents:

BAIXOS	D3	(294Hz)
BARÍTONS	E3	(330Hz))
TENORS	F3	(350Hz)
CONTRALTS	D4	(587Hz)
MEZZOS	E4	(658Hz)
SOPRANOS	F4	(698Hz)

Hi ha estudiosos que parlen de l'existència d'un **registre mixt** o **veu mixta**, i que correspondria a la zona de freqüències entre la veu de pit i la veu de cap, i que no necessàriament està limitada entre les freqüències corresponents al passatge poc sensible i les del gran passatge. Vegem tot seguit el per què.

En el cas de les dones es tendeix a evitar fer la veu de pit, per qüestió de salut vocal. Mitjançant tota una sèrie d'exercicis es posiciona la veu com si estigués en un prestatge, de manera que les notes més greus quedin "penjades" cap amunt i s'hi enfasitzin els harmònics aguts, i que la seva producció sigui similar a la de la veu més aguda. D'aquesta manera s'aconsegueix reforçar la veu en la zona de mitjos-greus tot aprofitant la projecció de la veu, "barrejant" la forma d'emetre la veu del registre de pit amb la del registre de cap. Degut a l'estructura laríngia de les dones, aquestes presenten més extensió en la zona del registre mixt que no pas els cantants masculins, ja que les dimensions de les seves CV els permeten emetre un marge més gran d'aguts.

Per exemple, la veu mixta d'una soprano lírica està entre les notes Eb<sub>3</sub> i G<sub>4</sub>. Si observem que els passatges esmentats per aquest tipus de veu els situàvem als valors de G<sub>3</sub> (per al passatge molt poc sensible) i F<sub>4</sub>/G<sub>4</sub>/A<sub>4</sub> (pel què fa al gran passatge), veiem que el comportament d'aquest tipus de veu és ben peculiar: a les notes més greus la laringe ja es prepara per evitar la veu de pit, "aixecant" la forma de produir les notes de manera que entrin a formar part del registre mixt. Amb aquest "recolzament" s'aconsegueix, d'una banda obtenir més harmònics/parcials a les CV, degut a què amb la cobertura del so els plecs vocals s'estiren i s'aprimen, i de l'altra es podran emfasitzar aquests harmònics/parcials més aguts mitjançant les ressonàncies bucals i nasals.

Algunes sopranos també noten un punt de "pivotatge" en el registre mixt als voltants del C#<sub>4</sub>, parlant d'una **veu mixta greu** i que correspondria a la zona freqüencial entre el Eb<sub>3</sub> i el C#<sub>4</sub>, i una **veu mixta aguda** i que escombraria les notes des del C#<sub>4</sub> fins el F#<sub>4</sub>/G<sub>4</sub> aproximadament.

Per a les altres veus femenines tindriem la següent divisió:

	VEU MIXTA GREU	VEU MIXTA AGUDA
CONTRALTS	F <sub>3</sub> ---A <sub>3</sub>	Bb <sub>3</sub> ---D <sub>4</sub>
MEZZOS	G <sub>3</sub> ---Bb <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> ---E <sub>4</sub> /F <sub>4</sub>
SOPRANOS	Bb <sub>3</sub> ---C <sub>4</sub>	C# <sub>4</sub> ---F <sub>4</sub> /G <sub>4</sub>

Per a les veus femenines trobem també el **registre flageolet** que correspon a una zona de veu molt aguda. Els lligaments vocals presenten una elevada tensió longitudinal, amb un considerable esmorteïment a la zona posterior de les CV (als aritenoides), i amb una elevada pressió subglòtica actuant sobre la massa del plec vocal que vibra amb unes amplituds molt curtes. Les **sopranos coloratura** i les **soubrettes** han de realitzar exercicis d'agilitat per tal d'ascendre vers la zona més aguda d'aquest registre i poder cantar-hi amb facilitat, però no poden mantenir-s'hi molta estona degut a que podrien malmetre's les CV.

Els valors del **registre flageolet** serien els següents:

CONTRALTS	a partir del A <sub>4</sub>	(880Hz ≤ x)
MEZZOS	a partir del C <sub>5</sub>	(1046Hz ≤ x)
SOPRANOS	entre D <sub>5</sub> i A <sub>5</sub>	(1175Hz-1760Hz)

Alguns infants també poden emetre crits en aquest registre, que els sona molt agut i fort, i que produeixen amb les CV en una tensió extrema i amb molta pressió subglòtica.

També hi ha el registre de l' **emissió en falset** o *falsetto* que es dona en el cas dels homes adults que volen cantar en una tessitura aguda que habitualment correspon a les veus femenines o blanques, i ho aconsegueixen fent que les CV només vibrin en part i per a pressions infraglotíques baixes. Aquesta és una de les formes segons la qual alguns cantants masculins canten amb una veu artificial, és a dir, que no els és pròpia, mitjançant l'enginy de fer-ho només amb una part de les CV. El que ocorre en el registre en falset és que les CV s'estiren i s'aprimen però es comporten com si fossin CV petites, vibrant només una part d'elles i deixant l'altra part immòbil, sense vibrar i un xic oberta. Per això, els cal cantar utilitzant la justa quantitat d'aire per fer moure només el fragment de les CV predisposat a vibrar i no perdre volum d'aire per l'obertura restant.

Així doncs tenim la freqüència del pas al registre en falset o el que tècnicament es coneix com a **passatge en falset**, i que correspondria a les notes de:

BAIXOS	G3	(392Hz)
BARÍTONS	Bb3	(470Hz)
TENORS	C4	(523Hz)

Aquestes freqüències, però, no són determinants per a cantar en falset ja que alguns cantants poden aconseguir fer-les sense recórrer al falset, és a dir, amb plena veu. Es dona també el cas de cantants virtuoses que poden passar de fer la veu en falset a fer-la plena realitzant un crescendo, és a dir, donant amplitud i volum a l'emissió de veu en la mateixa zona del falset i homogeneïtzant el canvi d'un registre a l'altre. Els tenors lleugers ho realitzen amb més facilitat, mentre que a algunes veus (barítons, baixos) els resultarà gairebé impossible fer-ho.

Hi ha cantants que recolzen el falset com si fessin la veu de cap, i d'altres el reforcen al pit. Tot i això, no cal confondre la veu de falset amb la veu de cap, ja que si bé la forma de fer ressonar la veu és similar, l'emissió del falset a les CV és diferent (només vibra una part longitudinal de les CV).

Cal apuntar que hi ha força polèmica sobre aquest tipus de registre, tot i que històricament (des del segle XVIII) aquest mot ja s'atribuís a una forma masculina de cantar. Hi ha estudiosos que han analitzat algunes veus femenines, comprovant que hi ha excepcions que mostren comportaments vocals similars al del falset masculí, parlant també d'un falset femení. Aquests casos només es donen en dones amb un mal funcionament dels plecs vocals, on el so que produeixen a les CV té un component afegit d'aire (en anglès ho reconeixen com a "laryngeal whistle") degut a que la glotis no es tanca del tot. Malgrat que comportament vocal pot ser similar al dels homes fent l'emissió en falset, és a dir, amb les CV vibrant només en part, aquest comportament vocal en una dona està considerat una disfunció.

Tampoc es correcte parlar de què el registre flageolet sigui el registre falset femení, ja que per definició les característiques dels plecs vocals i de les pressions subglòtiques que es precisen per a cada emissió vocal són gairebé oposades.

Es coneix com a **extensió de la veu** la distància freqüencial entre la nota més greu i la més aguda que un/a cantant pot realitzar, i evidentment, aquesta extensió variarà segons l'entrenament vocal i segons si aquesta pràctica es realitza bé i s'ha après amb bons professors o no. La **tessitura de la veu** és la zona de freqüències (notes) on els/les vocalistes s'hi troben més còmodes per a cantar.

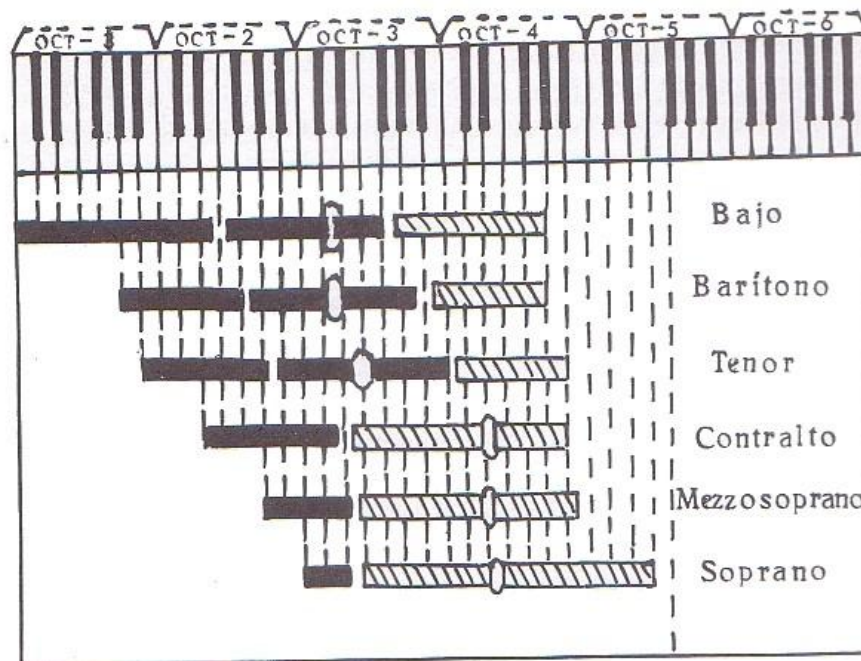
Hi ha els cantants coneguts com a **contratenors (male falsetist)** que empren el falset en bona part de la seva tessitura. L'ús d'aquest tipus de veu exigeix un treball continuat que implica, d'una banda, treballar moltíssim la respiració ja que, com hem vist, amb aquesta tècnica es perd part de l'aire pel "forat" glòtic i convé aprendre a dosificar-ne molt bé el flux, i de l'altre l'agilitat, degut principalment al tipus de repertori barroc d'aquests intèrprets que els exigeix una flexibilitat i agilitat extremes. Els contratenors treballen molt a fons i el seu entrenament és molt sever. Han de ser capaços de fer notes molt ràpides i salts molt àgils entre notes, així com trinos i floritures. També se'ls pot escoltar fent decrecendos sobre notes molt agudes (que és una de les coses més difícils de fer en veu oberta per la tensió de les CV i la pressió subglòtica que es precisa).

També hi ha un registre masculí conegut com a **strothbass** i que és un registre molt greu, per sota de la veu parlada. Qui presenti aquest greu en la seva veu cal que estudiï amb un bon professor que li indiqui com treure'n profit, perquè és una zona molt delicada i pot produir-se fatiga vocal si no es fa bé.

NOTA 4: Els valors freqüencials que s'han donat a les notes d'aquest apartat corresponen als de l'escala temperada i s'han arrodonit per tal de simplificar-ne la lectura, adoptant la norma europea dels subíndex numèrics ( $A3 = 440\text{Hz}$ ). Les dades que s'aporten sobre marges de les veus i passatges han estat extretes dels estudis de Ramon Regidor Arribas, professor de la Escuela Superior de Canto de Madrid, que alhora els basa en la classificació de les veus realitzada per Tarneaud. Els valors dels registres mixtos són els que aporta Richard Milller a "The Structure of Singing" així com les explicacions que dona al respecte.



**CUADRO REPRESENTATIVO DE LOS DIFERENTES REGISTROS Y PASAJES, EN LAS DISTINTAS VOCES HUMANAS, según J. TARNEAUD.**

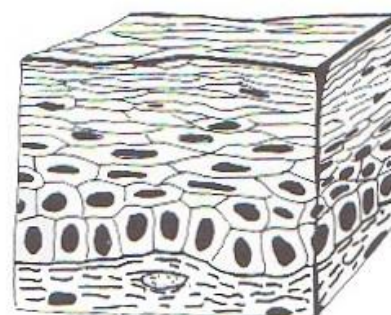


En negro, el registro de pecho; a rayas, el registro de cabeza. El primer espacio en blanco es el primer **pasaje muy poco sensible**; el segundo espacio en blanco, rodeado con una llave, es el **gran pasaje**; el tercer espacio en blanco es el **pasaje en falsete**. Tarneaud basa la aparición de cada «pasaje» en la voz, cada vez que hay una modificación del número de orden del armónico reforzado por la faringe.

En el presente trabajo, cuando nosotros nos referimos al «pasaje», aludimos al llamado «gran pasaje», que se da dentro de un mismo registro.

Fig. 42

De tot el que hem vist es dedueix que les CV suporten una gran pressió. Com aguanten xocar tantes vegades i rebre tanta pressió oposant-hi una àrea tan petita? Ho aconsegueixen principalment per l'elevada resistència mecànica del lligament vocal. El lligament vocal és un capa tendinosa que està situada entre el múscul vocal i la mucosa laríngia, i està format per epitelis de cèl.lules que estan fixades entre sí per unions molt sòlides i que aguanten elevades tensions físiques malgrat la seva minsa gruixària.



Epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado

Fig. 43

## **5. LES CAVITATS** **RESONADORES**

Un cop s'ha produït el so a les CV aquest té un volum molt baix que, per a poder ser escoltat, s'amplificarà i modularà a les estructures supraglòtiques i a altres cavitats ressonadores (boca, faringe, fosses nasals, etc.). En aquest procés, la veu guanyarà volum i prendrà un timbre característic per a cada persona, que podrà variar segons l'educació i la pràctica.



Fig. 44

De forma molt simplificada tindriem un esquema bàsic com aquest:

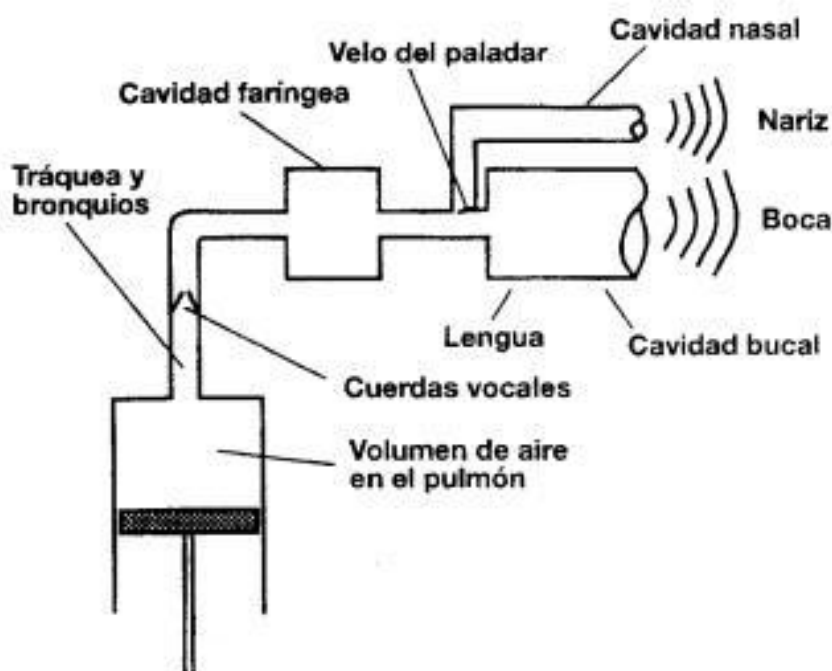


Fig. 45

Tot i que les cavitats ressonadores que s'hi mostren, a la pràctica no són tan elementals ni cilíndriques com el model pretén. Vegem què passa en realitat.

Suposem que podem tenir els 3 casos o opcions, segons la posició de la "vàlvula" de pas del so, o sigui del vel del paladar i la campaneta:

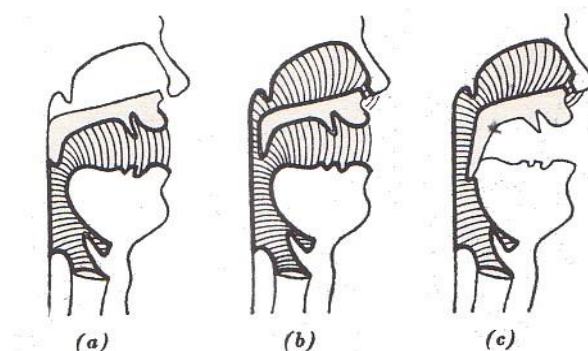


Fig. 46

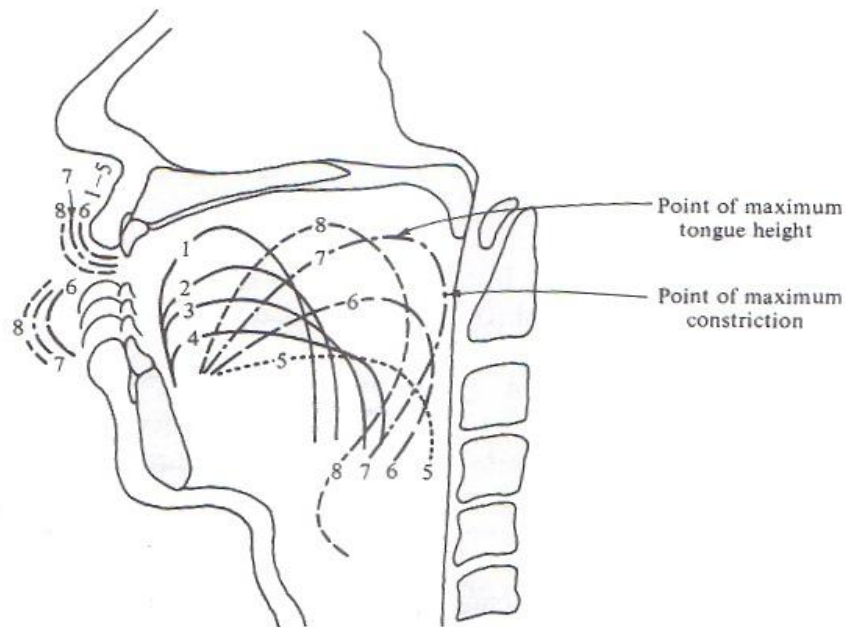
- a) L'emissió del so es reforçaria només en el tracte laringi-bucal, sense comptar amb les cavitats nassals.
- b) L'emissió del so es reforçaria tant en el tracte laringi-bucal com en la nasofaringe i les cavitats nassals.
- c) L'emissió del so es reforçaria només en la nasofaringe i les cavitats nassals, sense comptar amb la zona del tracte laringi-bucal.

Iniciarem el nostre estudi centrant-nos en el model a), tot intentant comprendre què succeeix en el tracte laringi-bucal i quines són les variables que intervenen en la producció del so final.

A fi d'esbrinar l'efecte que aquesta zona provoca en l'emissió de la veu, ens remuntarem a les proves realitzades per W. Berger l'any 1932 en un subjecte al qual havien extirpat la laringe en la seva totalitat i van col·locar-li un petit altaveu (que anomenaven "otoaudion") que emetia sons de freqüència variable i, segons deien, purs. Van constatar que el so que sortia per la boca de l'individu era el mateix to simple de l'aparell emissor, només que amb més o menys intensitat. Amb aquest experiment van deduir que el tracte bucal no produeix harmònics.

Un altre experiència que Brünings (1938) i altres metges van realitzar en diverses persones a les quals, per circumstàncies diferents havien fet un forat a la zona de la laringe just al damunt del cartílag tiroides, fou la de derivar el so produït per les CV cap a l'exterior via aquest forat i mesurar-ne les característiques. Es va comprovar que malgrat que els malats realitzessin esforços per emetre les vocals no aconseguien produir-ne cap de diferenciada. La conclusió a la qual es va arribar és que el tracte laringi-bucal és d'especial importància en l'emissió de les vocals.

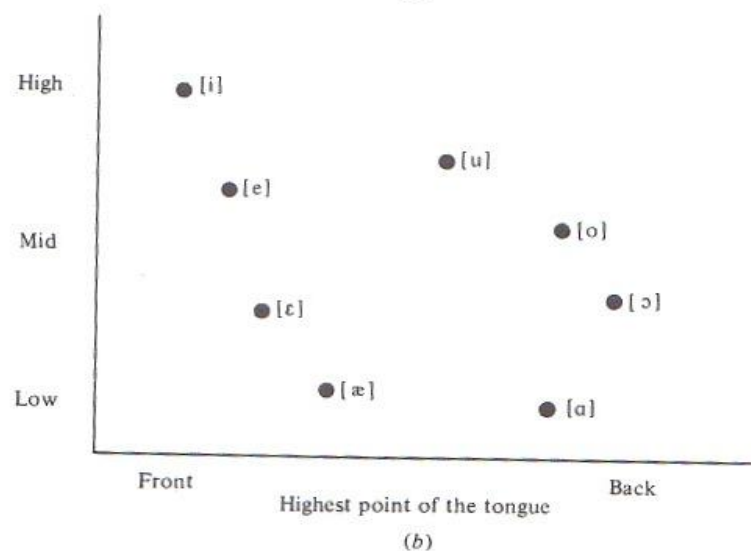
Efectivament això és així. En la següent làmina veiem com s'articulen les vocals en anglès (més endavant veurem a on es "col.loquen" les vocals catalanes: **a**, **æ**, **ə**, **ɛ**, **i**, **o**, **ɔ**, **u**). La posició de la llengua i l'obertura de la mandíbula i dels llavis són els principals condicionants de la "posició" de les vocals dins del tracte bucal.



Tongue and lip positions for the vowels

- |         |         |
|---------|---------|
| (1) [i] | (5) [a] |
| (2) [e] | (6) [ɔ] |
| (3) [ɛ] | (7) [o] |
| (4) [æ] | (8) [u] |

(a)



(b)

Figure 4.3. (a) A schematic drawing of tongue and lip positions for certain vowels. (b) Location of the high point of the tongue for various vowels. (From *Normal Aspects of Speech, Hearing, and Language*, ed. by Fred D. Minifie, Thomas J. Hixon, and Frederick Williams, 1973. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. By permission.)

Fig. 47

Tot seguit podem observar els perfils del tracte bucal (en secció vertical) d'algú pronunciant les diverses vocals. Al costat hi veiem la forma de l'envolvent de l'espectre freqüencial del so que surt per l'obertura de la boca. Hi observem que hi destaquen uns pics, els quals s'anomenen **formants**.

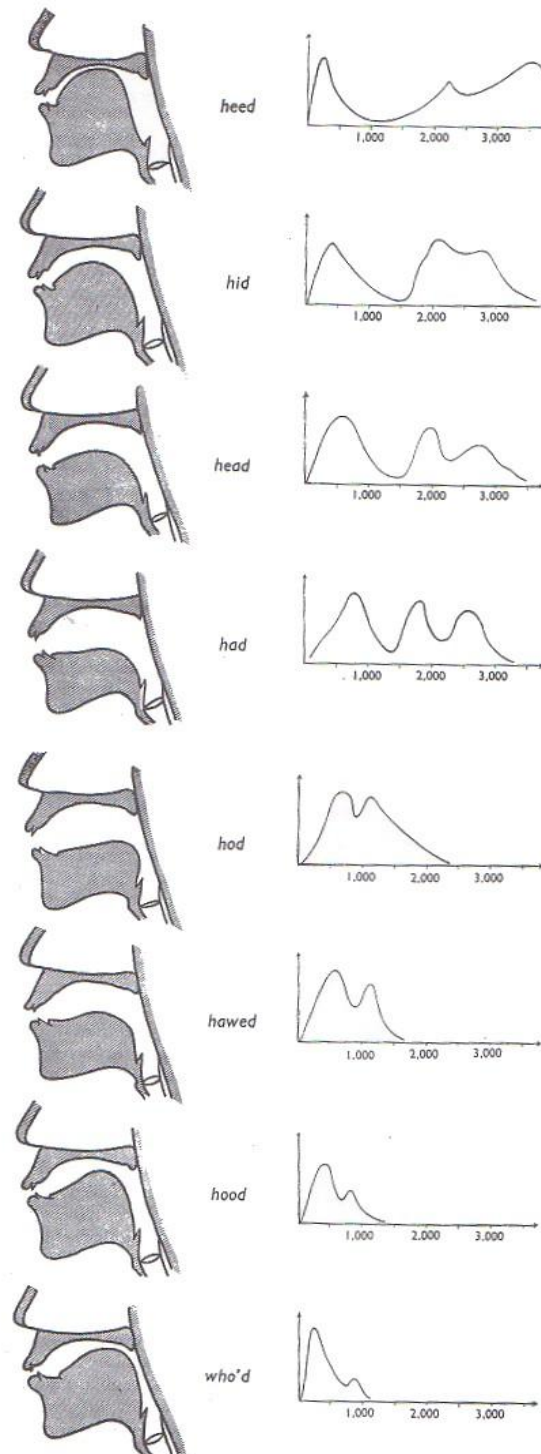


Figure 4.5. The positions of the vocal organs (based on data from X-ray photographs) and the spectra of the vowel sounds in the middle of the words *heed*, *hid*, *head*, *had*, *hod*, *hawed*, *hood*, *who'd*. (From Peter Ladefoged, *Elements of Acoustic Phonetics*, 1962. Tenth impression, 1974. Chicago: University of Chicago Press. By permission.)

Fig. 48

Del què hem exposat, observem que la disminució de 12dB/octava que la veu experimenta en produir-se a les CV (veure fig. 34) canvia en passar pel tracte bucal, amplificant-se algunes freqüències o grups de freqüències que actuen com a modus propis de ressonància d'un petit recinte i que són els formants.

En el gràfic que presentem a continuació hi trobem a l'eix vertical una mesura de freqüència, i en l'eix horitzontal un seguit de paraules monosíl·labes que es pronuncien amb una vocal diferent. S'hi ha representat el **primer formant** i el **segon formant** de cadascuna de les vocals angleses, és a dir, les freqüències al voltant de les quals es concentra la màxima energia quan s'emeten aquestes vocals, o el que és el mateix, les freqüències de ressonància que dins del tracte bucal es creen pel fet d'articular cadascuna d'aquestes vocals.

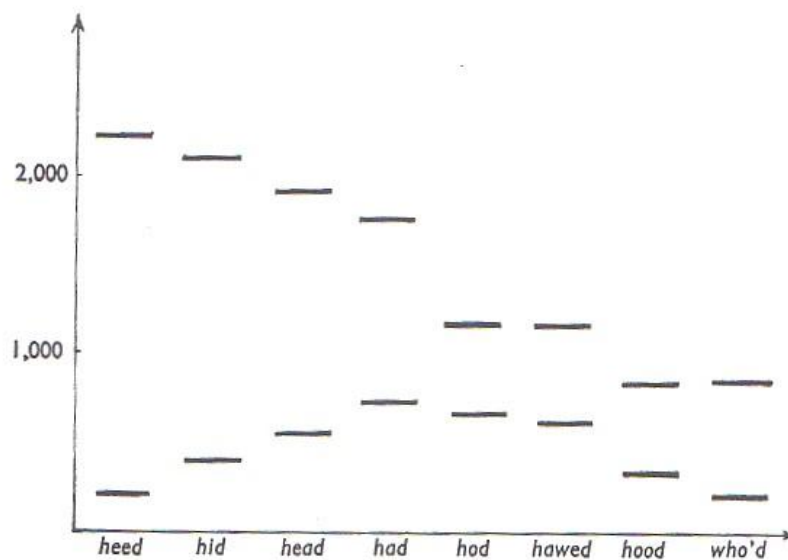


Figure 4.2. A spectrogram showing the frequencies of the first and second formants of some of the English vowels. (From Peter Ladefoged, *Elements of Acoustic Phonetics*, 1962. Tenth impression, 1974. Chicago: The University of Chicago Press. By permission.)

Fig. 49

En els laboratoris es poden obtenir espectres de diversos sons parlats i cantats, i analitzar-ne els formants a partir de l'envolvent. S'ha comprovat que s'hi poden identificar fins a sis o set formants diferents. Els tres primers correspondrien a les franges de freqüències de ressonància que es formen al tracte bucal degut a l'articulació, i la resta de formants més aguts correspondrien a qualitats individuals de cada individu. Alguns estudis afirmen que:

El primer formant el determinen l'obertura de la mandíbula i la posició més o menys tancada dels llavis.

El segon formant el determina la posició mitja de la llengua així com els llavis.

El tercer formant té relació amb la punta de la llengua.

Si tenim en compte que la laringe és com un tub cilíndric obert per un extrem i que mesura uns 17'5cm (per a un home adult), i si mantenim el vel del paladar en posició de cloure el pas del so vers la nasofaringe, tindrem que podem fer els càlculs aproximats de les freqüències de ressonància d'aquest model cilíndric i que ens sortirien 3 modus propis pròxims als 500Hz, 1500Hz i els 2500Hz. Aquestes freqüències estarien al voltant dels pics dels 3 formants d'una vocal neutra æ (veure fig. 48 per al monosíl.lab "hod"), mantenint el tracte bucal com si fos el cilindre del model que hem adaptat.

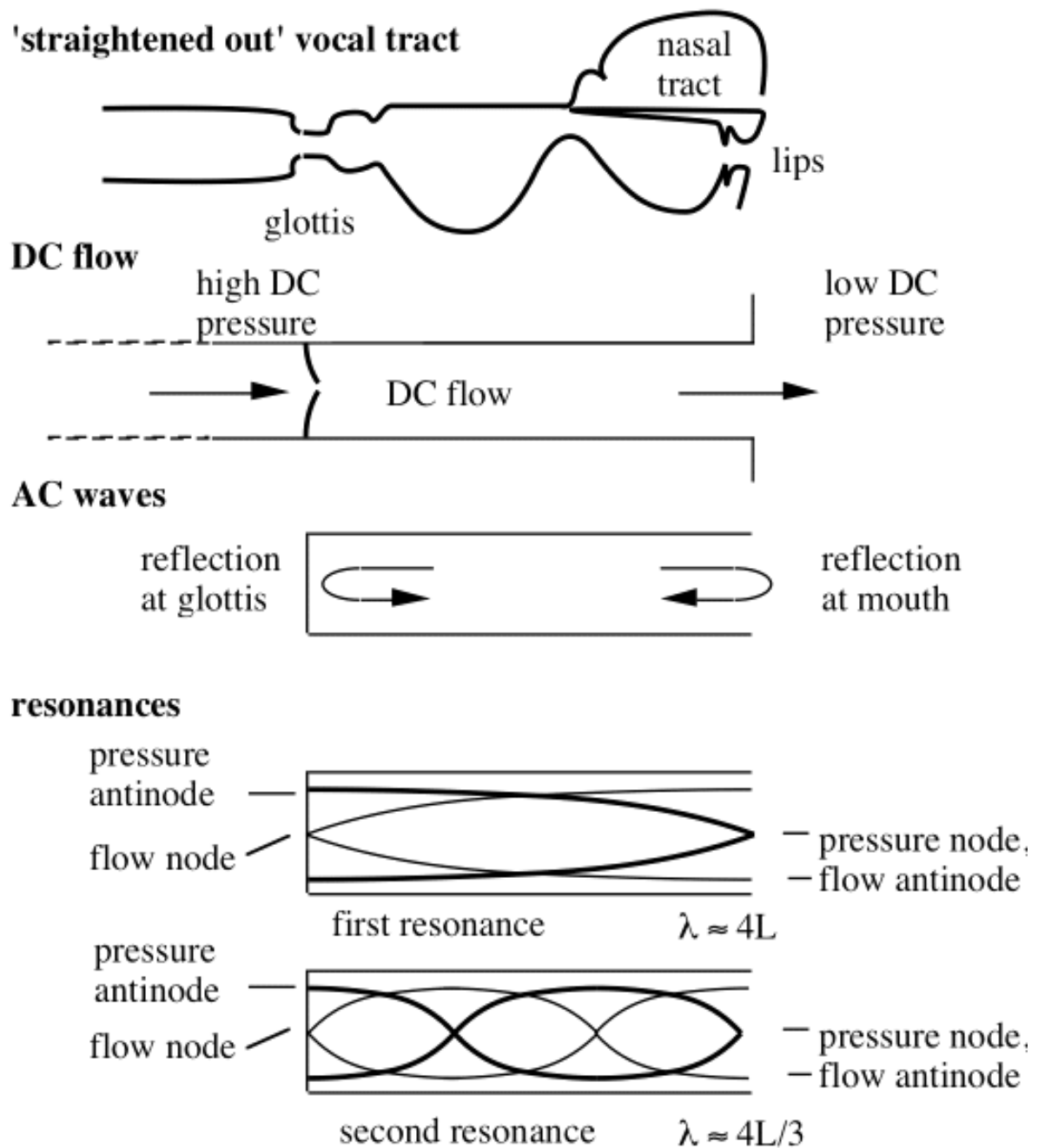
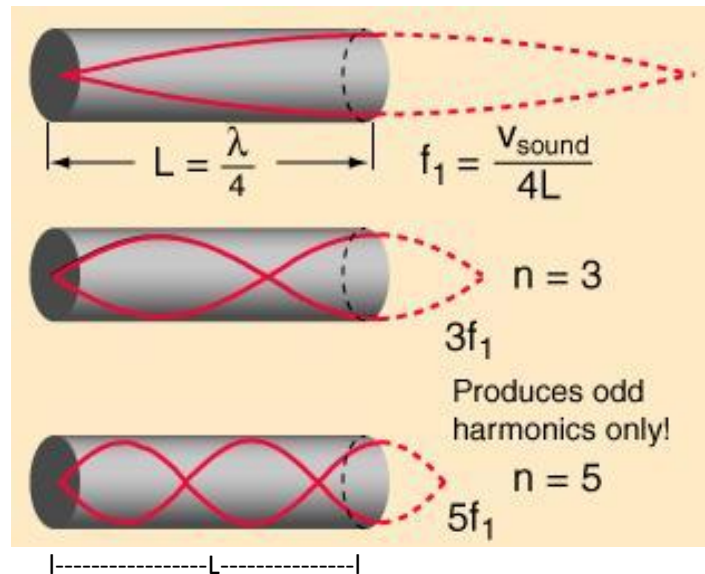


Fig. 50

Per a realitzar el càlcul d'aquestes freqüències ens podem remetre a l'estudi de les ones estacionàries dins d'un tub obert per un extrem i tancat per l'altre.

Fig. 51



**L:** longitud del tub ( $17'5\text{cm} = 0'175\text{m}$  per al tracte bucal masculí estàndard)

**v:** velocitat aproximada del so a l'aire ( $345\text{m/seg}$ ) dins del tracte bucal

**n:** n° de modus de ressonància que en aquest model són imparells (1, 3, 5, 7,...)

**f:** freqüències dels modus propis de vibració del tub

$$f_n = \frac{n \cdot v}{4 \cdot L}$$

$$f_1 = \frac{1 \cdot 345\text{m/s}}{4 \cdot 0'175\text{m}} = 492'85\text{Hz} ; f_3 = 1.478'57\text{Hz} ; f_5 = 2.464'85\text{Hz}$$

Els punts de l'ona a on no hi ha variació els anomenarem **nodes** i els punts on l'amplitud de l'ona és màxima **ventres**.

A la fig. 51 hi observem les ones estacionàries que es formen dins del tub, representant-hi els moviments de les partícules d'aire a cada punt. A les fig. 50 i fig. 52 hi veiem, però, que les ones estacionàries que representen el moviment de les partícules d'aire presenta un desfase de  $90^\circ$  respecte les ones de pressió (variació relativa de la pressió respecte de la pressió atmosfèrica).



Així doncs, els nodes de les ones de pressió coincideixen amb els ventres de les ones del moviment de les partícules d'aire i viceversa.

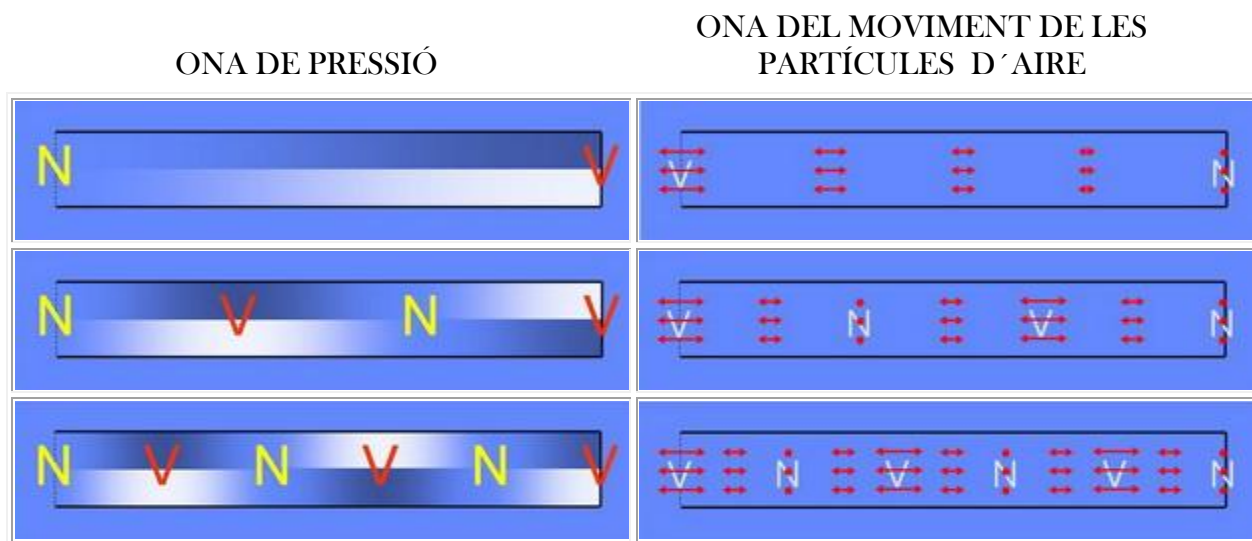


Fig. 52

Per al nostre estudi veiem a on es situarien els nodes i els ventres de l'ona dels moviments de partícules d'aire dins la cavitat bucal, en el supòsit que l'obertura velo faríngia estigués tancada i no tinguéssim ressonàncies nasals, i si seguíssim considerant el tracte bucal com un tub cilíndric obert per un extrem i tancat per l'altre (NOTA: com hem vist, els nodes i ventres de les ones de pressió coincidirien amb els de les ones del moviment de l'aire però desfasats 90°, és a dir, a on hi ha un node hi hauria un ventre i viceversa).

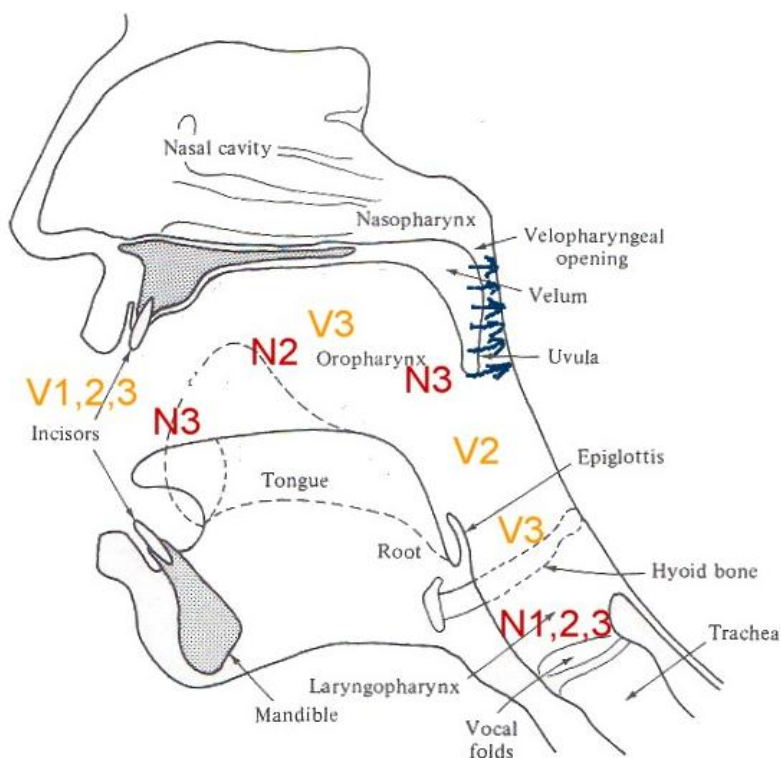


Fig. 53

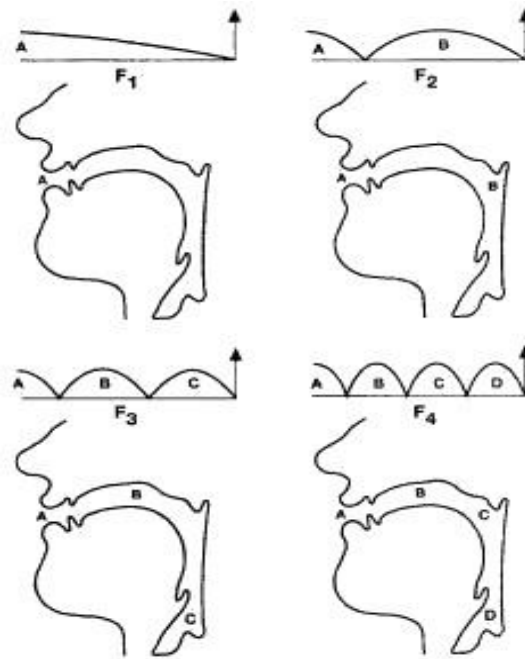


Fig. 54

Però, a la pràctica, l'ona sonora es genera a les CV. Així doncs hem de considerar que el tracte bucal és un sistema acústic que està excitat per un "input" que seria l'ona de pressió sonora produïda per la vibració de les CV (que posseeix un espectre freqüencial amb la caiguda dels 12dB/octava que ja hem esmentat) i que el tracte bucal actuarà a modus de filtre variable (degut a la llengua, obertura de la boca, vel del paladar, llavis, posició de la laringe si es fa la "cobertura" del so, etc.) emfasitzant certes freqüències i anul·lant-ne d'altres.

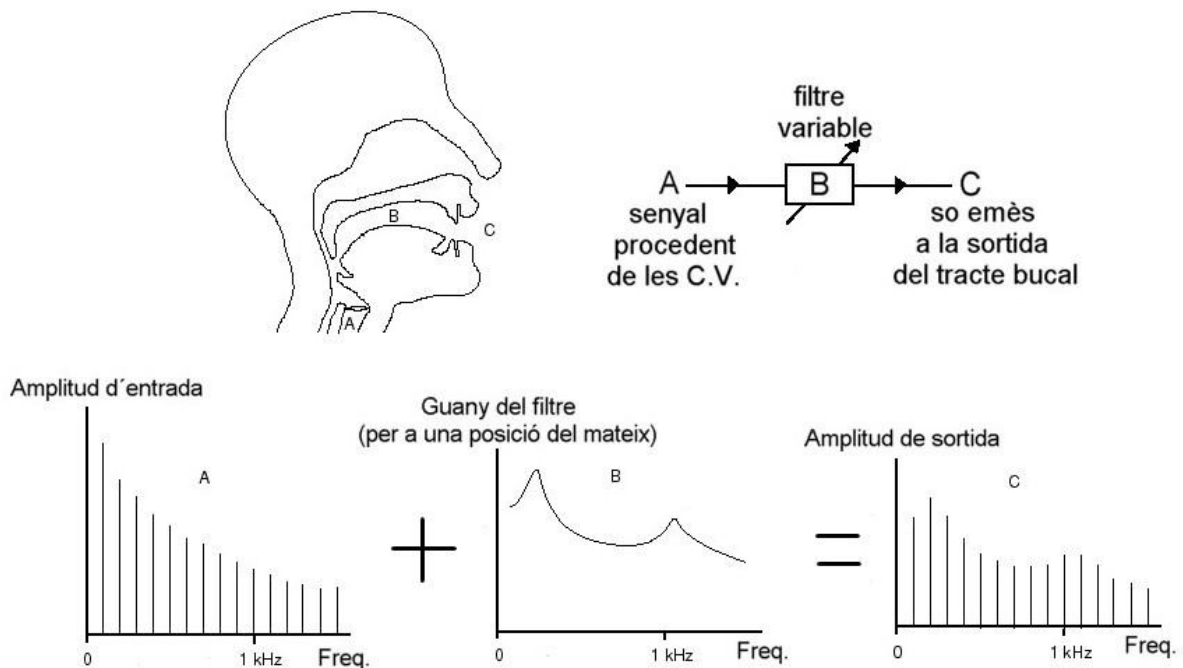


Fig. 55

De l'estudi de les representacions sonogràfiques i espectrogràfiques de les vocals s'ha pogut deduir que la identificació acústica de les mateixes es podria fer només a partir dels dos primers formants. Si col·loquem les freqüències d'aquests dos primers formants (F1 i F2) en els dos eixos cartesianes, tindrem el següent gràfic:

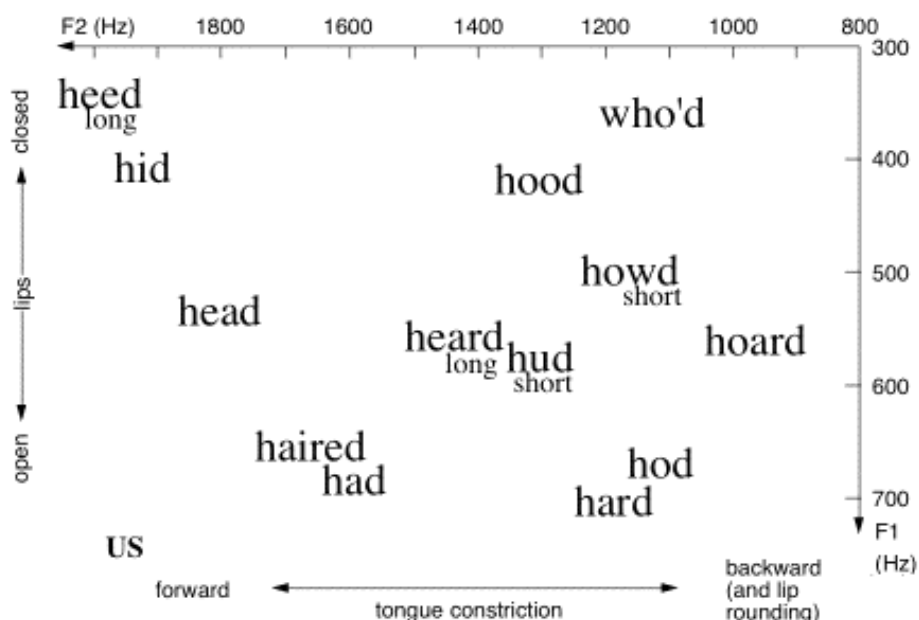


Fig. 56

Es observa que donen una imatge espacial de la col·locació de les vocals dins del tracte bucal. Per a les vocals catalanes obtindríem el següent gràfic, a partir d'un estudi realitzat a 21 persones a La Salle Bonanova (Barcelona) als anys 1980s:

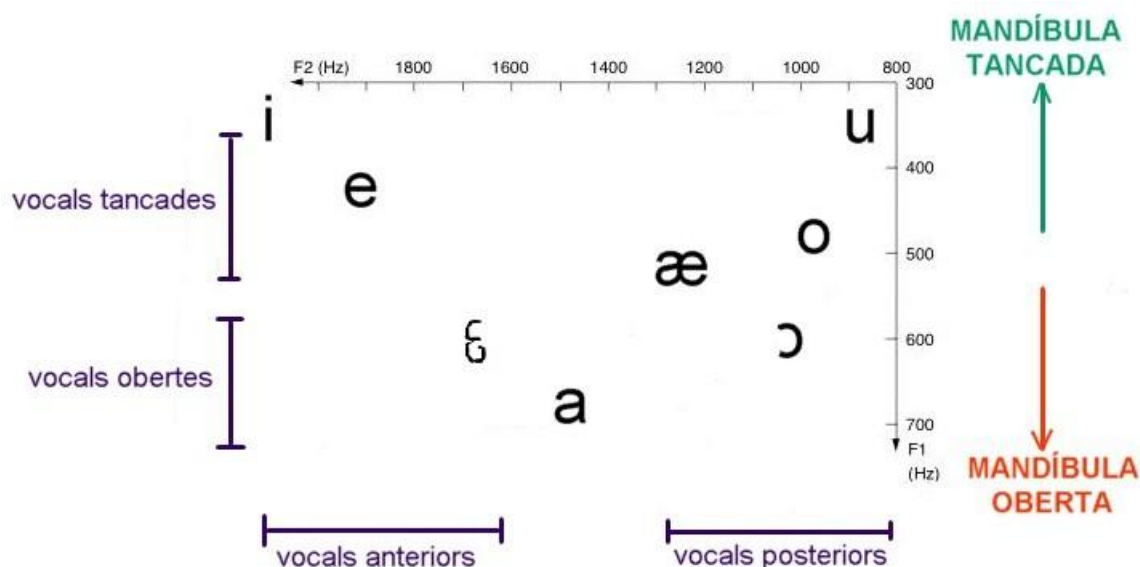


Fig. 57

Així doncs, coneixent només els formants primer i segon ja tindrem una informació força precisa sobre les característiques articulatòries d'obertura o tancament de la mandíbula, així com del posicionament de cada vocal dins del tracte bucal. De tot plegat deduïm que, si totes les persones tenim una forma similar de pronunciar les mateixes vocals, tindrem també una articulació molt semblant, és a dir, que els formants també seran els mateixos per a tothom en cada idioma, i no variaran gaire d'un individu a l'altre.

En resum, sabem que produïm el so a les CV amb uns marges freqüencials per a cada persona (que s'han especificat en el capítol anterior) i que el tracte bucal actua com a filtre variable que, per a les vocals, ens remarca uns pics o formants situats al voltant de les freqüències:

F1 500Hz, F2 1500Hz i F3 2500Hz (tal i com hem deduït a partir de la fig. 51)

Aleshores, podem comprendre que en les veus de les sopranos es doni el cas de què en cantar una nota no els surti la vocal que han de vocalitzar perquè ocorre el següent:

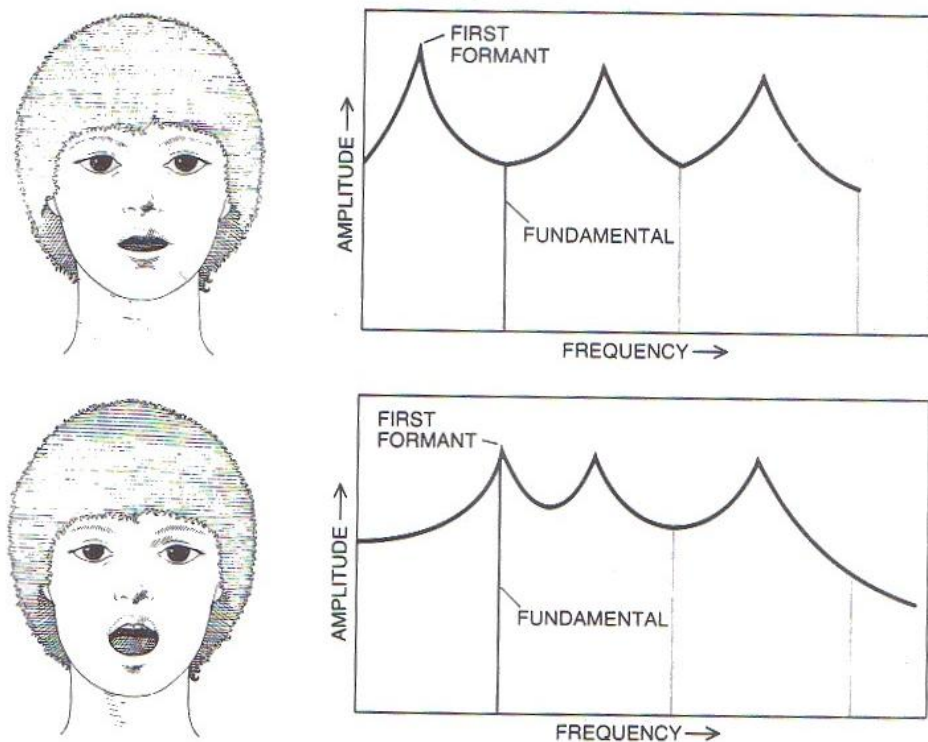


Figure 5.1. The need for a wider jaw opening in the upper range arises from the fact that a soprano must often sing tones whose fundamental (which is actually the lowest partial) is far higher in frequency than is the normal first formant of the vowel being sung. When that is the case, the amplitude of the fundamental is not enhanced by the first formant, and the sound is therefore weak. Opening the jaw wider raises the pitch of the first formant, when the first-formant frequency is raised to match that of the fundamental, the formant enhances the amplitude of the fundamental, and the sound is louder. (From Johan Sundberg, "The Acoustics of the Singing Voice," *Scientific American*, March 1977, Vol. 236, No. 3. By permission.)

Fig. 58

Si, com hem vist, les freqüències fonamentals de les sopranos es situen entre els següents marges:

SOPRANOS 220Hz ----- 1050 Hz (A2 ----- C5)

i les freqüències del primer formant de les vocals estan situades entre els 200Hz i els 700 Hz, el que succeeix és que la freqüència fonamental de la nota que ha de cantar la soprano pot superar la del primer formant de la vocal que ha d'articular. Això ho soluciona tendint a fer totes les vocals com una "a", ja que com observem en el gràfic de la fig. 57, aquesta vocal és la que té un F1 més alt. El que fan les sopranos en aquests casos és obrir la mandíbula (i a vegades també disminuint una mica la longitud del conducte bucal) augmentant així la freqüència del primer formant F1 i resolent el problema d'emetre la nota, però perdent intel·ligibilitat pel que fa al text de la cançó.

Un altre cas ocorre quan s'aconsegueix "sintonitzar" la freqüència fonamental d'una nota amb la d'una vocal, tal i com fan els cantants anomenats "yodelers". Si observem els primers formants de les vocals "i" i "u" ambdós estan situats entre els 250Hz i els 300Hz. Això vol dir que si canten la nota C3: 261Hz, la fonamental d'aquesta nota es situarà aproximadament al primer formant de les vocals "i" i "u", coincidint-hi i assegurant un mínim d'energia per a emetre aquesta nota. Seguint el mateix sistema, els yodelers utilitzen seqüències de vocals que els permetin cantar sintonitzant-ne els formants.

Un altre fet passa amb el falsetto i l'ús de les "i" i que es deu principalment al segon formant, el més agut de totes les vocals. Així doncs, si es canta vocalitzant amb una "i" es reforcen les altes freqüències dels harmònics, augmentant la sensació de so de flauta i, per tant, dels aguts.

També hi ha un formant "extra" que alguns cantants desenvolupen i que per això s'anomena el "singer's formant", és a dir, el **formant dels cantants**. Aquesta emfasització d'unes determinades freqüències és una especialització produïda per fer-se escoltar en mig del volum sonor de les orquestres. L'envolent d'aquest formant vindria a similar al que es mostra en el següent gràfic:

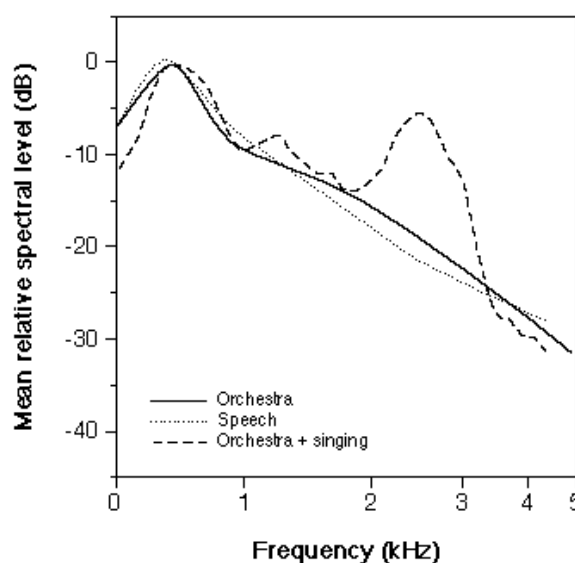


Fig. 59

La concentració d'energia al voltant dels 3000Hz permet als cantants de ser escoltats i destacar per sobre del so de les orquestres. El gràfic mostrat va ser elaborat pel doctor suec Johann Sundberg a partir d'estudiar la veu del tenor Jussi Bjoerling als anys 1970s, comprovant que com més fort tocava l'orquestra, més presència del formant creava el tenor.

Si recordem que en l'oïda humana tenim:

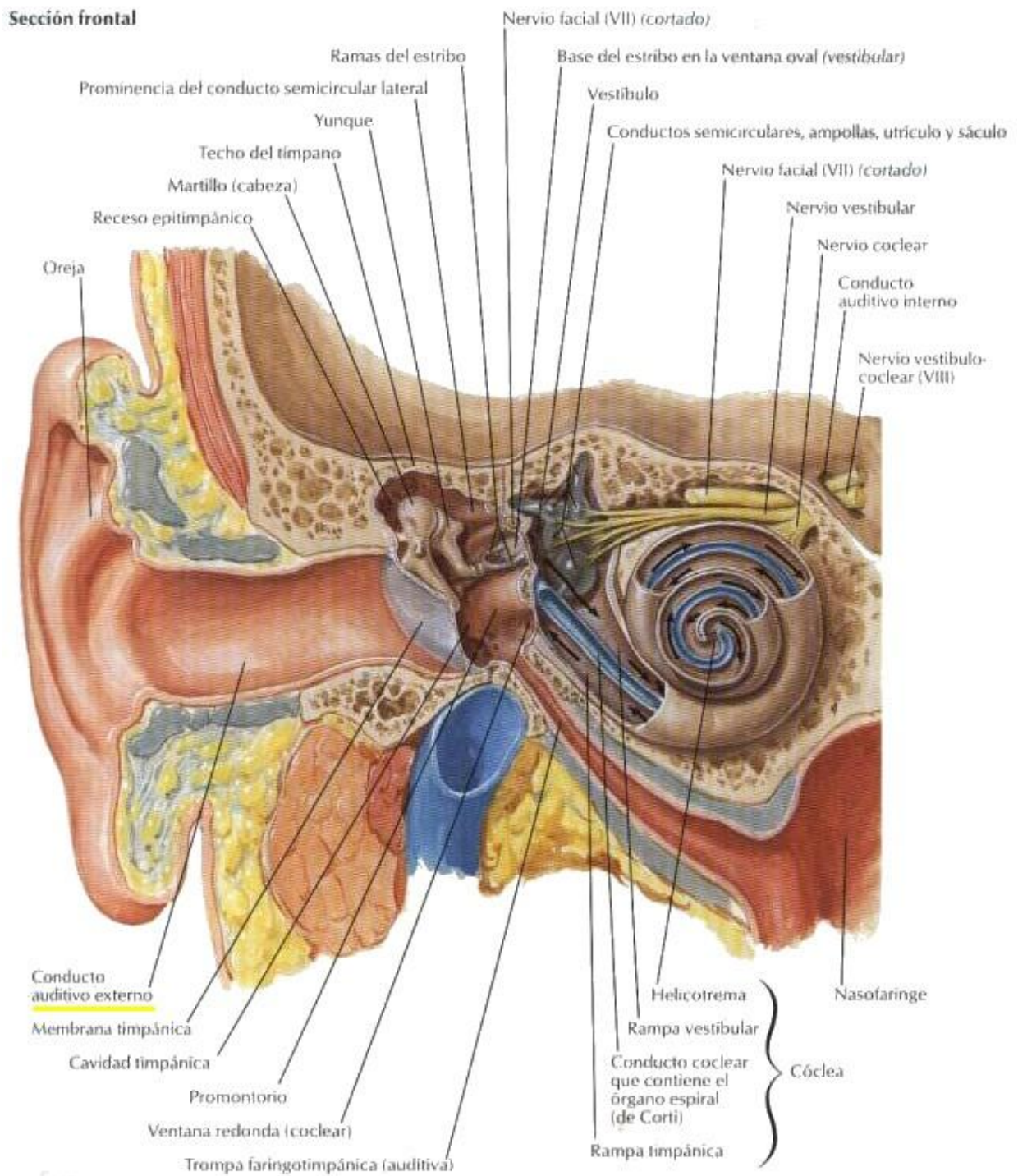


Fig. 60

I si considerem el conducte auditiu extern com un tub tancat per un extrem i obert de l'altre, d'uns 2'5cm a 3cm de longitud:

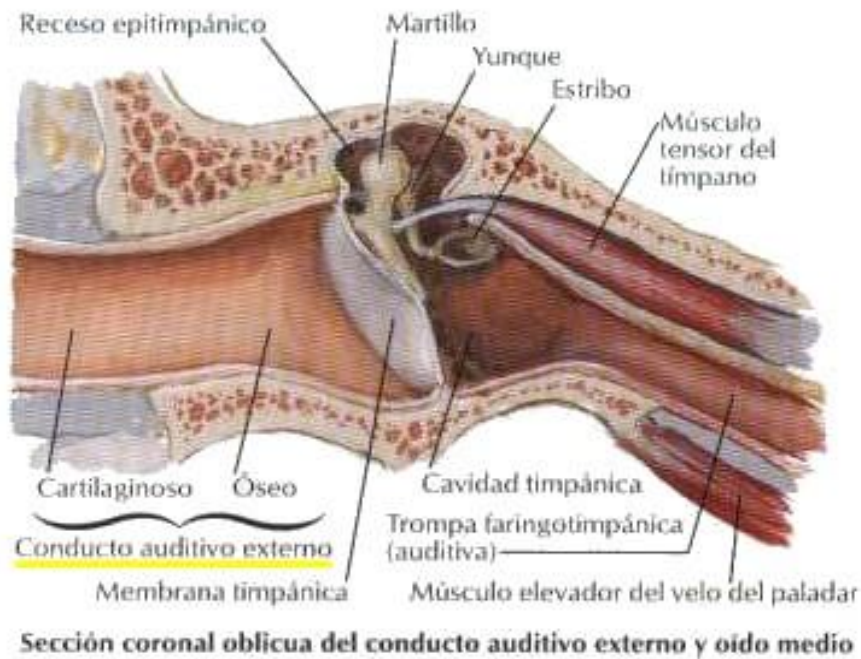


Fig. 61

tenim que les ones estacionàries que s'hi formarien serien d'una freqüència de:

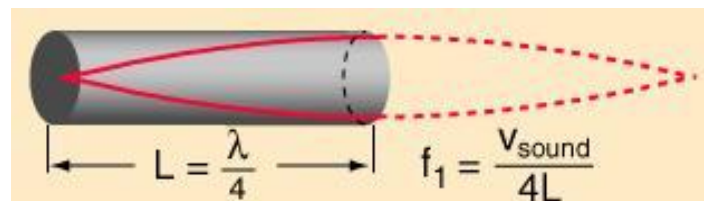


Fig. 62

$$L = 2'8\text{cm} (0'028\text{m})$$

$$\lambda = 0'112\text{m}$$

$$f = \frac{345 \text{ m/s}}{0'112\text{m}} = 3.080\text{Hz}$$

És a dir, que en el conducte auditiu extern ens permet també d'emfasitzar les freqüències al voltant dels 3KHz, que precisament corresponen al "singers formant", deduint que els cantants entrenats creen una forma de fer-se escoltar donant més energia a la zona freqüencial més fàcil de ser oïda.

Fig. 63



La manera amb què expressen els seus cants tradicionals els habitants de la República de Tuva, un país situat entre Sibèria i Mongòlia, també és ben curiosa. Aquest art vocal consisteix en un tipus de cant gutural (hoomej) segons el qual sembla com si cada cantant emeti dues notes simultànies, creant alhora dues

melodies per separat. Són himnes i epopeies que esdevingueren molt populars entre les tribus de l'Àsia Central a partir del segle XIII i que s'han mantingut fins els nostres dies, transmetent tot un món poètic de creació oral.

En escoltar aquestes cançons, dóna la impressió de percebre's un so greu que es manté bastant fix i uns harmònics aguts que es van movent, creant una segona veu que dibuixa una melodia tal qual una petita flauta o una ocarina.

Però el que succeeix és que aquests cantants disposen el tracte bucal de forma que creen un únic formant entre 1KHz i 2KHz, amb una Q molt estreta. Així doncs, van variant les notes (canten seguint una escala pentatònica) i van sintonitzat en aquest filtre estret l'harmònic que els interessa emfasitzar.

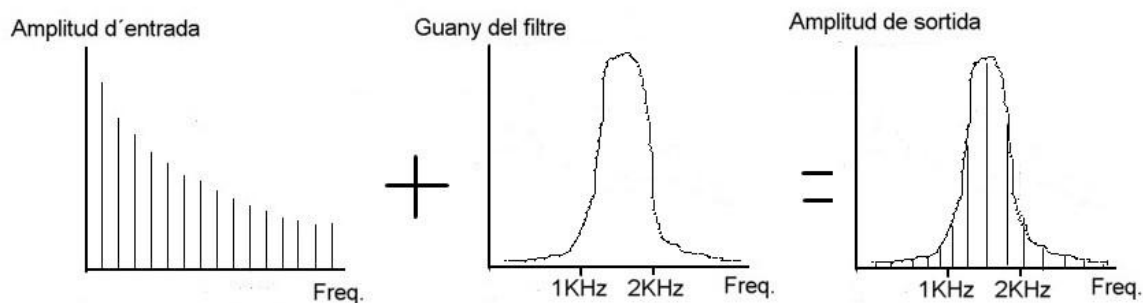
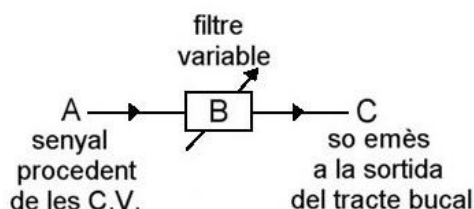


Fig. 64

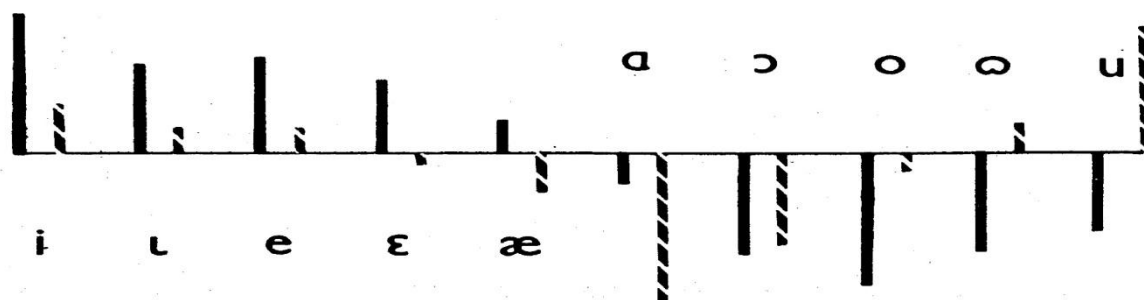


## 6. SÍNTESI DE VOCALS

L'any 1978, els doctors Peter Ladefoged, Richard Harshman, Louis Goldstein i Lloyd Rice, van presentar una tesi a partir d'analitzar quina era la posició de la llengua per a diferents fonemes. Des del Departament de Lingüística i el Laboratori de Fonètica de la Universitat de Los Àngeles, Califòrnia, van realitzar un estudi sobre 5 individus emetent 10 sons cadascun, i obtenint el perfil del tracte bucal a partir de raigs X i de cinefluorogrames. Van dividir el tracte bucal en 18 parts, marcant com a punt 1 el de la zona de la glotis i com a punt 18 el dels llavis. Alhora van elaborar-ne els sonogrames i van decidir estudiar només els 3 primers formants de les vocals d'alguns monosíl.labs (en anglès americanitzat), per veure si a partir d'aquest estudi es podria predir "a posteriori" cada vocal, i poder sintetitzar-les només a partir dels 3 primers formants.

De les informacions aconseguides van destacar-ne 50 instantànies, observant-hi la forma de la llengua per a cada vocal i la distància de la mateixa respecte al paladar. En el procediment van unificar els punts 1, 2 i 3, que corresponen a la base de la llengua (ja que per a aquest estudi no variava significativament en aquest punt), i es van processar les dades a través d'un algoritme anomenat Parafac, obtenint un valor fix per als infinits graus de mobilitat que té la llengua i quantificant-ne la posició amb tres paràmetres per a cada punt dels 16 analitzats.

Així doncs, van constatar que podien saber les formes de col·locar la boca i la llengua dels 5 individus emetent les 10 vocals, i que la posició articulatòria podia precisar-se mitjançant una fórmula matemàtica que seria la suma de tres valors, l'un de fix per a cada punt del tracte bucal respecte al paladar i que donava idea del grau d'obertura de la mandíbula i dels llavis, i dos valors més que es ponderaven de forma diferent per a cada vocal: l'un fent referència a la part anterior de la llengua i a com aquesta s'eleva o es baixa, i l'altre a la part posterior de la mateixa i a la seva elevació o no respecte a una posició de repòs.

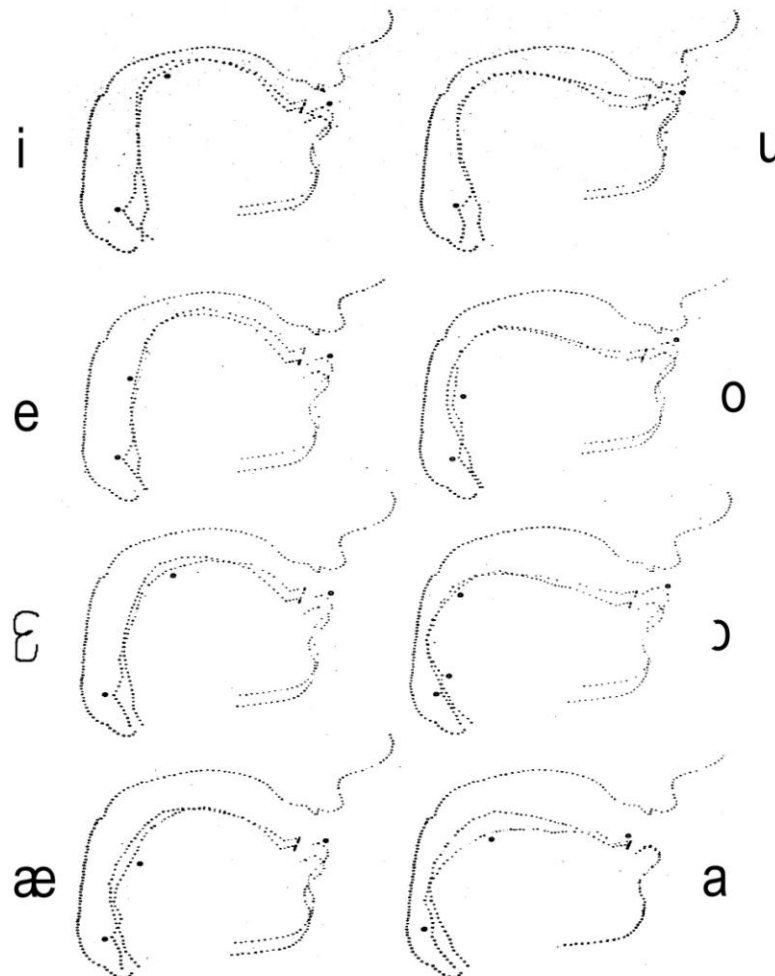


**The proportions of the front-raising component (solid bar) and the back-raising component (striped bar) required for ten American English vowels.**

Fig. 65

Amb aquest estudi es va apreciar que les vocals anteriors *i u e ε æ* s'articulen més pròximes entre sí que les posteriors, la qual cosa invertia els diagrames clàssics sobre l'articulació de les vocals. També es va observar que en les vocals posteriors, malgrat el fet d'articular-se més separades, el primer formant es compensa per l'acció constrictiva dels llavis, baixant-ne el valor com més arrodonits i tancats estiguin.

Posteriorment, van intentar establir una correlació entre les dades analitzades (sobre la disposició de la llengua i l'obertura de la boca) i les dades dels tres primers formants de cada vocal. Per això van elaborar un altre algoritme amb el qual es pogués calcular la forma del tracte bucal a partir dels valors dels formants F1, F2 i F3 obtinguts a partir dels sonogrames. Amb els resultats van poder predir un perfil del tracte bucal en cadascun dels 16-18 punts, podent dibuixar amb força precisió gairebé tots els tractes bucal per a totes les vocals, excepte en el cas de la "a", on fou necessària una correcció.



**The original measurements of the displacement of the lower surface of the vocal tract and the reconstructed vocal-tract shapes for speaker 3. Wherever there is a noticeable difference between the two shapes the original tract shape is indicated by a small o.**

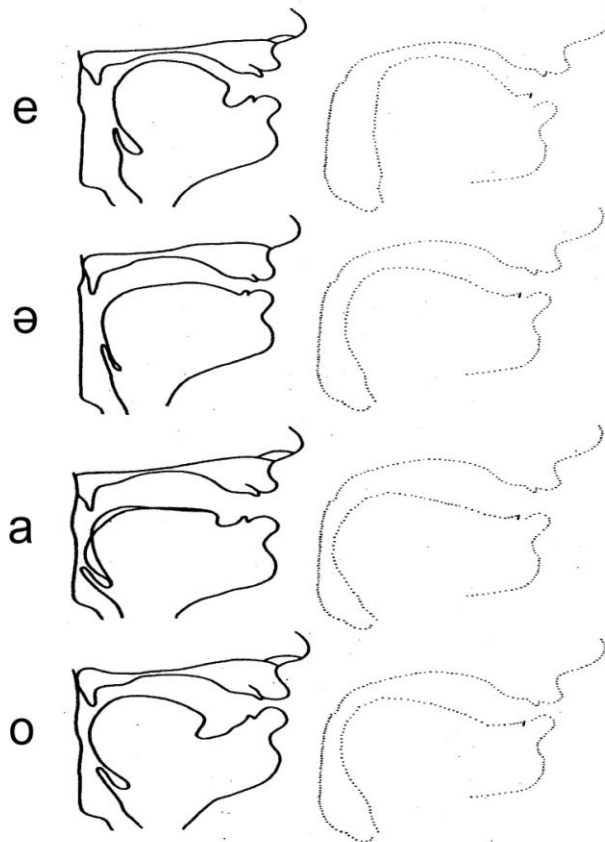
Fig. 66

Deduïren que l'error en l'emulació del tracte bucal per a la vocal "a", a partir dels 3 formants, podria ser deguda a una equivocació en l'enunciat de l'algoritme, o bé que aquesta vocal precisés de més dades per a ser sintetitzada.

De les seves investigacions, els científics esmentats van extreure'n noves conclusions:

- 1.- Aixecar la llengua a la part anterior condiona un augment de la freqüència del segon formant F2.
- 2.- El primer formant F1 només té efecte per a determinar el component de la zona anterior si aquest és comparativament baix (a nivell de freqüència).
- 3.- Les variacions de la freqüència del tercer formant F3 pràcticament no s'aprecien quan varien molt F1 i F2.

Els assaigs van continuar per confirmar que les prediccions s'acomplien també en altres individus. Així doncs van repetir l'experiència amb persones diferents, apuntant els formants de cadascú, obtenint el perfil bucal amb raigs X i predient amb l'algoritme proposat (i revisat) la forma del tracte bucal. Tot seguit es mostren en un gràfic alguns dels resultats obtinguts:



**Vocal-tract shapes during the pronunciation of four vowels as spoken by a speaker of British English on the left and the shapes recovered from the corresponding formant frequencies on the right.**

Fig. 67

A la imatge podem veure-hi, a la part esquerra, els perfils amb raigs X de la forma del tracte bucal de la persona sotmesa a l'experiment, i a la dreta el dibuix del mateix tracte bucal però calculat a partir dels formants primer, segon i tercer, obtinguts dels sonogrames de cada persona emetent una vocal concreta.

Es va observar a partir de les dades recopilades, que hi havia molta precisió en la previsió de la col·locació de la llengua (excepte en la vocal "a"), però que els perfils diferien a la zona dels llavis. Van seguir fent proves a diverses persones de diversos països, apuntant també petites variacions en la forma de la llengua quan els voluntaris eren de parla no anglesa, ja que els altres idiomes condicionaven la pronunciació. De tot plegat, però, van confirmar que la síntesi de veu era possible només a partir dels 3 primers formants i que l'algoritme proposat era força encertat.

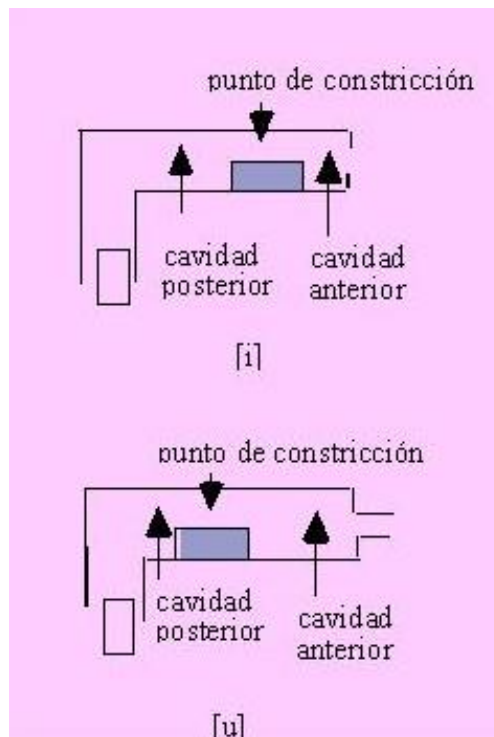


Fig. 68

NOTA: Altres estudis revel·laren que:

- 1.- L'augment de la longitud del tracte bucal fa baixar les freqüències de tots els formants.
- 2.- En arrodonir i tancar els llavis, totes les freqüències centrals de tots els formants disminueixen, i en obrir-los com si riguéssim augmenten.
- 3.- Una constricció a la boca fa baixar la freqüència del primer formant i augmenta la del segon.
- 4.- Una constricció a la laringe fa pujar la freqüència del primer formant i disminueix la del segon formant.

*Motlle del tracte bucal per a l'emissió de dos sons diferents, realitzat amb ordinador pel Dr. Brad Story.*

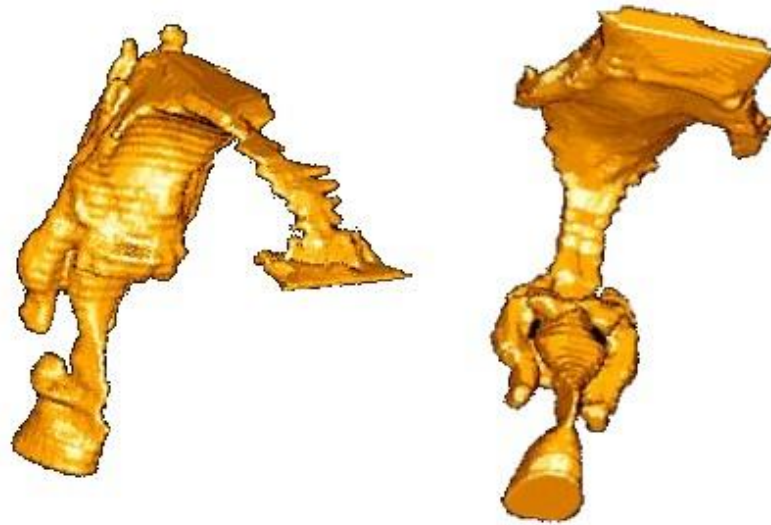


Fig. 69

Dels estudis realitzats per Peter Ladefoged, Richard Harshman, Louis Goldstein i Lloyd Rice es confirma que, coneixent les dades de les seccions del conducte bucal (en un nombre de punts prou significants) es pot obtenir la funció de transferència del tracte bucal actuant com a filtre acústic.

Aquesta funció de transferència serà similar a la d'obtenir la funció d'àrea per a cada secció del conducte bucal, en cada posició que s'articuli i serà més fiable quantes més seccions s'obtinguin.

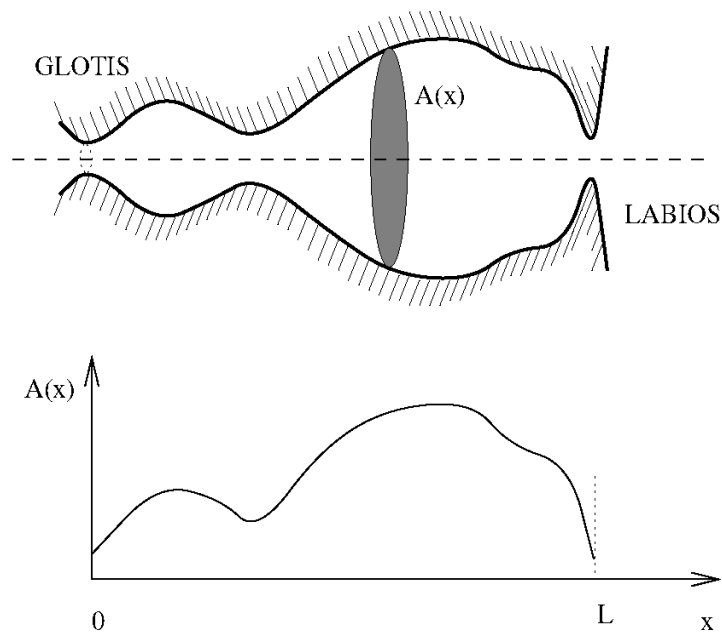
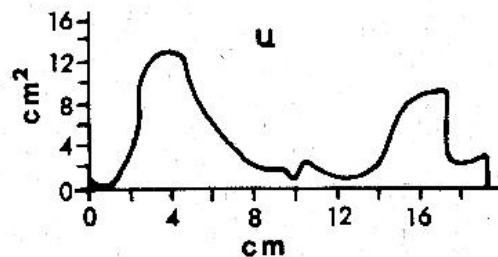
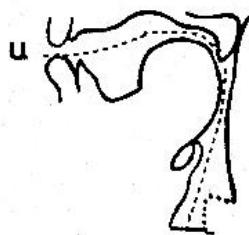
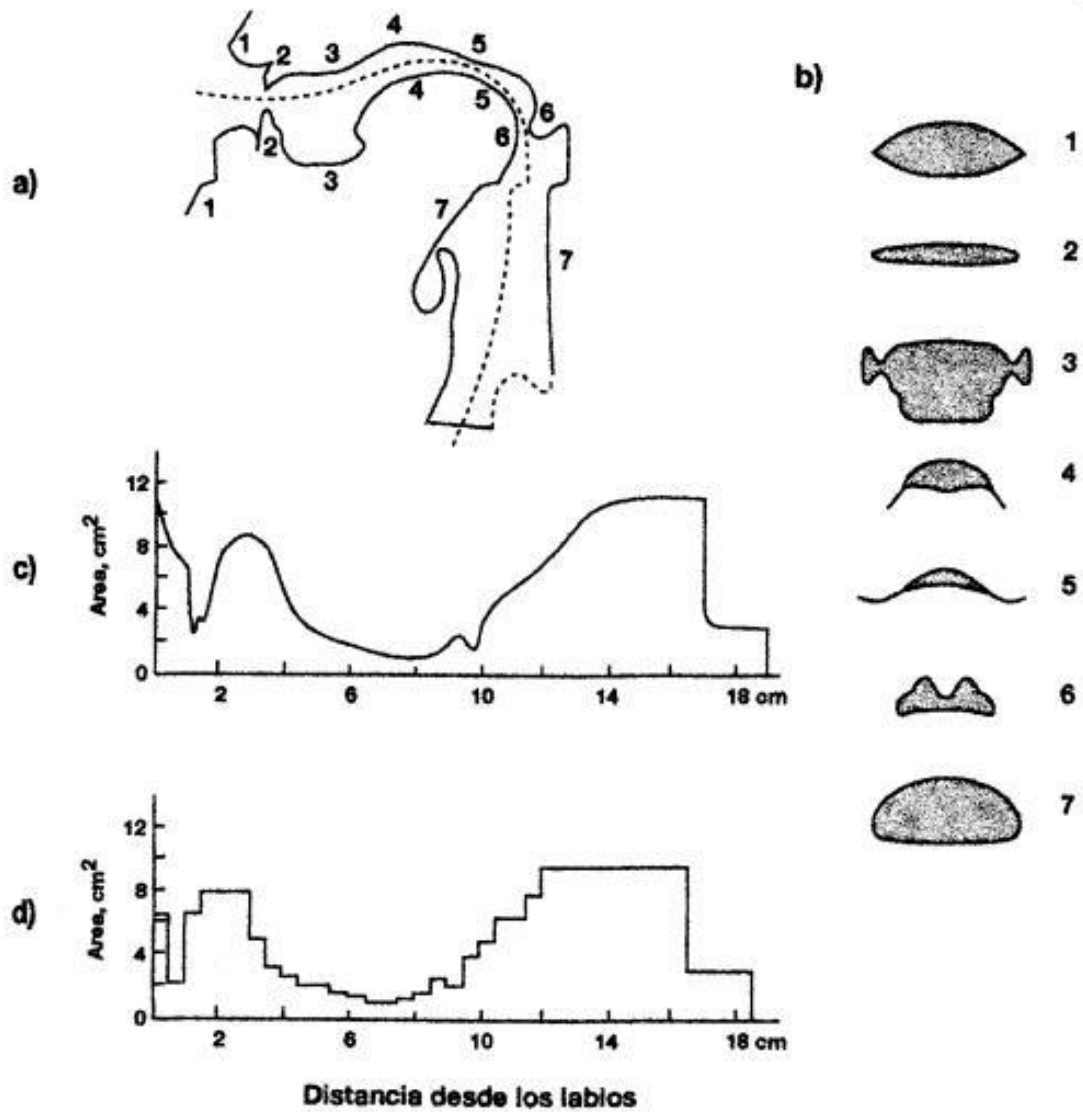


Fig. 70



Lateral view of the vocal tract and vocal tract area function for /u/. Note that there are two distinct cavities for this vowel. (Adapted from G. Fant: *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton, The Hague © 1970.)

Fig. 71

També podem realitzar l'estudi de les ressonàncies del tracte bucal com si aquest fos un resonador de Helmholtz

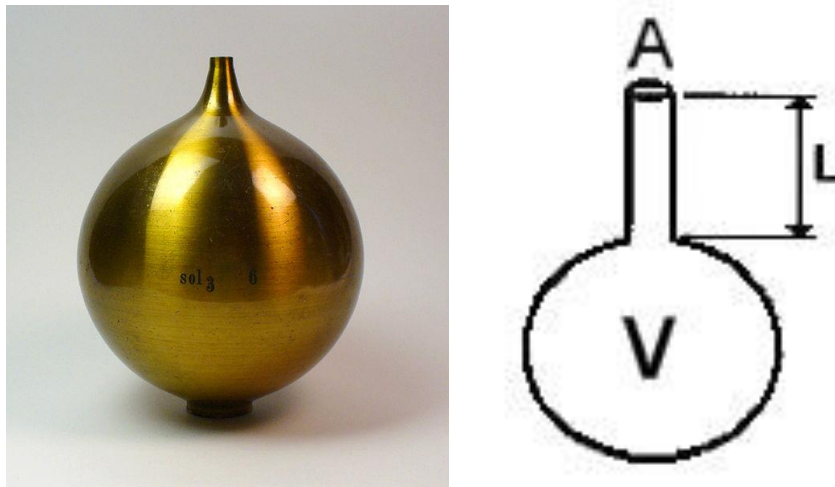


Fig. 72

Que recordem que ressona a la freqüència de:

$$f = (c/2\pi)(\sqrt{A/(L \cdot V)})$$

(c = velocitat del so)

I podriem considerar els formants com si fossin diversos resonadors de Helmholtz ideals acoblats, de forma que entre ells hi hagués una bona adaptació d'impedàncies per a no perdre energia en la transferència.



Fig. 73 (resonadors de Helmholtz de freqüències diferents)

Sigui quin sigui el model de filtre que escollim pel tracte bucal, tindrem que els espectres dels formants de les vocals tindran les envoltants aproximadament així:

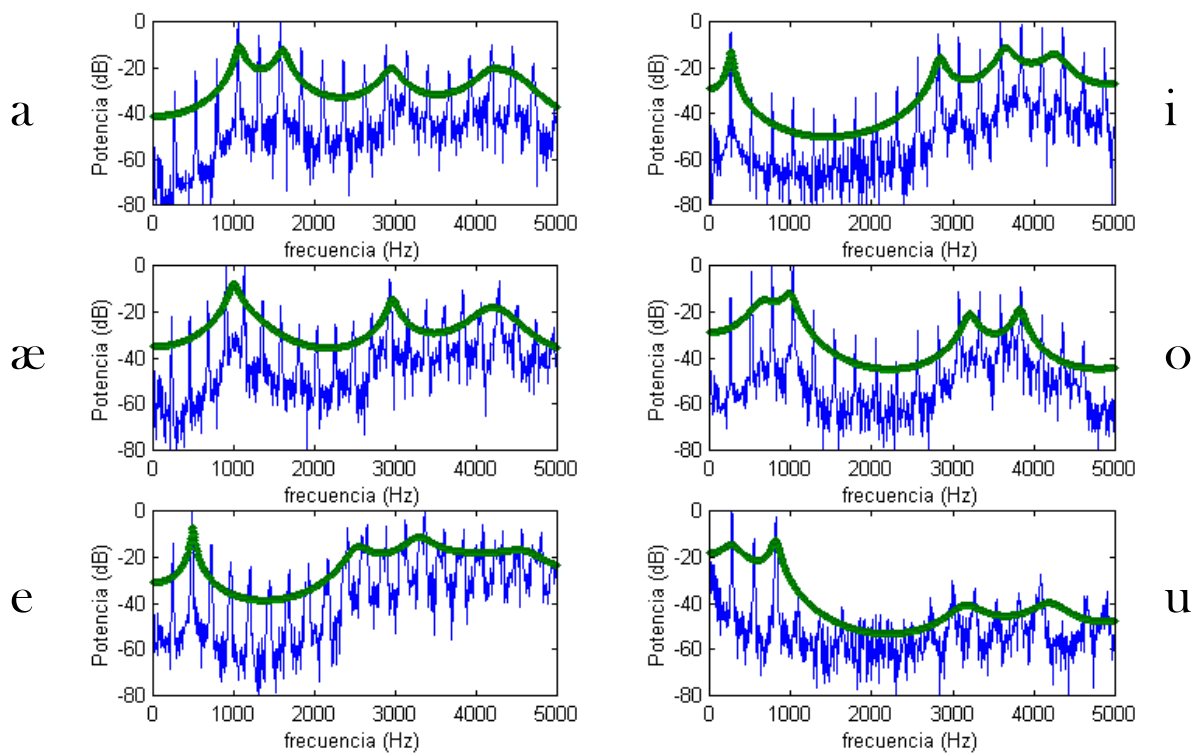


Fig. 74

O bé també podem marcar la zona freqüencial a on es situen el primers i segon formants, F<sub>1</sub> i F<sub>2</sub>, per a les vocals angleses segons els estudis realitzats per G.E. Peterson and H.L. Barney l'any 1952.

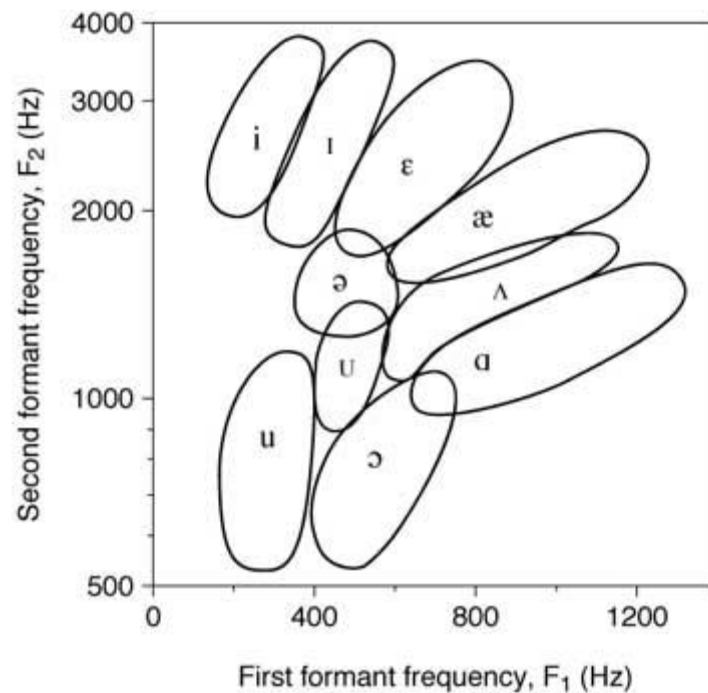


Fig. 75



S'ha comprovat que els valors de F1 i de F2 es modifiquen si les vocals van precedides d'una consonant determinada. En el següent gràfic ho podem apreciar, en aquest treball realitzat amb les vocals castellanes.

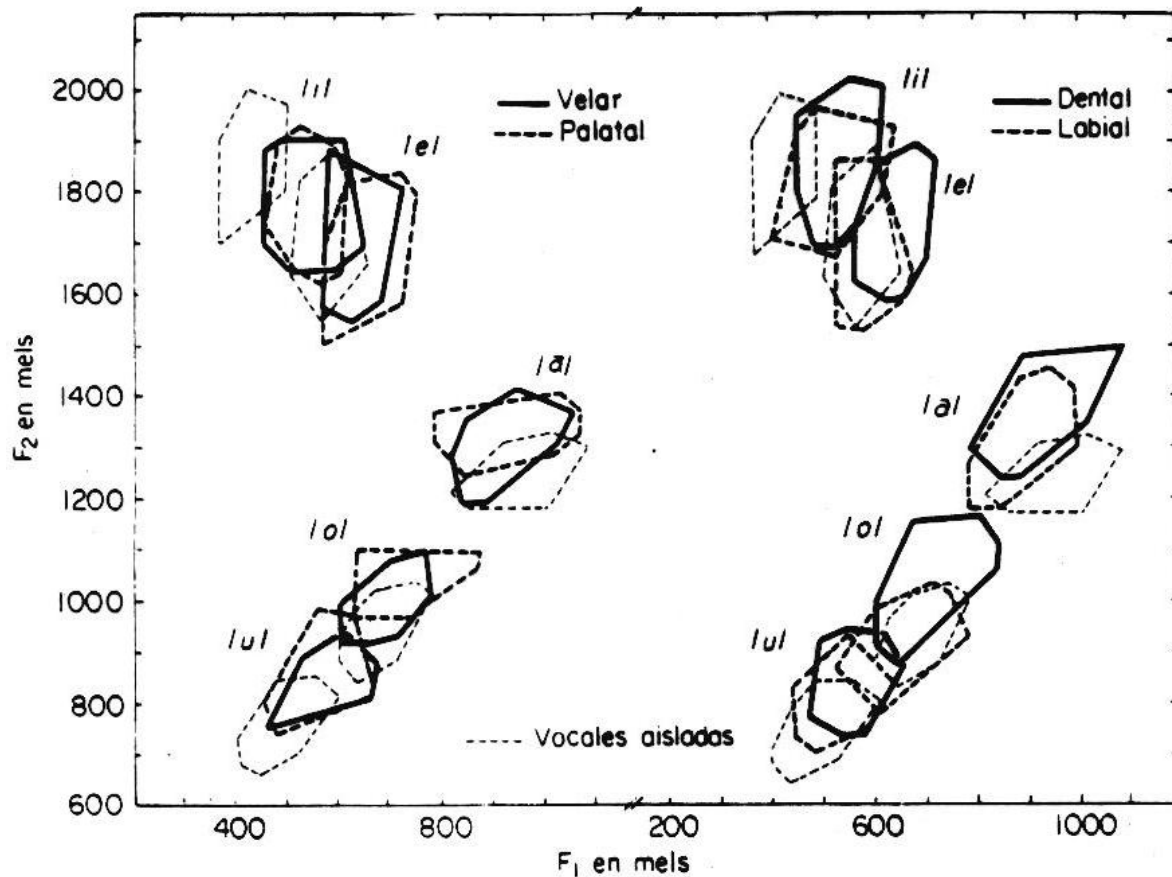


Fig. 76

Si continuem el nostre estudi ampliant el tracte bucal al tracte nasal degut a l'acoblament de la cavitat nasal a la bucal pel desplaçament del vel del paladar, veurem que apareix un nou formant situat al voltant dels 2.000-2.500Hz, que és la zona que caracteritza el so nasal.

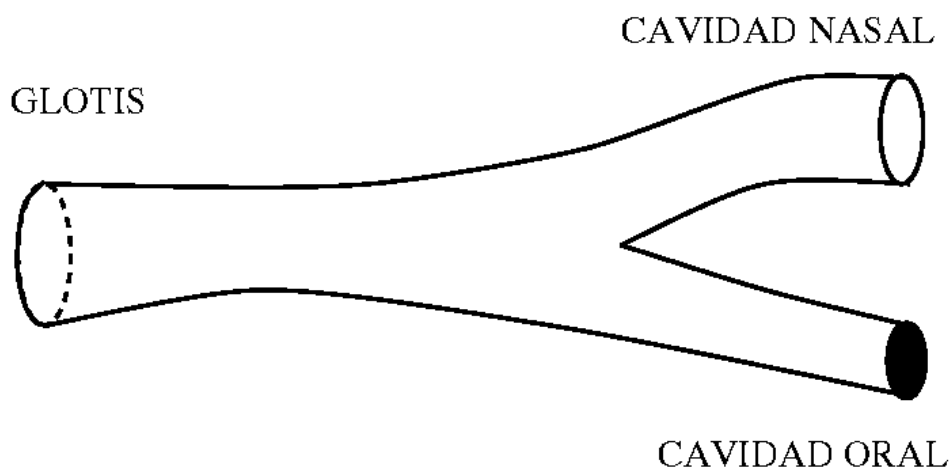


Fig. 77

Segons les observacions que Zwitman (1974) realitzà a 34 individus, va descobrir que per als fonemes no nasals el tancament velar no és total, és a dir, que part del so es deriva vers la ressonància nasal. Així doncs, Zwitman va concloure el seu estudi deduint que l'acoblament del tracte bucal amb la ressonància nasal es produeix gairebé sempre.

Un altre científic, Sundberg, va descobrir l'any 1977 que probablement en la veu cantada la cavitat nasal tingui un rol més important en la producció de les vocals, fins i tot quan aquestes no estan precedides ni van seguides d'un so nasal.

La cavitat nasal té una funció molt important en el processat de l'aire que entrarà als pulmons, i és que d'una banda el depura, de l'altra l'escalfa i també l'humidifica. Per poder realitzar-s'hi aquestes tasques trobem que a dins de la cavitat nasal hi ha molta superfície disposada en plects. I aquests replegaments són els que provoquen moltes ressonàncies quan el so hi entra degut a l'acció muscular sobre l'obertura velofaríngia.

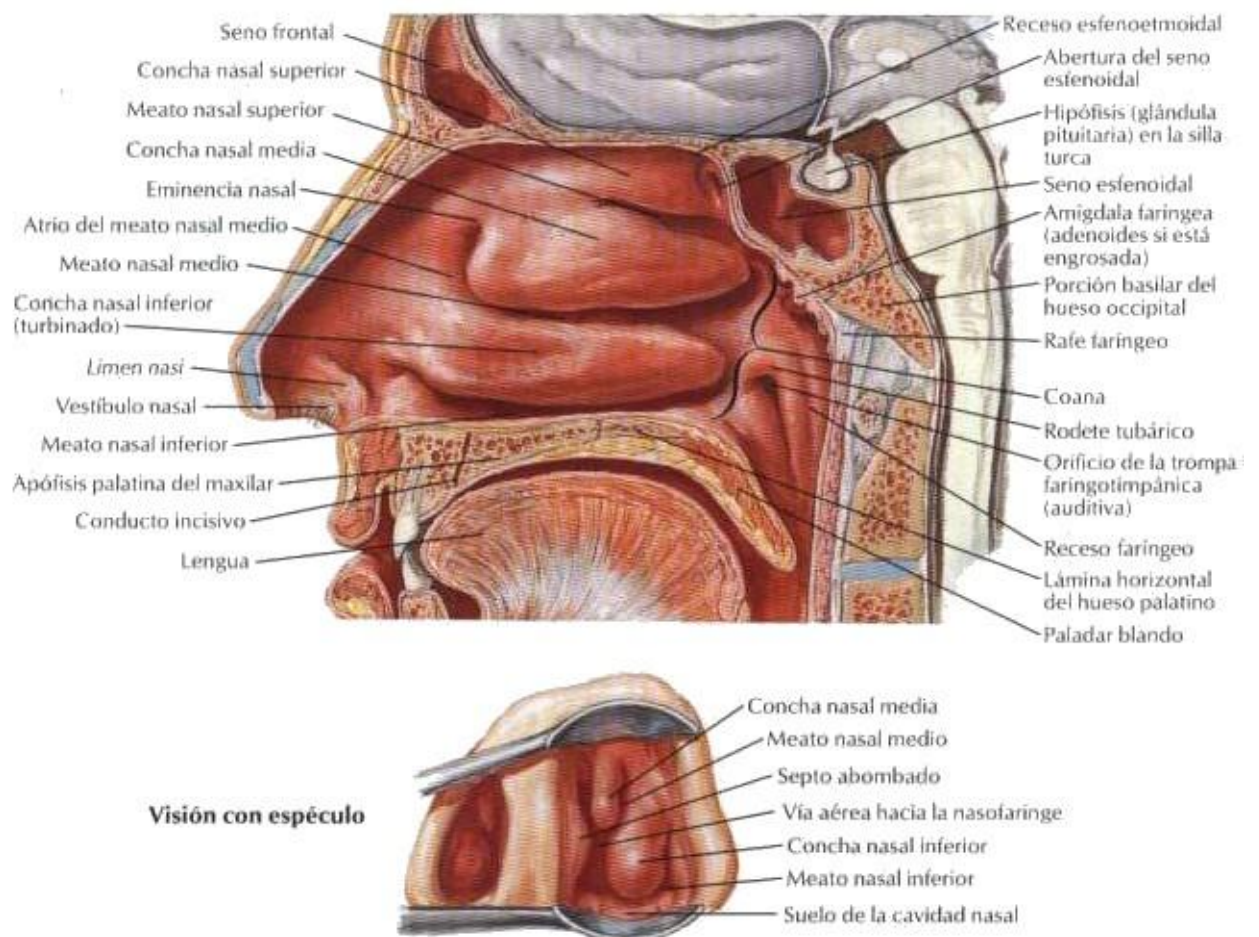
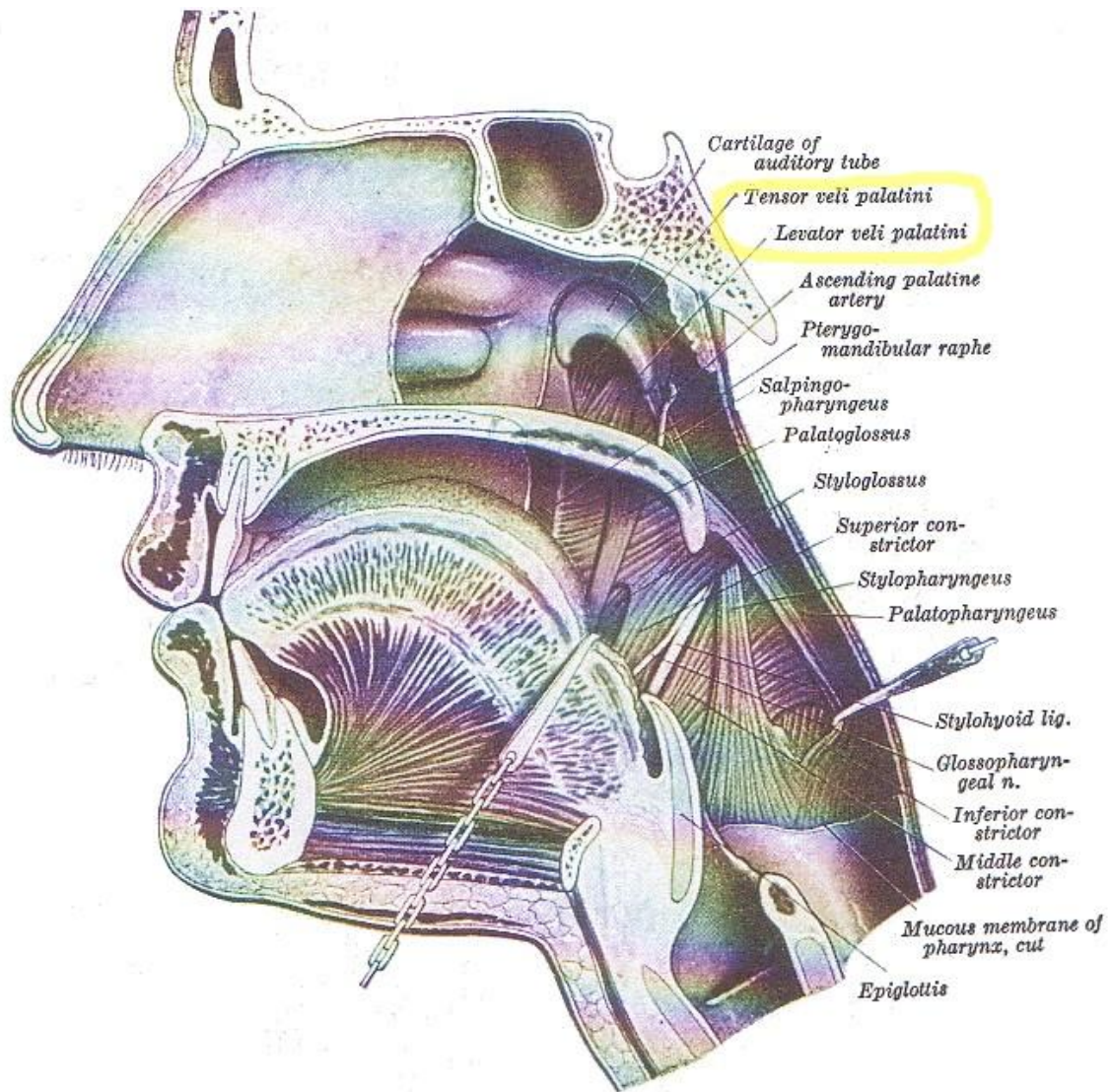
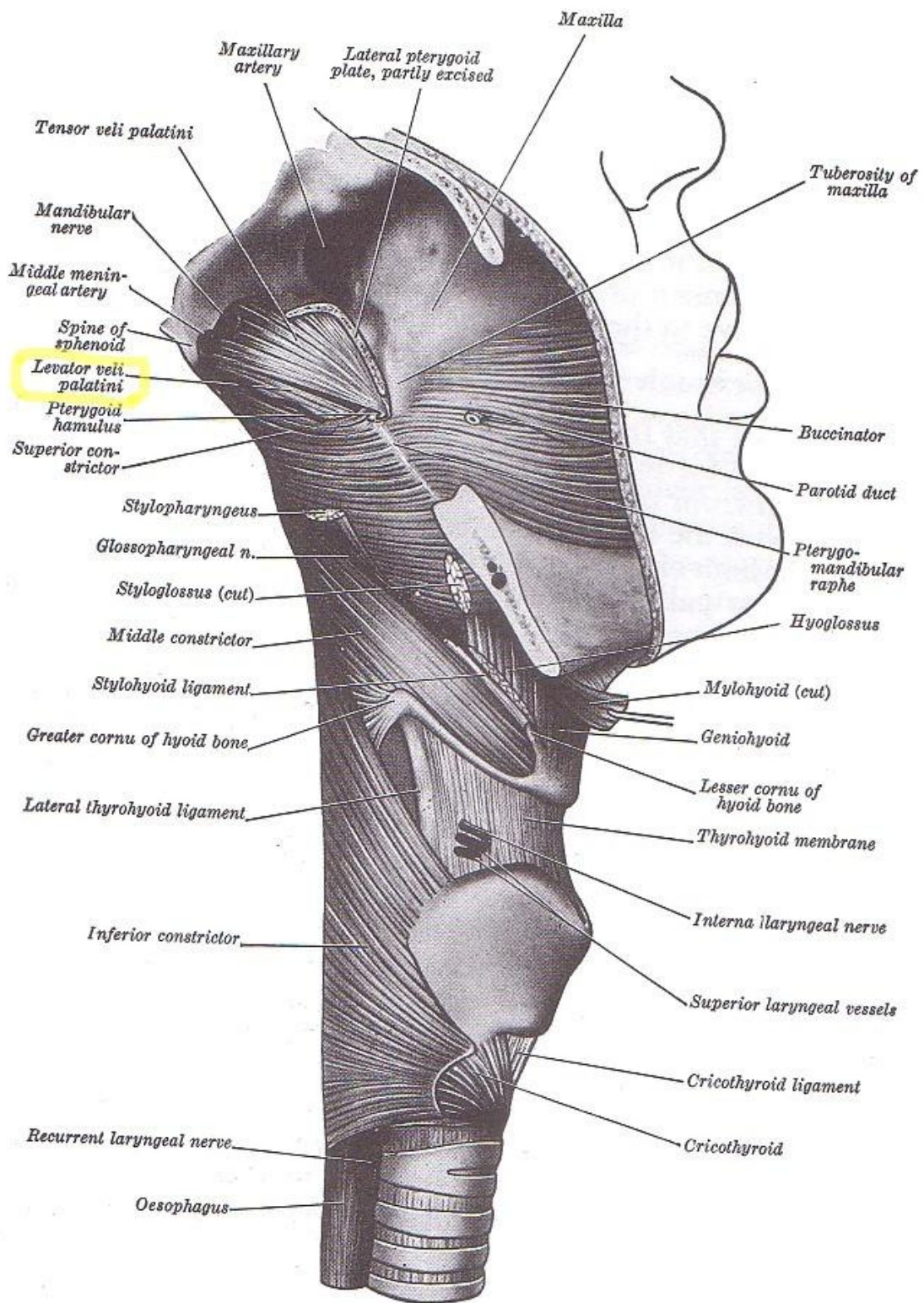


Fig. 78



Median sagittal section of the head showing a dissection of the interior of the pharynx after the removal of the mucous membrane. (In order that the structures may be displayed satisfactorily, the bodies of the cervical vertebrae have been removed and the cut posterior wall of the pharynx then drawn backward and laterally. The palatopharyngeus is drawn backward to show the upper fibers of the inferior constrictor, and the dorsum of the tongue is drawn forward to display a part of the styloglossus in the angular interval between the mandibular and the lingual fibers of origin of the superior constrictor. (From *Gray's Anatomy*, 36th ed., ed. by Peter L. Williams and Roger Warwick, 1980. Edinburgh: Churchill Livingstone. By permission.)

Fig. 79



The buccinator and the muscles of the pharynx. (From *Gray's Anatomy*, 36th ed., ed. by Peter L. Williams and Roger Warwick, 1980. Edinburgh: Churchill Livingstone. By permission.)

Fig. 80

## **7. L'ARTICULACIÓ DE LA PARLA**

En l'articulació de les paraules hi intervenen els llavis, la mandíbula, la llengua, les galtes, el vel del paladar, la faringe i també les cavitats nasals com a ressonadors bàsics per a algunes consonants molt concretes.

Cada fragment de la paraula és un element fònic o fonema. En els fonemes hi trobem sons formats per vocals i consonants.

Les CV poden produir les vocals, així com algunes consonants sonores i sordes.

Les consonants poden classificar-se segons el lloc a on es produeixen o bé segons el modus d'articulació.

### CONSONANTS

#### A) Segons el modus d'articulació:

- Oclusives (b, d, g, p, t, k)
- Fricatives (s, f, z, x, y)
- Africades (sh)
- Nasals (m, n, ny)
- Líquides laterals (l, ll)
- Líquides vibrants (r, rr)

#### B) Segons el punt d'articulació:

- Bilabials (b, m, p)
- Labiodentals (f)
- Linguodentals (t, d)
- Linguointerdentals (z)
- Linguoalveolars (s, n, l, r, rr)
- Linguopalatals (sh, ny, ll)
- Linguovelars (k, g, x)

Les consonants oclusives i parcialment també les fricatives, modifiquen la col·locació dels formants de les vocals que els acompanyen.

Les bilabials provoquen una disminució dels formants de les vocals que les circumden, per l'acció de tancar els llavis.

Les linguovelars fan variar els formants de les vocals que les continuen.

Les linguoalveolars no interfereixen massa en els formants de les vocals.

Podem trobar un altre tipus de classificació segons el tipus d'ona que es produeixi en articular un fonema:

A) Fonemes estacionaris:

- Vocals: /a/ /e/ /i/ /o/ /u/
- Consonants sonores: /l/ /ll/ /r/ /m/ /n/ /ny/
- Consonants fricatives: /s/ /sh/ /ss/ /z/ /f/ /j/

B) Fonemes no estacionaris:

- Oclusives sordes: /p/ /t/ /k/
- Oclusives sonores: /b/ /d/ /g/

### Espectres de les consonants sonores

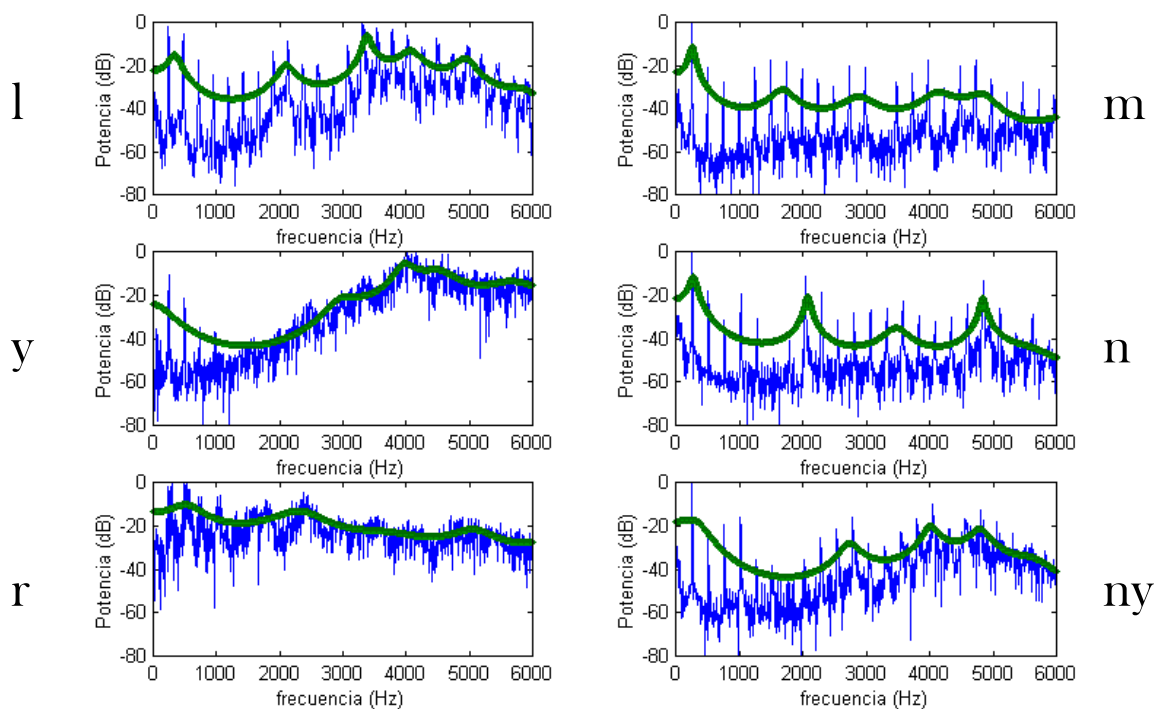


Fig. 81

Dades obtingudes pel Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores - UGR 2002

## Espectres de les consonants fricatives

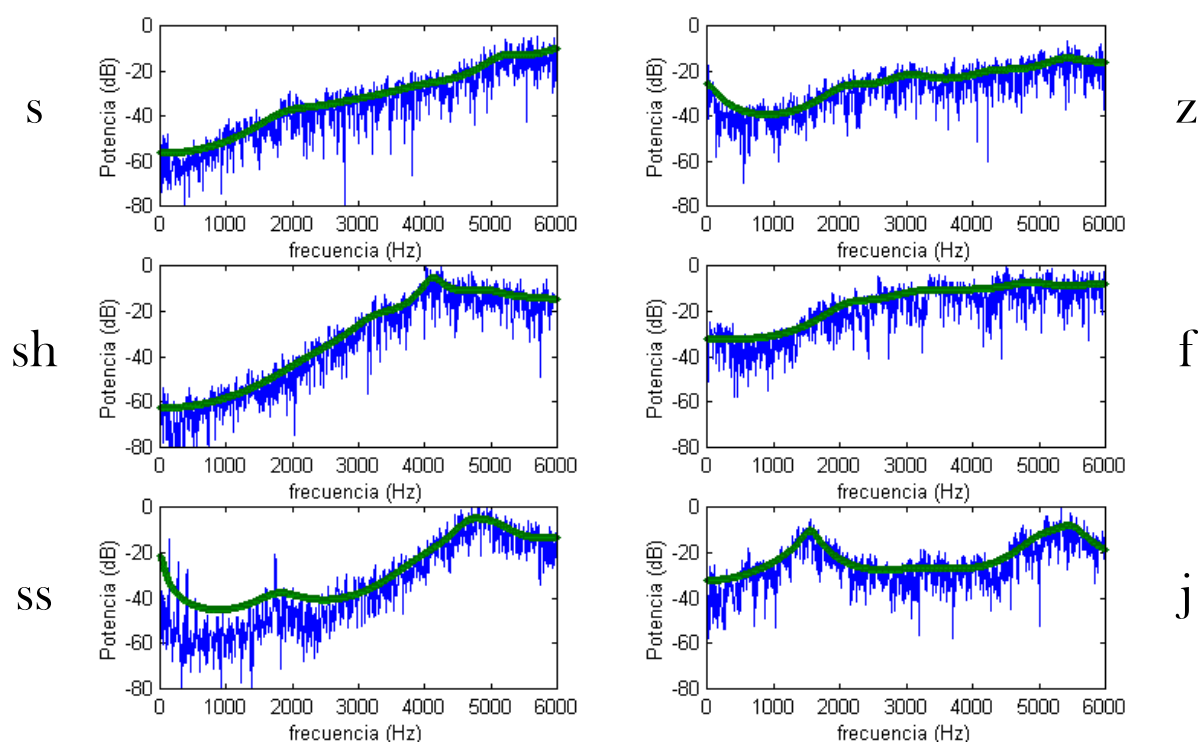


Fig. 82

Dades obtingudes pel Departament de Electrónica y Tecnología de Computadores - UGR 2002

La consonant fricativa "j" tendeix a emmascarar el primer formant de la vocal que la succeeix.

Es considera que en el fragment de temps que dura un fonema (entre 20ms i 40ms) aquest manté un comportament quasi estacionari, i que les variacions del tracte bucal en l'articulació de paraules són tan ràpides que es pren com a promig la **velocitat de pronunciació** d'entre 5 a 20 fonemes/segon.

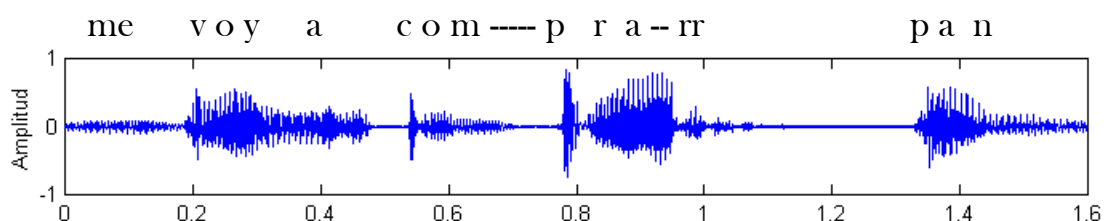


Fig. 83

Dades obtingudes pel Departament de Electrónica y Tecnología de Computadores - UGR 2002

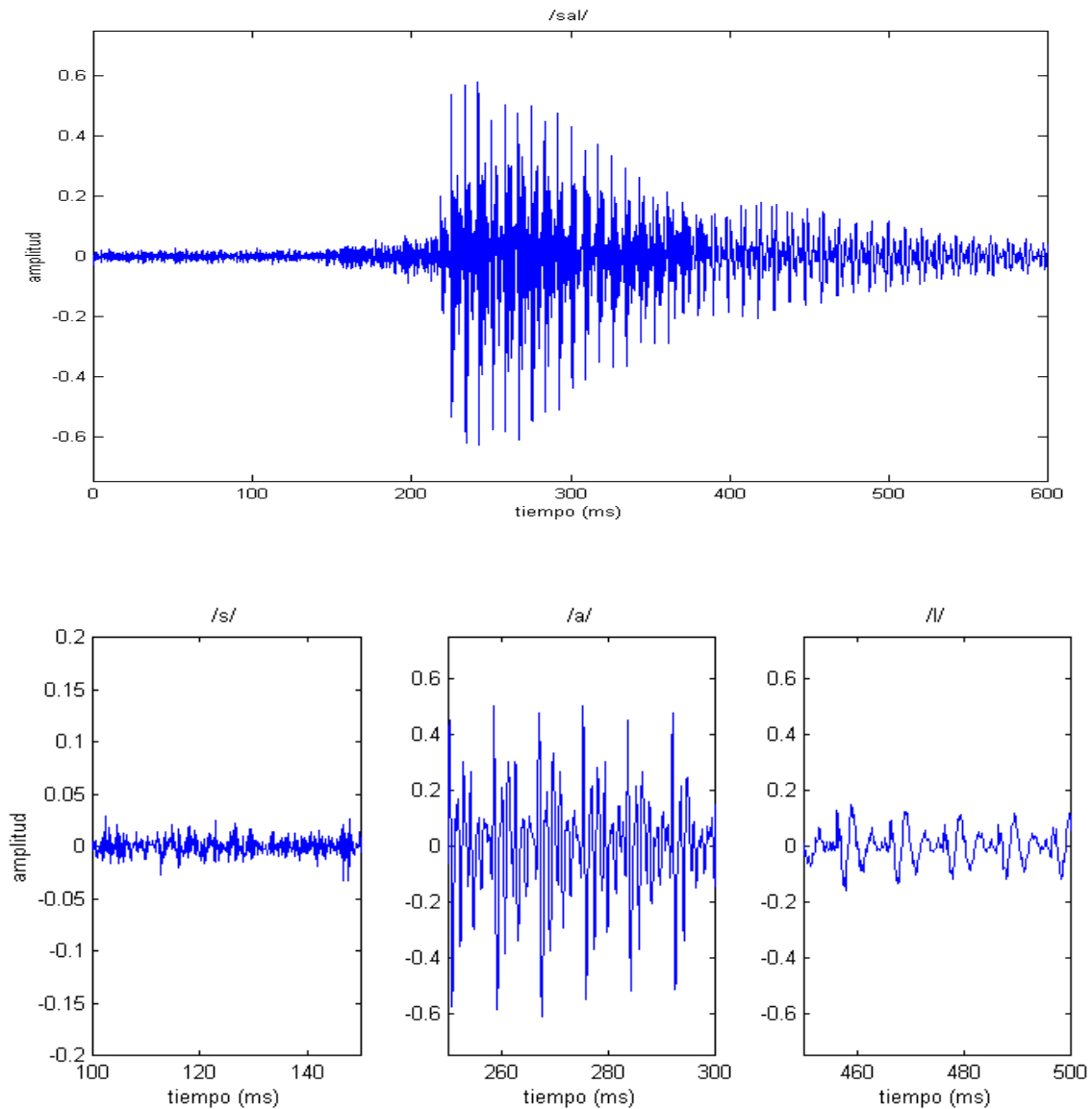


Fig. 84

Dades obtingudes pel Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores - UGR 2002

També podem classificar els elements de la parla segons la forma de producció del so:

- Per vibració
- Per escapament
- Per explosió

i descriure per a cada cas a on es situa el so (vel del paladar, glotis, llavis, dents, etc.) i fins i tot exposar si el so és vocalitzat o "sonoritzat" segons la consonant vagi precedida o seguida de vocal.



De tot plegat deduïm que la forma de sintetitzar la veu comptant amb tots els elements de la parla es complica.

Un model molt simple de sintetitzador de fonemes podria ser el del següent esquema:

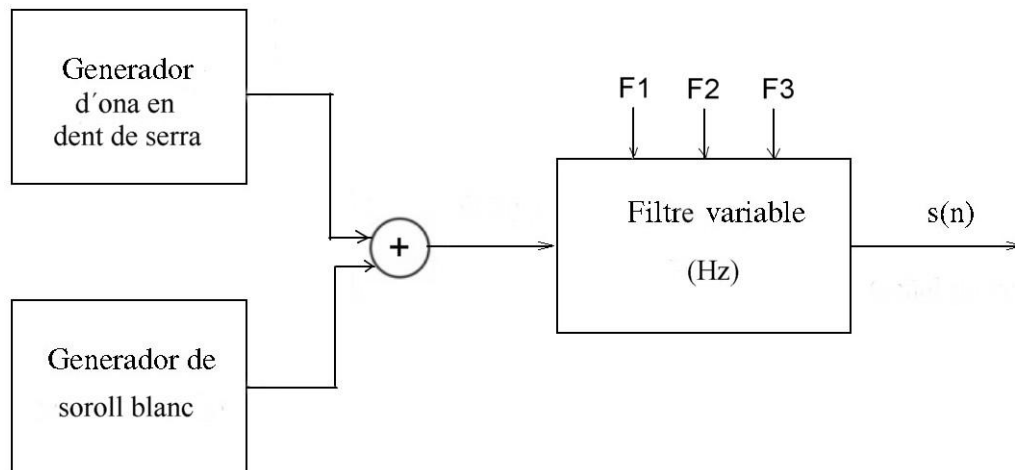


Fig. 85

Avui en dia, però, la síntesi de veu s'efectua a partir d'utilitzar moltes mostres de fonemes dits per individus diversos i emmagatzemats en una memòria d'accés molt ràpid, seleccionant-ne de forma molt dinàmica mitjançant un programa la mostra més idònia del fonema per a cada instant, segons la paraula que es vagi construint i els fonemes que ja s'hagin produït. La complexitat d'aquests codificadors s'ha incrementat encara més amb la tecnologia digital, podent-se obtenir excel·lents aparells que emulen la veu amb molta fiabilitat, fins i tot seguint les varietats idiomàtiques que cada llengua presenta.

## **S. MISCEL·LÀNIA**

### TIMBRE DE LA VEU

En l'anàlisi dels espectrogrames i dels sonogrames de la veu s'hi poden identificar uns sis o set formants, i com més puja la freqüència més es complica la visualització clara de la resta de concentracions d'energia en cada zona de freqüències per a cada instant, ja que l'energia global dels harmònics o parcials tendeix a disminuir. Tal i com hem vist, els tres primers formants donen informació sobre l'articulació, mentre que la resta ens indicaran qualitats del timbre de la veu.

El timbre de la veu depèn de moltes variables, com per exemple, la morfologia del cap, l'educació vocal, la tonicitat laríngia, el gènere de l'individu, algun tipus d'hormones, els hàbits apresos, la salut de les CV, l'estat anímic, etc., i tot i que és característic de cada persona, varia en les etapes de la vida.

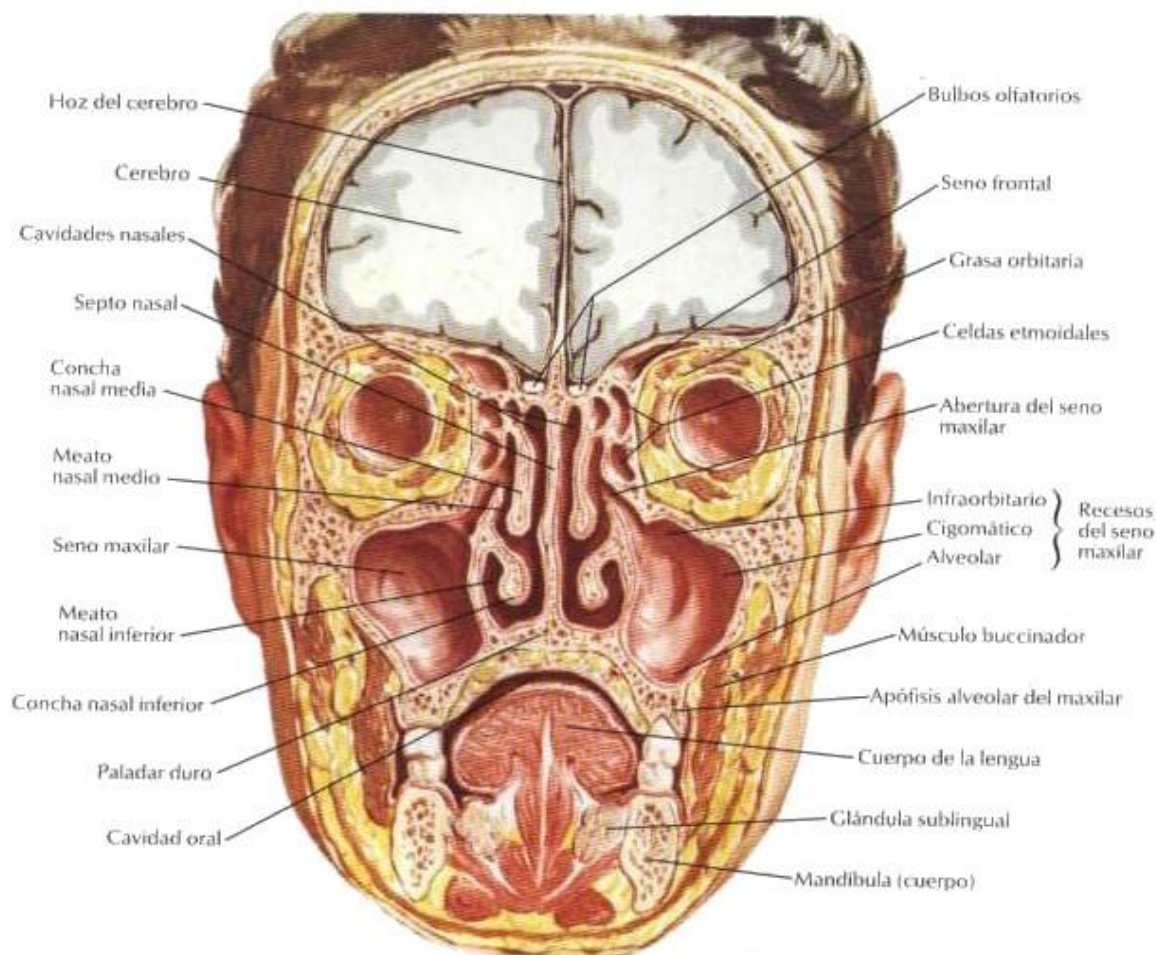


Fig. 86

### MÀSCARA DE LA VEU

En la tècnica vocal es parla de "col·locar la veu a la màscara" quan es canta o es parla (en el cas d'alguns actors) i, per l'acció de contraure una sèrie de músculs facials (veure fig. 87) mentre es realitza la cobertura del so (recordar fig. 38), s'aconsegueix "sintonitzar" un formant, emfasitzant l'energia dels aguts. La vibració al tracte bucal i nasal es transmet vers la zona de la cara que correspondria a la part alta de les galtes on, la sensació propioceptiva és molt accentuada. Alguns cantants, com per exemple el gran Caruso, han assegurat notar unes ressonàncies a la zona dels sinus cranials (fig. 88), però les mesures realitzades en aquests punts no han permès assegurar que aquestes petites "cambres" ressonin a freqüències que modifiquin el so emès.

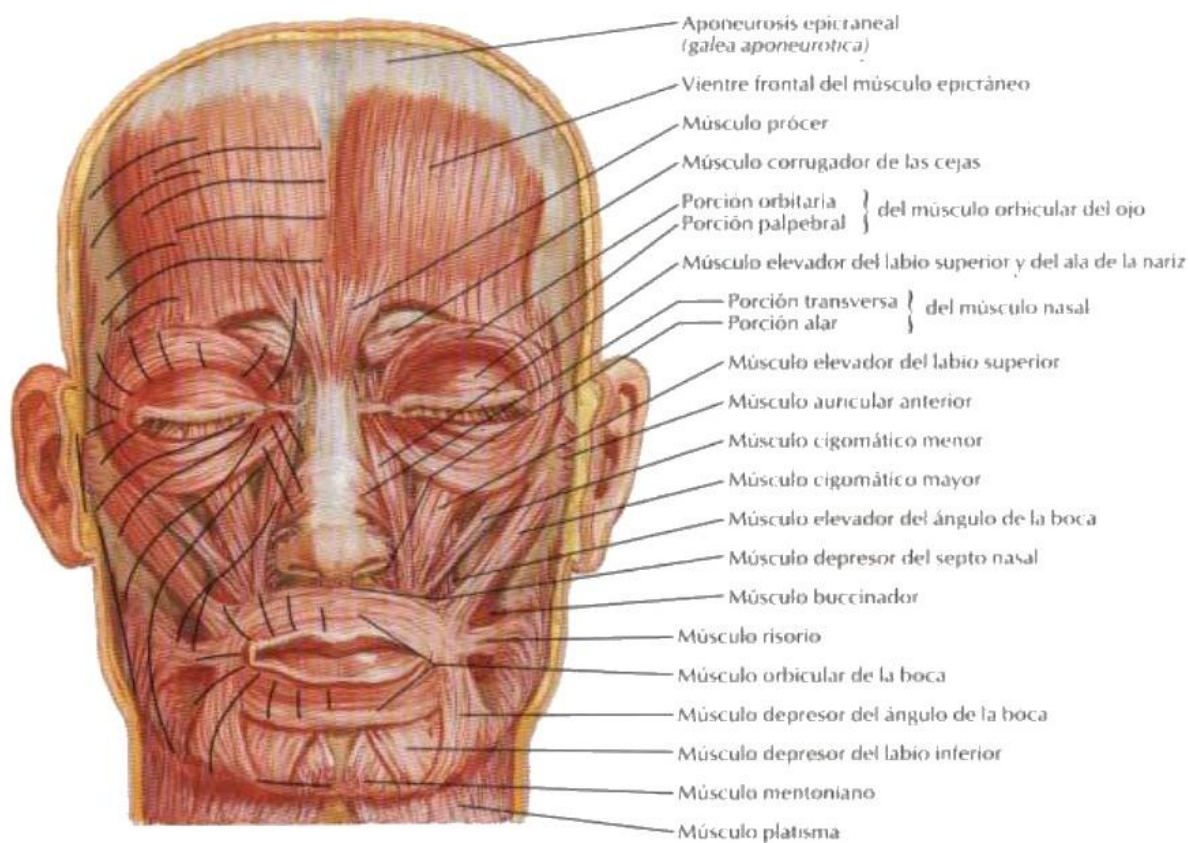


Fig. 87

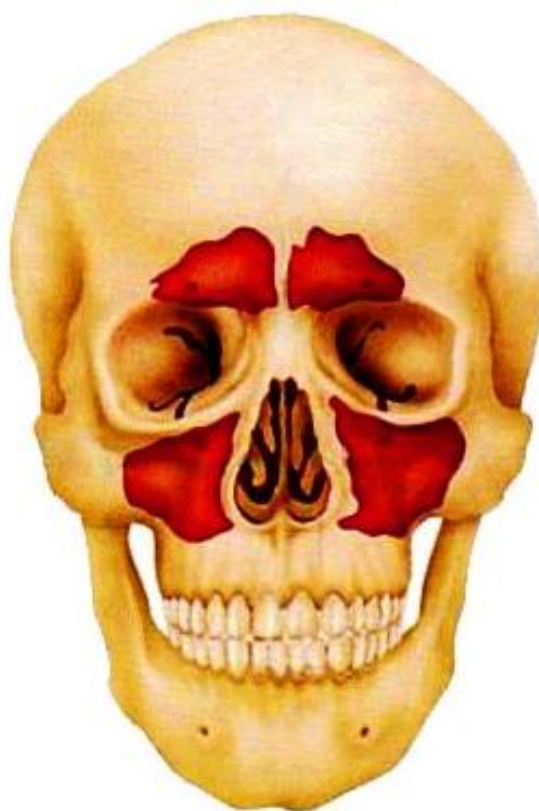


Fig. 88

## VIBRATO

En l'emissió de la veu cantada pot donar-se el cas d'efectuar una modulació de baixa freqüència del so que es produeix a les CV tant en amplitud com en freqüència. Aquest fet ocorre per una fluctuació voluntària que alguns cantants efectuen de la laringe, pujant-la i baixant-la amb una oscil·lació d'entre 5 i 7 vibracions/segon. Aquest moviment afectaria l'ona sonora modulant-la en freqüència i amplitud.

## "CHEVROTAGE"

Sona com un bel d'un xai o d'una cabreta i es dona en alguns cantants sense entrenament, sovint cantants tradicionals amb veus molt fluïxes, quan volen cantar fort i contrauen massa els músculs de la zona del coll. Això els provoca una tensió excessiva a les CV, responent mecànicament d'una altra forma de la que desitgen.

## INTEL·LIGIBILITAT DE LA VEU

Segons proves d'audició realitzades amb paraules sense sentit, s'ha comprovat que els marges freqüencials per a la intel·ligibilitat de la veu es situen entre uns 400Hz i els 3000Hz. Així doncs, en alguns sistemes que utilitzen aquests límits per a transmetre la veu, com per exemple via telefònica, l'oïda humana no escolta les freqüències fonamentals de la veu en molts dels casos. Però degut a un fenomen psicoacústic, el cervell pot "recrear" la imatge acústica d'aquests sons refent-ne les fonamentals a partir de la percepció dels seus harmònics i així completar la percepció del so. Aquest fet ocorre degut a que l'òrgan de Corti (situat a l'oïda intern) capta els harmònics i envia la informació al cervell, i junts formen un complex centre de processat de senyal, permetent reconstruir els sons que no tenen fonamentals a partir dels seus harmònics i de les proporcions entre ells.

## PÈRDUES PER VISCOSITAT, ELASTICITAT, CONDUCCIÓ TÈRMICA EN L'AIRE, ABSORCIÓ AL TRACTE BUCAL I ALS ALTRES RESSONADORS, LA DIRECTIVITAT DE LA RADIACIÓ SONORA, ETC.

En l'estudi realitzat s'ha considerat, gairebé en tot moment, que les pèrdues per diverses causes eren nul·les, idealitzant els models per tal de facilitar-ne l'exposició. Així doncs no s'han tingut en compte ni l'absorció deguda a les parets del tracte bucal i nasal, ni els rebots que aquestes provoquen en el so, ni la directivitat quan l'ona sonora surt enfora del cap, etc. S'ha de considerar, però, que la realitat és força complexa i que, fins i tot, les malalties, atrofies o disfuncions de qualsevol part del tracte bucal o de les CV, també poden introduir noves variables que modifiquin les consideracions de l'estudi.

## **9. LA RESPIRACIÓ**

En aquest apartat s'esmenta breument quina és la musculatura que intervé en la respiració, que també actua com a "manxadora" i dosificadora de l'aire en la producció de la veu. Té prou importància com per a fer-ne esment en aquest tractat, tot i que no es desenvoluparà un estudi complet sobre el tema ja que això suposaria també analitzar la postura "correcta" del cos i proposar exercicis pràctics tant de respiració com de postura i d'estiraments. Així doncs, tot seguit es citen de forma breu els principals músculs respiratoris.

### **ELS CINC GRUPS DE MÚSCULS RESPIRATORIS**

- 1.- Els músculs elevadors del tòrax (els escalens i l'esternocleidomastoïdeo). Són músculs inspiratoris.
- 2.- Els músculs espinals o dels canals vertebrals. Són músculs inspiratoris accessoris.
- 3.- Els músculs intercostals. Uns són inspiratoris i els altres espiratoris.
- 4.- El diafragma. És el principal múscul inspiratori.
- 5.- Els músculs abdominals. Són músculs espiratoris.

#### **1.- MÚSCULS ELEVADORS DEL TÒRAX**

**ESCALENS.** Són músculs oblics que s'estenen entre les vèrtebres cervicals i les primeres i segona costella.

- Escalè anterior.
- Escalè mitjà.
- Escalè posterior.

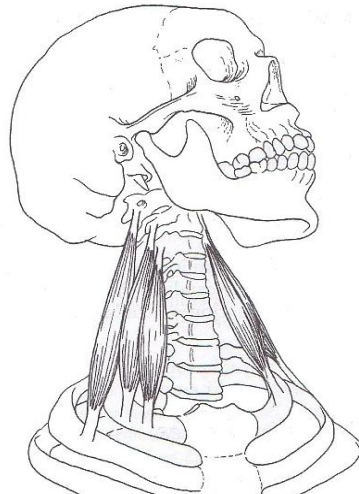


Fig. 89

**ESTERNOCLEIDOMASTOIDEO.** Múscul de la regió cervical anterolateral, que va des de l'apòfisi mastoïdes fins a l'os estern i la clavícula.

- Fascicle esternal.
- Fascicle cleidoocipital
- Fascicle cleidomastoïdeo



Fig. 90

## 2.- MÚSCULS ESPINALS

Són feixos longitudinals de músculs que uneixen les vèrtebres entre sí. Són músculs extensors de la columna vertebral i intervenen en la respiració quan és molt accelerada.

**TRANSVERS ESPINÓS**

**DORSAL LLARG**

**ILIOCOSTAL**

**ESPINÓS O EPIESPINÓS**

## *Los músculos espinales: inspiradores indirectos*

Los músculos posteriores de la espalda, denominados en sus capas profundas *músculos espinales*, tienen sobre todo como acción, globalmente, *la extensión del tronco*.

Ahora bien, la extensión de la columna dorsal provoca, muy a menudo, una elevación de la caja torácica por delante y, por tanto, una actitud en inspiración.

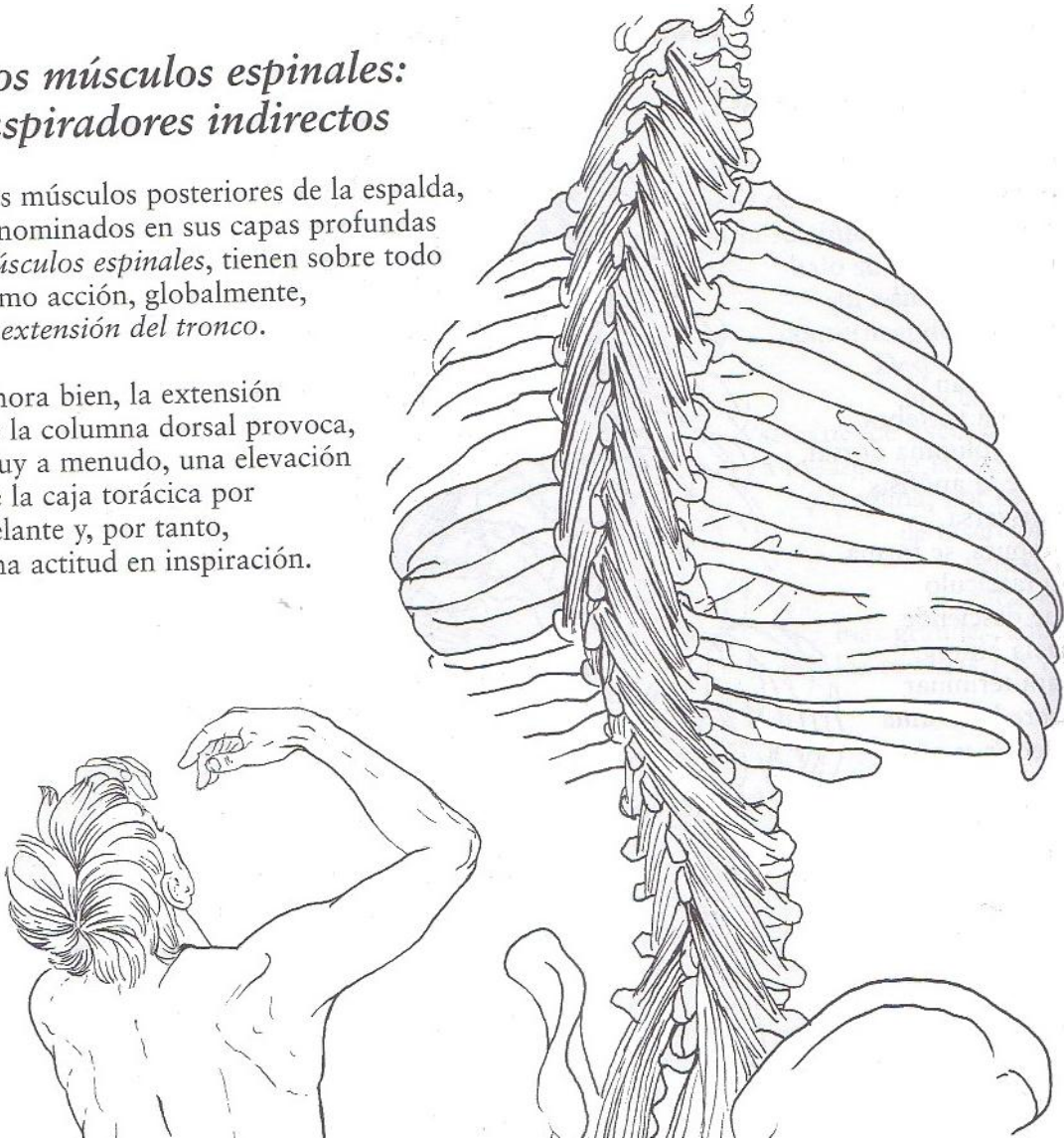


Fig. 91

### 3.- MÚSCULS INTERCOSTALS

**INTERCOSTAL EXTERN.** S'estenen a l'espai intercostal. Les seves fibres són obliqües cap avall i cap endavant i s'inserten per la part de dalt al costat extern del solc costal i per la part inferior al costat superior de la costella subjacent.

**INTERCOSTAL INTERN.** S'estenen a l'espai intercostal. Les seves fibres són obliqües cap avall i enrere i s'estenen des de la meitat anterior de l'espai intercostal fins l'extrem inferior per inserir-se a la part mitjana del costat superior de la costella subjacent.

**INTERCOSTAL ÍNTIM (O INTERN)**

S'originen en el caire inferior de les costelles i s'insereixen en el superior de les costelles subjacents. Les seves fibres són obliqües cap avall i endarrere. S'estenen des del cartílag costal fins a l'angle de la costella.

L'innerven els nervis intercostals.

Són músculs accessoris de l'expiració.

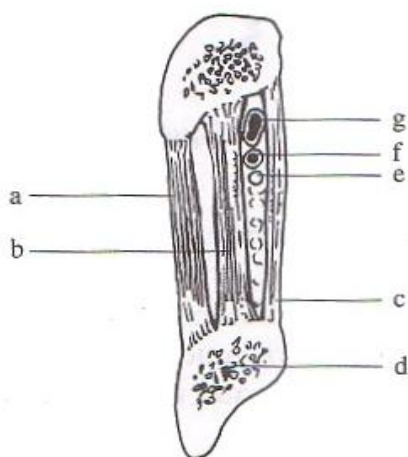
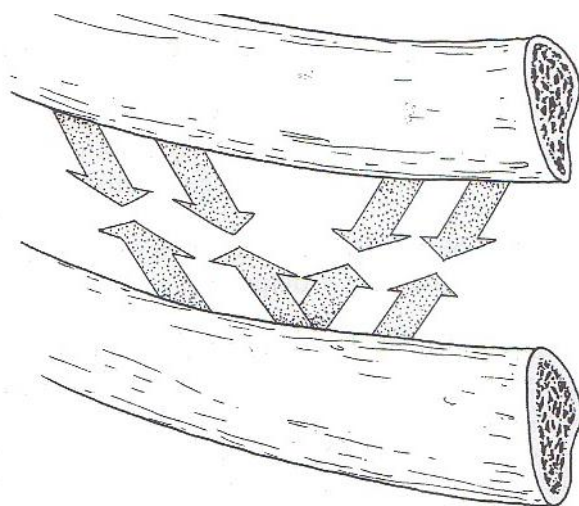


Fig. 59. Tall vertical d'un espai intercostal. a: múscul intercostal extern, b: múscul intercostal intern, c: múscul intercostal íntim, d: costella, e: nervi intercostal, f: artèria intercostal, g: vena intercostal

Fig. 92



La primera acció de estos músculos es disminuir con su contracción los espacios intercostales, aproximando un poco las costillas entre sí.

Según esto, son globalmente espiradores.

Fig. 93



Hi ha diverses teories sobre l'acció inspiradora o espiradora d'aquests músculs, però el que sí que s'admet sense discussió és que participen en la respiració.

***Músculos con acción variable en la respiración:  
los intercostales...  
inspiradores o espiradores***

Los intercostales se insertan entre las costillas, en cada nivel. Están en dos capas dispuestas con sus fibras cruzadas:

***Los intercostales externos***

Tienen fibras oblicuas hacia abajo y hacia delante.

***Los intercostales internos***

Tienen fibras oblicuas hacia abajo y hacia atrás.



Fig. 94

#### 4.- DIAFRAGMA

És el múscul principal de la inspiració. És una làmina músculo-tendinosa que separa el tòrax de l'abdòmen. La seva part central és tendinosa i la perifèrica és muscular i té forma còncaua si l'observem des de la seva cara superior, amb una doble cúpula. En contraure's baixa i s'aplana una mica, provocant que per inèrcia l'aire entri als pulmons.

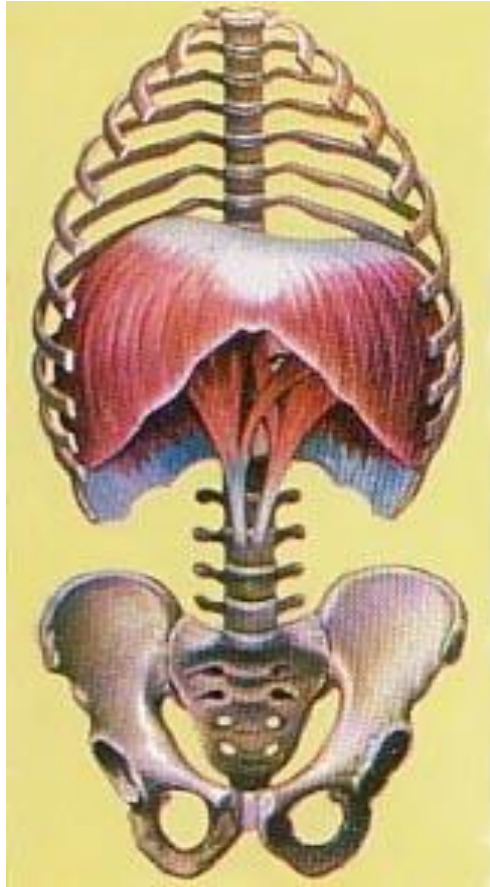


Fig. 95

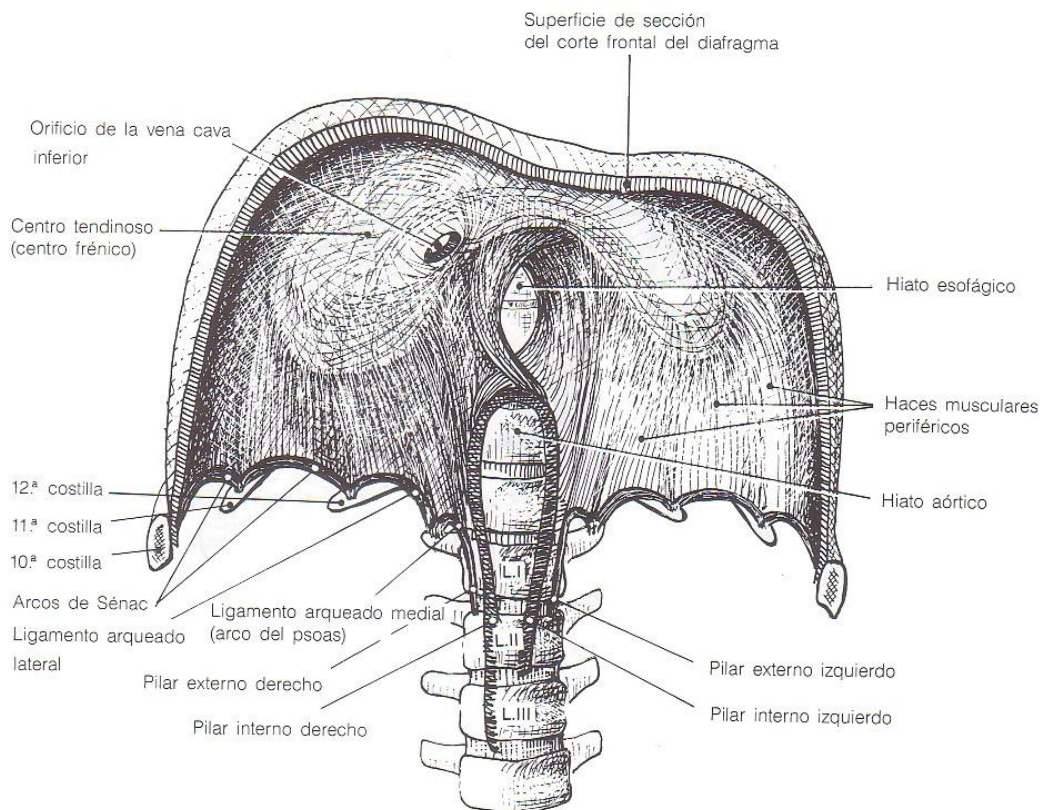


Fig. 96

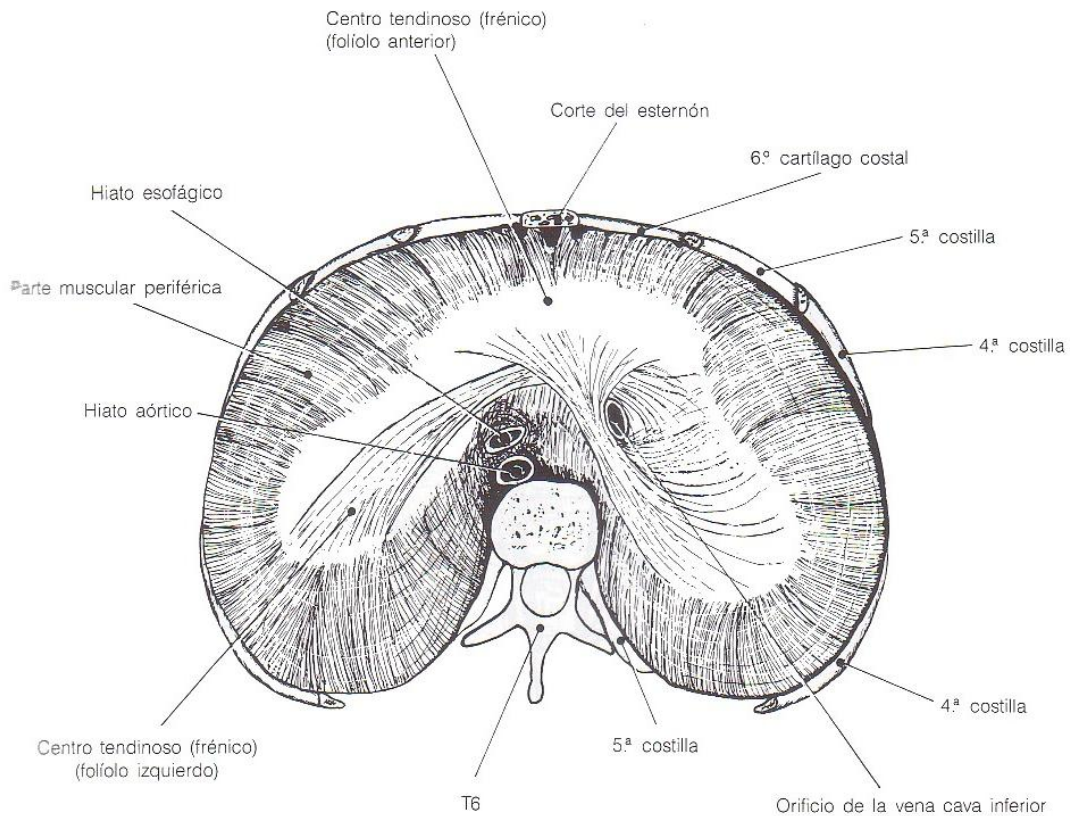


Fig. 97 Visió superior del diafragma

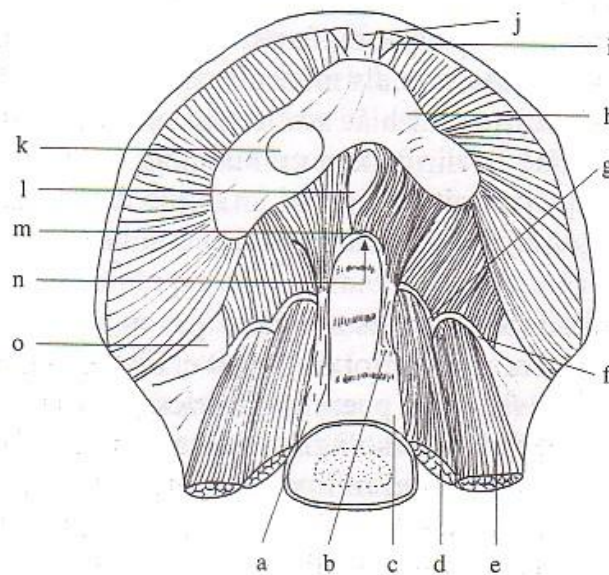


Fig. 44. Visió inferior del diafragma. a: pilar medial dret, b: pilar medial esquerre, c: columna lumbar, d: múscul psoes major, e: múscul quadrat lumbar, f: lligament arquejat lateral, g: lligament arquejat medial, h: centre tendinós o centre frènic, i: trígon esterno-costal, j: xifoide, k: orifici de la vena cava inferior, l: hiat esofàgic, m: lligament arquejat mitjà, n: hiat aòrtic, o: trígon lumbo-costal

Fig. 98

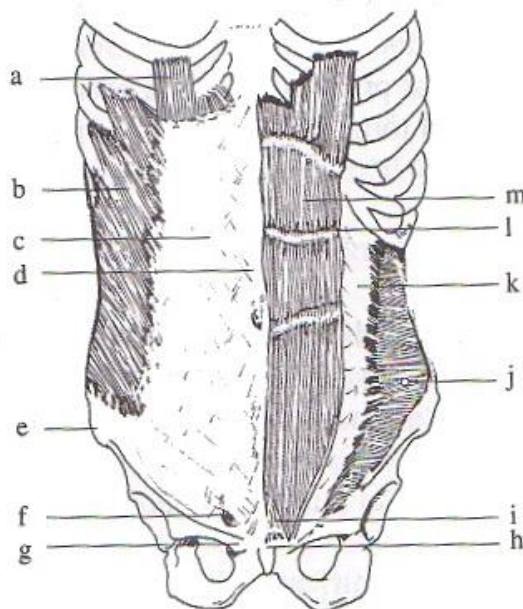
## 5.- MÚSCULS ABDOMINALS

RECTES DE L' ABDOMEN

TRANSVERS

OBLICS INTERNS O OBLICS MENORS

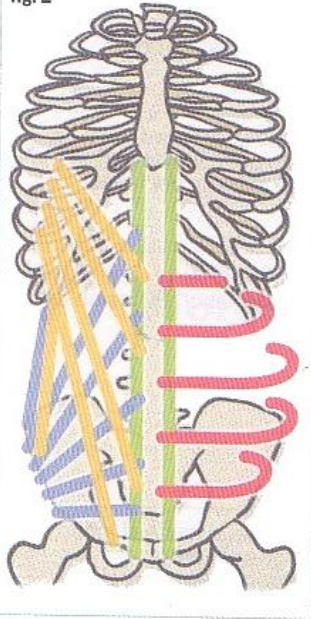
OBLICS EXTERNOS O OBLICS MAJORS



*Fig. 49. Músculs de l'abdomen. Visió anterior. a: recte de l'abdomen dret cobert per la seva beina, b: ventre muscular de l'oblic extern, c: aponeurosi d'aquest múscul formant part de la capa ventral de la beina del recte, d: línia alba, e: espina ilíaca anterosuperior, f: anell inguinal, g: tubercle del pubis, h: símfisi púbica, i: piramidal, j: ventre muscular de l'oblic intern, k: aponeurosi d'aquest múscul, l: intersecció tendinosa, m: recte de l'abdomen esquerre*

Fig. 99

fig. 2

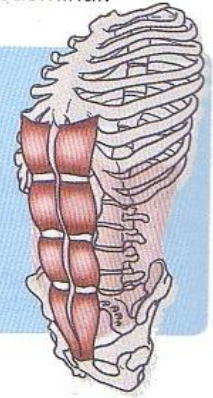


- Recto del abdomen
- Oblicuo externo
- Oblicuo interno

### UN POCO DE BIOMECÁNICA

En esta ilustración (fig. 2) podemos observar cómo se disponen las fibras musculares de cada músculo de la pared abdominal.

**Recto del abdomen (verde):** Sus fibras son verticales. Se orientan desde la rama del pubis hasta el esternón dividiéndose en varios vientres musculares que le dan esa forma de tableta de chocolate. Su principal función es la flexión ventral acercando el esternón hacia el pubis.



**Oblicuo externo (amarillo):** Sus fibras son transversales. Se originan en las últimas costillas y llegan hasta la cresta ilíaca. Cuando actúan ambos oblicuos ayudan al recto del abdomen en la flexión del tronco. Si sólo actúa el de un lado produce inclinación lateral y rotación del torso al lado contrario.

**Oblicuo interno (azul):** Se encuentra por debajo del oblicuo externo, sus fibras también transversales van desde las últimas costillas y la línea alba del recto del abdomen, hasta la cresta ilíaca de la cadera. Al igual que el externo, si actúan los dos a la vez colaboran en la flexión junto al recto del abdomen. Si actúa sólo el de un lado, produce inclinación lateral y rotación hacia su lado.



**Transverso (rojo):** El más profundo y sin duda el más importante en la estabilización de la columna. Está envuelto por una fascia de tejido conjuntivo que recorre todo el perímetro interior del tronco y que hace las funciones de un verdadero cinturón.

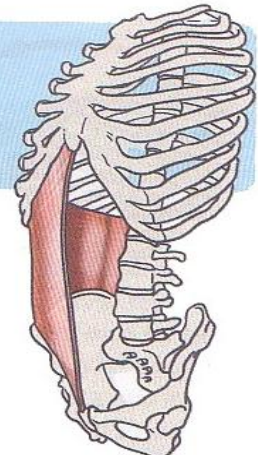


Fig. 100

## DIVISIÓ CLÀSSICA DELS MÚSCLS RESPIRATORIS

Tot i aquesta exposició, a continuació s'esmenta la divisió clàssica dels músculs respiratoris, que es divideix en 3 grups funcionals:

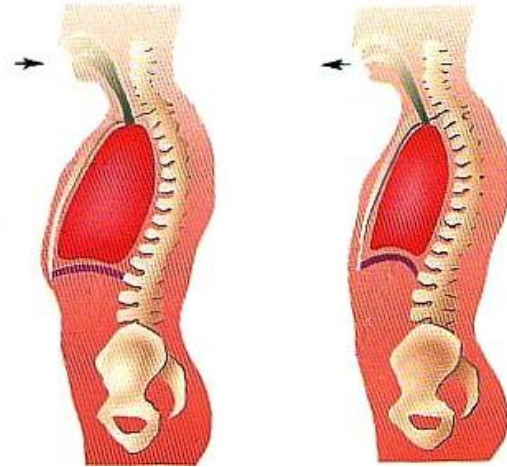


Fig. 101

### 1.- Músculs inspiratoris principals

- Diafragma
- Escalens
- Intercostals externs i interns

### 2.- Músculs inspiratoris secundaris

- Esternocleidomastoïdeo
- Serratos anteriors i posteriors
- Pectorals majors i menors
- Subclavis
- Elevadors de les costelles o supracostals

### 3.- Músculs espiratoris

- Abdominals
- Intercostals íntims

Es recomana inspirar pel nas, ja que, tal i com hem vist, les fosses nasals depuren, humidifiquen i escalfen l'aire i, d'aquesta manera, entra amb millor qualitat als pulmons. Pel què fa a l'espiració és indiferent fer-la tant pel nas com per la boca.



Fig. 102

## MÚSCULS ESCALENS

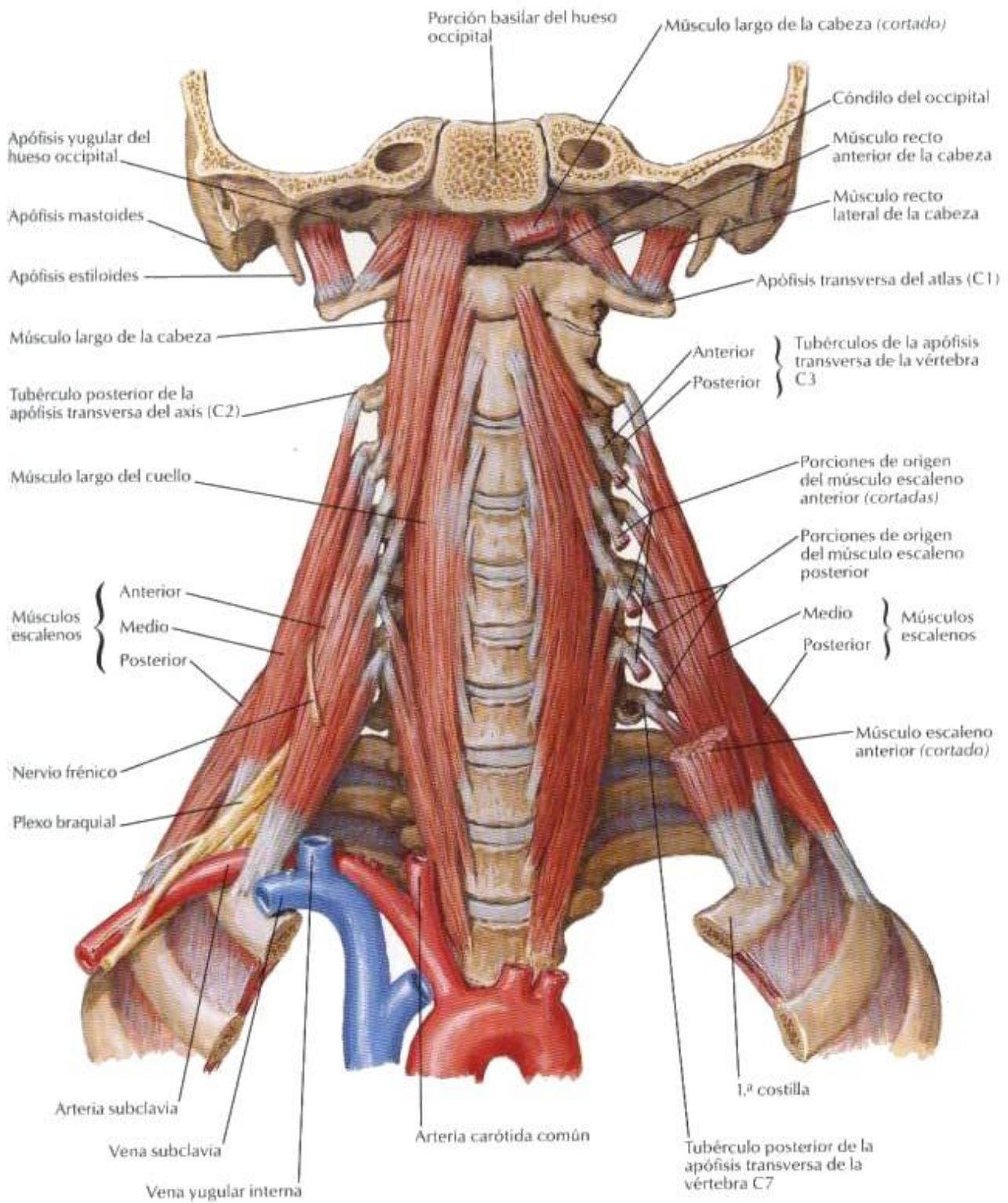


Fig. 103

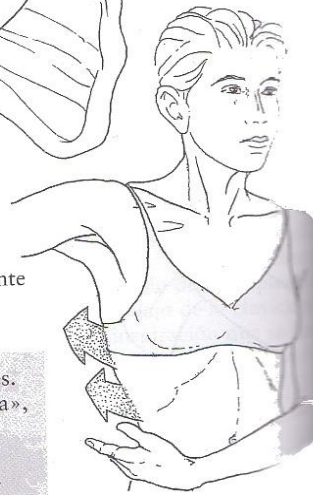
Fig. 104

### El serrato mayor

Es un músculo muy amplio que se instala sobre toda la parte lateral de la caja torácica. Viene del omóplato: se inserta en su borde interno, y se desliza bajo su cara profunda sin adherirse a ella, contorneando el tórax. Después, forma una capa que se extiende hacia delante a lo largo de las costillas y termina, por medio de inserciones dentadas, cada vez más grandes, sobre las costillas 1 a 10.

El serrato mayor eleva las costillas con sus cinco haces más bajos, que las llevan hacia atrás y hacia afuera, como si intentaran abrirlas; al no ser esto posible, suben las costillas con un movimiento muy ancho, lateral: una respiración en «asa de cubo». Abren intensamente el ángulo de Charpy (véase página 48).

Es uno de los músculos inspiradores más potentes. Lo usamos, particularmente en «acción frenadora», cuando queremos dosificar el soplo espiratorio, en las técnicas de canto y de soplo instrumental. Su acción tiene la ventaja de dejar libre la región del cuello, a la vez porque no se inserta en él y porque establece una postura muy firme de la caja torácica, que sirve de base a esta región del cuello.



### El serrato menor posterior y superior

Este músculo nace en las últimas vértebras cervicales y las tres o cuatro primeras dorsales. Forma una pequeña capa que desciende hacia afuera y termina en las cuatro o cinco primeras costillas, a nivel del ángulo posterior.

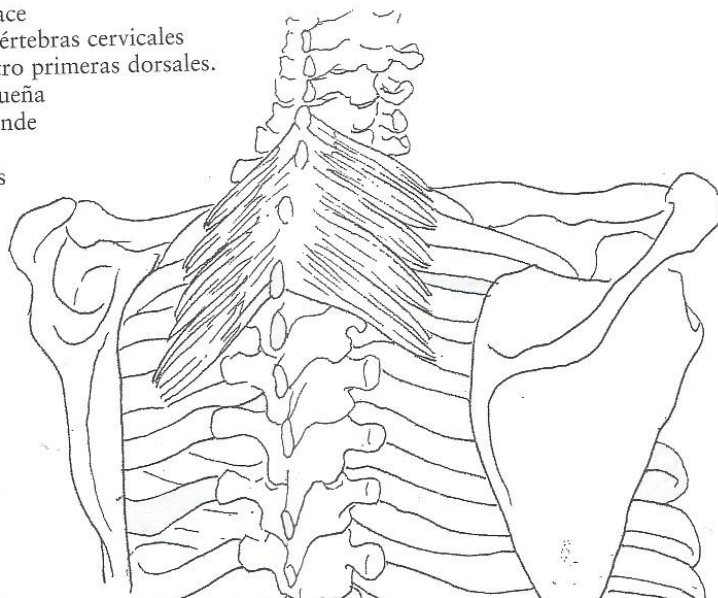
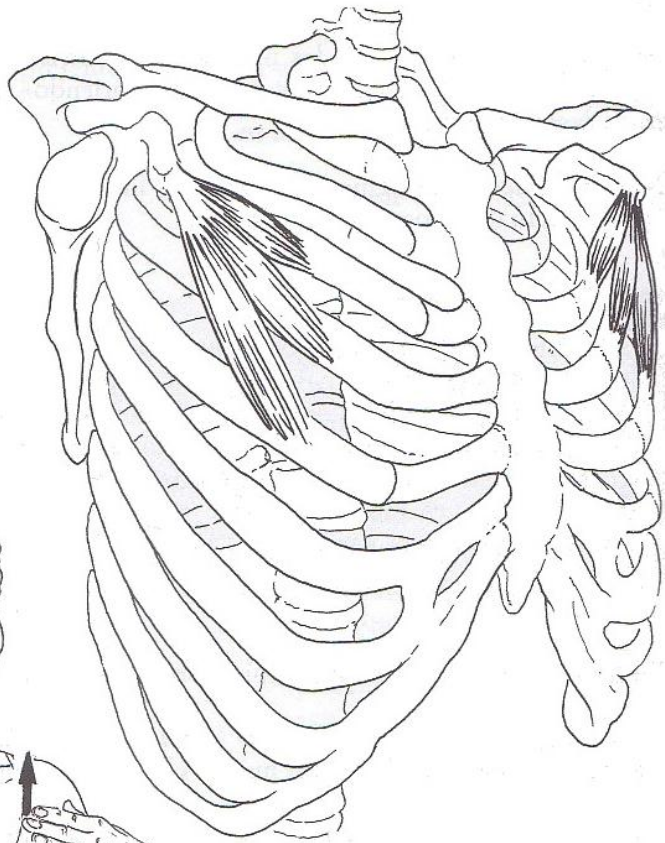




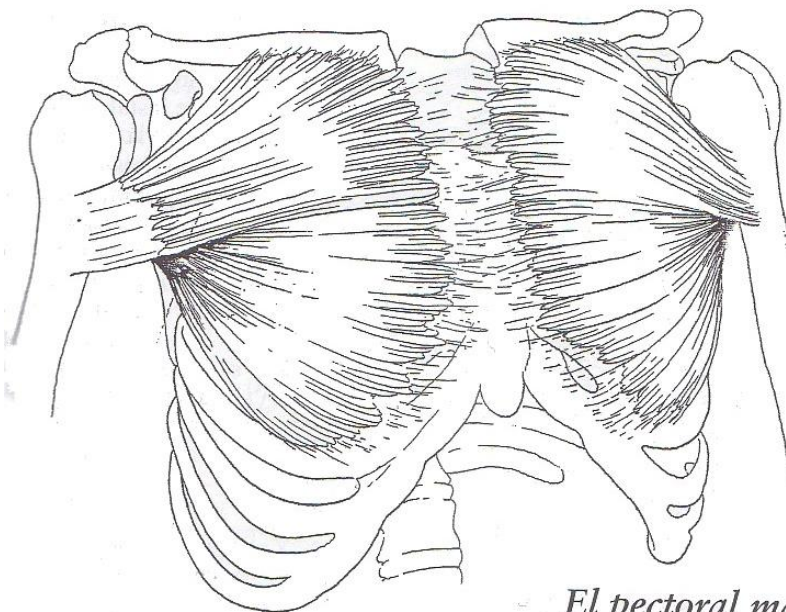
Fig. 105

## *El pectoral menor*

En el omóplato se encuentra un pequeño saliente que apunta hacia delante: la apófisis *coracoides*. Es ahí donde nace el pectoral menor. Desciende hacia el interior formando un abanico que termina sobre las costillas altas: 3, 4, 5.



Su contracción eleva estas costillas hacia delante. Es el músculo de la inspiración «debajo de la clavícula», inspiración que se hace elevando la región alta del pecho.



*El pectoral mayor*

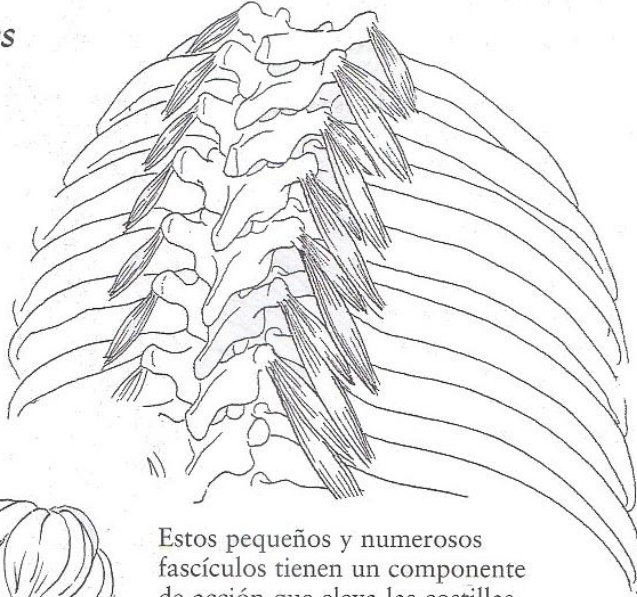
Fig 106

### Los supracostales

Estos músculos son todos pequeños, pero numerosos. Juntos forman una gran zona contráctil.

Se insertan en cada vértebra de la columna dorsal, sobre la apófisis transversa.

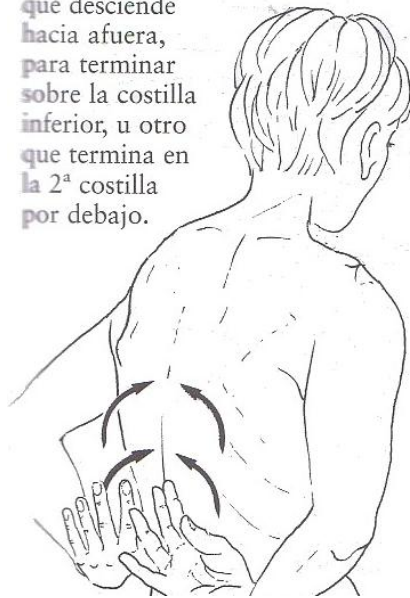
Después, se forma un fascículo que desciende hacia afuera, para terminar sobre la costilla inferior, u otro que termina en la 2ª costilla por debajo.



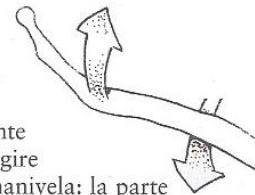
Estos pequeños y numerosos fascículos tienen un componente de acción que eleva las costillas desde la columna.

Esta elevación tiene lugar en la parte posterior de las costillas.

Por esa razón, estos músculos son típicamente los que hacen la inspiración «en el dorso de las costillas».



Pero, al mismo tiempo, insertándose sobre el ángulo posterior de la costilla, tienen también un componente de acción que hace que ésta gire sobre sí misma, como una manivela: la parte proximal de la costilla se eleva, pero el resto de la curva de la costilla desciende. Este componente es espirador.



Visión esquemática lateral derecha

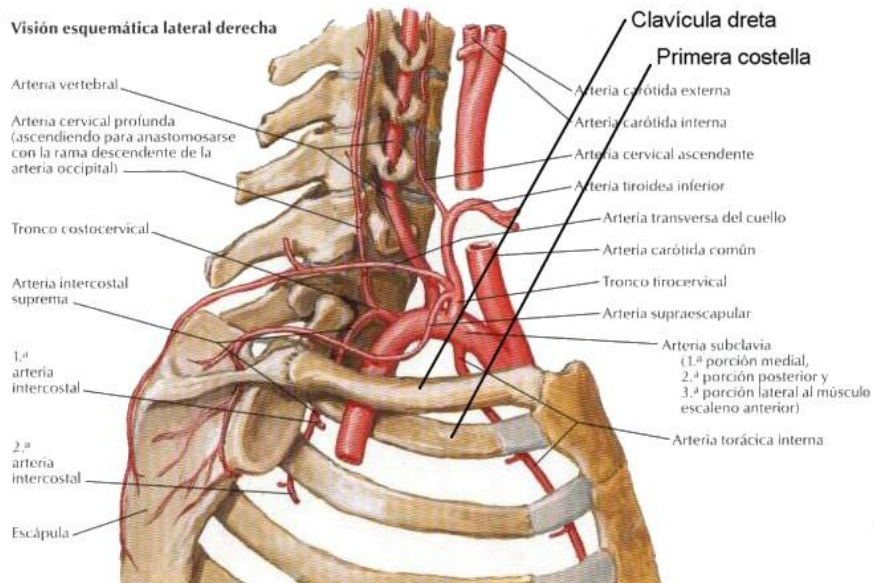


Fig. 107 El múscul subclavi és un feix muscular situat a sota de la clavícula i que l' uneix a la primera costella

## **10. BIBLIOGRAFIA I ARTICLES**

### **LLIBRES CONSULTATS**

- BASES ANATÒMIQUES DE LA VEU

Begonya Torrer i Ferran Gimeno

Biblioteca Universitària, Edicions Proa 1995

- LA VOZ. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA. PATOLOGÍA-TERAPÉUTICA.  
VOLUM 1. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS  
DE LA VOZ Y DEL HABLA

François Le Huche i André Allali

Masson, S.A 2000

- THE STRUCTURE OF SINGING.

SYSTEM AND ART IN VOCAL TECHNIQUE

Richard Miller

Library of Congress Cataloging in Publication Data 1996

- THE SCIENCE OF MUSICAL SOUNDS

John Sundberg

Academic Press, Inc.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data 1991

- TEMAS DEL CANTO

EL APARATO DE FONACIÓN. EL "PASSAJE" DE LA VOZ

Ramon Regidor Arribas

Real Musical Editores- Madrid 1996

- TEMAS DEL CANTO

LA CLASIFICACIÓN DE LA VOZ

Ramon Regidor Arribas

Real Musical Editores- Madrid 1999

-ACOUSTICS AND PSYCHOACOUSTICS

David M Howard and James Angus

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data 1996

- ANATOMÍA PARA EL MOVIMIENTO

"Introducción al análisis de las técnicas corporales" Tomo 1

Blandine Calais-Germain

Los Libros de La Liebre de Marzo, S.L.

Barcelona 1º edició Juny 1994

- LA RESPIRACIÓN  
ANATOMÍA PARA EL MOVIMIENTO Tomo IV  
EL GESTO RESPIRATORIO  
Blandine Calais-Germain  
Los Libros de La Liebre de Marzo, S.L.  
Barcelona 1º edició Juny 1994
  
- LE CHANT  
Norbert Dufourcq  
Presses Universitaires de France 1962
  
- SINGING, THE MECHANISM AND THE TECHNIC  
William Vennard  
Carl Fisher Inc., 1967
  
- SOBOTTA. ATLAS DE ANATOMÍA HUMANA  
Directors: R. Putz i R. Pabst  
Editorial Médica Panamericana  
22ª edició 2006
  
- ATLAS DE ANATOMÍA  
Frank H. Netter  
Icon Learning Systems (versió espanyola de Masson, S.A.)  
2ª impressió 2001
  
- GRAN ATLAS DEL CUERPO HUMANO  
Robert Winston  
Ed. Pearson Education, S.A. 2006
  
- ATLAS ILUSTRADO DE ANATOMÍA  
Adriana Rigutti  
Giunti Gruppo Editoriale, Firenze  
Susaceta Ediciones, S.A. 2002
  
- MUSIC, PHYSICS AND ENGINEERING  
Harry F. Olson  
Dover Publications, Inc.  
New York 1967 (Second Edition)
  
- MANUAL D'OTO-RINO-LARINGOLOGIA  
Pere Abelló i Miquel Quer  
Publicacions de la Univ. Autònoma de Bellaterra 1992

## ARTICLES CONSULTATS

- HISTORIA Y ACTUALIDAD DE LA IALP (LOGOPEDIA Y FONIATRIA)  
DOCUMENT DEDICAT AL Dr. PERELLÓ.

André Muller (ex president de la IALP)

- FALSETTO REGISTER AND VOWELS

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Mars / Abril 2007

Ingo R. Titze (editor associat)

- WHAT MAKES A VOICE ACOUSTICALLY STRONG?

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Set / Oct. 2004

Ingo R. Titze

- WHY DO WE HAVE A VOCAL LIGAMENT?

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Set. / Oct. 1996

Ingo R. Titze

- WHAT IS A SUBHARMONIC?

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Nov. / Des. 1998

Ingo R. Titze

- THE F<sub>0</sub> - F<sub>1</sub> CROSSOVER EXERCICE

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Jan. / Feb. 2006

Ingo R. Titze

- CHOIR WARM-UPS, HOW EFFECTIVE ARE THEY?

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

May / June 2000

Ingo R. Titze

- ON THE SPRINGINESS AND STICKINESS OF VOCAL FOLD ISSUES  
JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

May / June 1998

Ingo R. Titze

- MORE ABOUT RESSONANT VOICE: CHASING THE FORMANTS  
BUT STAYING BEHIND THEM

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

May / June 2003

Ingo R. Titze

- SPEAKING VOWELS VERSUS SINGING VOWELS

JOURNAL OF SINGING

NATIONAL ASSOCIATION OF TEACHERS OF SINGING

Sept. / Oct. 1995

Ingo R. Titze

- WORKSHOP ON ACOUSTIC VOICE ANALYSIS

Ingo R. Titze

National Center for Voice and Speech

- MODELS OF VOCAL FOLD OSCILLATION

National Center for Voice and Speech (USA)

- INTRODUCCIÓN A "LAMINAR"

RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DEL HABLA.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA E INFORMÁTICA.

7/2/2003

- ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DE LOS INSECTOS.

MÚSCULOS Y MOVIMIENTO.

William E. Dale

- ARTICULACIONES Y LIGAMENTOS DE LA LARINGE.

ANATOMÍA E HISTOLOGÍA DE LA LARINGE

Jesús García Ruíz (otorrinoweb.com)

- A MIRACULOUS METHOD OF SINGING

ON THOAT SINGING OF SOUTH SIBERIA

Sami Jansson

**- HISTORIA Y TEORÍAS DE LA FONACIÓN**

Jesús García Ruíz (otorrinoweb.com)

**- APROXIMACIÓN CIENTÍFICA A LOS SONIDOS MUSICALES  
E.T.S. DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

José Luíz Gutiérrez Sacristán

**- ON THE MUSIC OF SHAMANISM IN THE TUVINIAN CULTURE**

Z. Kyrgyz

International Scientific Center Khomei of The Ministry of Culture of the Republic of Tuva 1993

**- A METHOD FOR GLOTTAL FORMANT FREQUENCY ESTIMATION**

Baris Bozkurt, Boris Doval, Christophe d'Alessandro, Thierry Dutoit

Faculté Polytechnique De Mons, TCTS Lab,

Initialis Scientific Park, B-7000 Mons, Belgium

**- GENERATING VOCAL TRACT SHAPES FROM  
FORMANT FREQUENCIES**

Peter Ladefoged, Richar Harshman, Louis Goldstein, Lloyd Rice

Phonetics Lab, Linguistics Dep., Univ. of Los Angeles, Ca. 1978

**- SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE SONIDO**

Pedro Alfredo Velasco

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales

Universidad de San Luíz

**- VENTRES I NODES A LES ONES ESTACIONÀRIES**

M. Aliaga, A. De La Rica, T. Ferrández

Elx

**- VOICE ACOUSTICS: AN INTRODUCTION**

Joe Wolfe, Maëva Garnier and John Smith of the Acoustics Group at UNSW.

The University of South Wales - Sidney - Australia

**- PIPES AND HARMONICS**

Joe Wolf

Sidney - Australia

**- PHYSICS IN SPEECH**

Joe Wolfe

Sidney - Australia