

FUNDAMENTS OF HUMAN VOICE BIOMECHANICS Part 1

JAN G. ŠVEC

**Department of Experimental Physics, Faculty of Science,
Palacký University in Olomouc, CZ**

ZÁKLADY BIOMECHANIKY LIDSKÉHO HLASU

Část 1

JAN ŠVEC

**Katedra experimentální fyziky, Př.F.,
Univerzita Palackého v Olomouci**

Literatura:

Jan Švec: Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce), Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.

HLAS:

**Všichni jej každodenně používáme,
ale většina lidí ví o něm v podstatě jen málo**

VOICE:

We use it everyday,

but, in principle,

most people know only little about it

Studium lidského hlasu

Je založeno na kombinaci informací z různých vědních oborů, mezi nimiž jsou

Akustika (vyzařování, šíření a vlastnosti zvuku, ...)

Lékařské obory (foniatrie, otorinolaryngologie; anatomie, fyziologie, histologie, neurologie, patologie hlasového orgánu, ...)

Biomechanika (pohyb, elasticita, viskozita biologických tkání, ...)

Mechanika proudění (tlak, objemová rychlost výdechového vzduchu,...)

Teorie kmitů (dynamika, nelineární dynamika,...)

Studies of human voice

Combine information from different disciplines, such as:

Acoustics (radiation, propagation, sound characteristics ...)

**Medical fields (phoniatics, otorhinolaryngology, anatomy, physiology, histology,
neurology, organ pathology...)**

**Biomechanics (movement, elasticity, viscosity of biological tissues involved in voice
production, ...)**

Flow mechanics (pressure, expiratory airflow, ...)

Theory of oscillations (dynamics, nonlinear dynamics, ...)

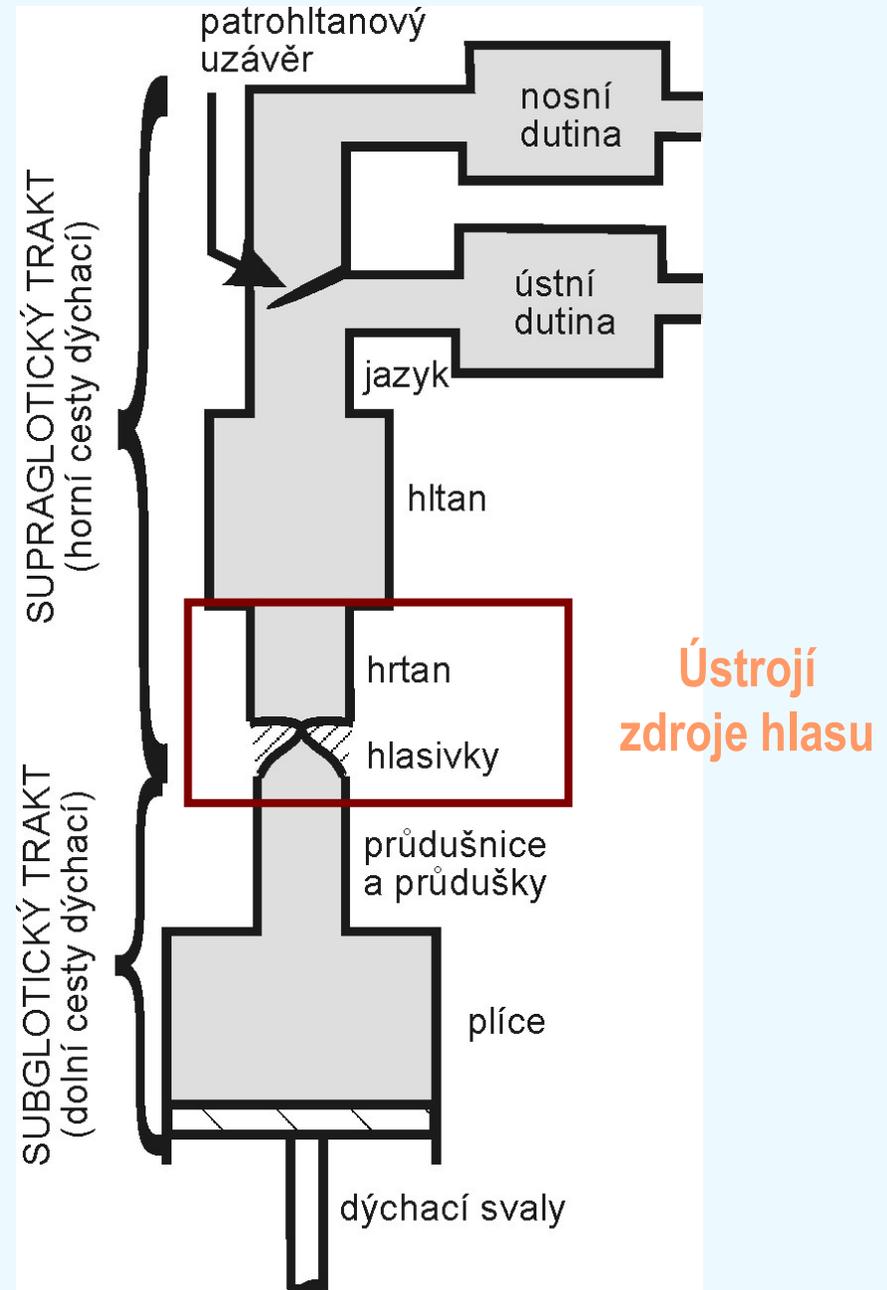
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



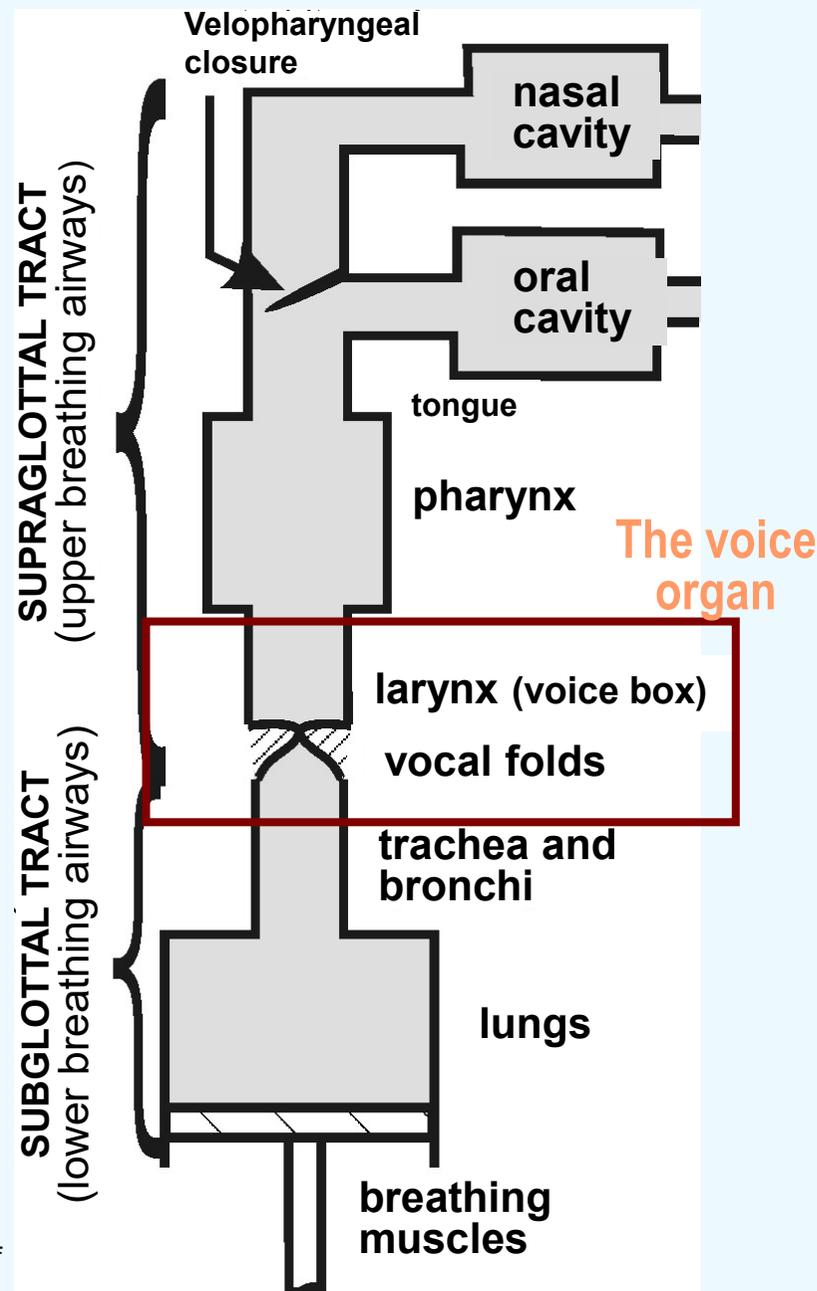
Glottis = space between the vocal folds
Supra = above
Sub = below
Subglottal = below the glottis
Supraglottal = above the glottis

PHYSICAL- ACOUSTICAL ANALOGY OF VOICE PRODUCTION SYSTEM

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. [Studies of the mechano-acoustic properties of the human voice source]. (Doctoral dissertation). Olomouc: Palacký University, Faculty of Natural Sciences, 1996.



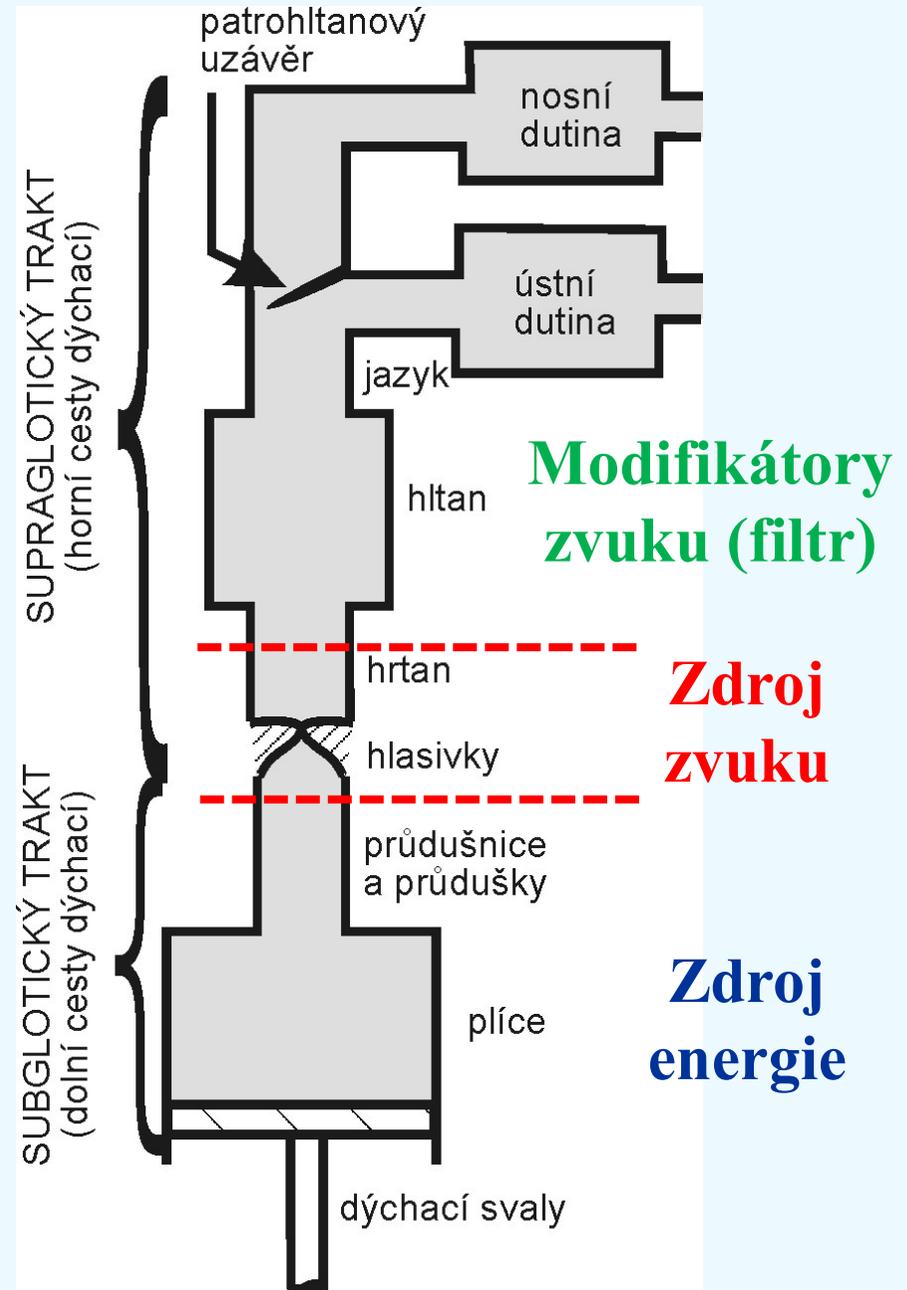
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



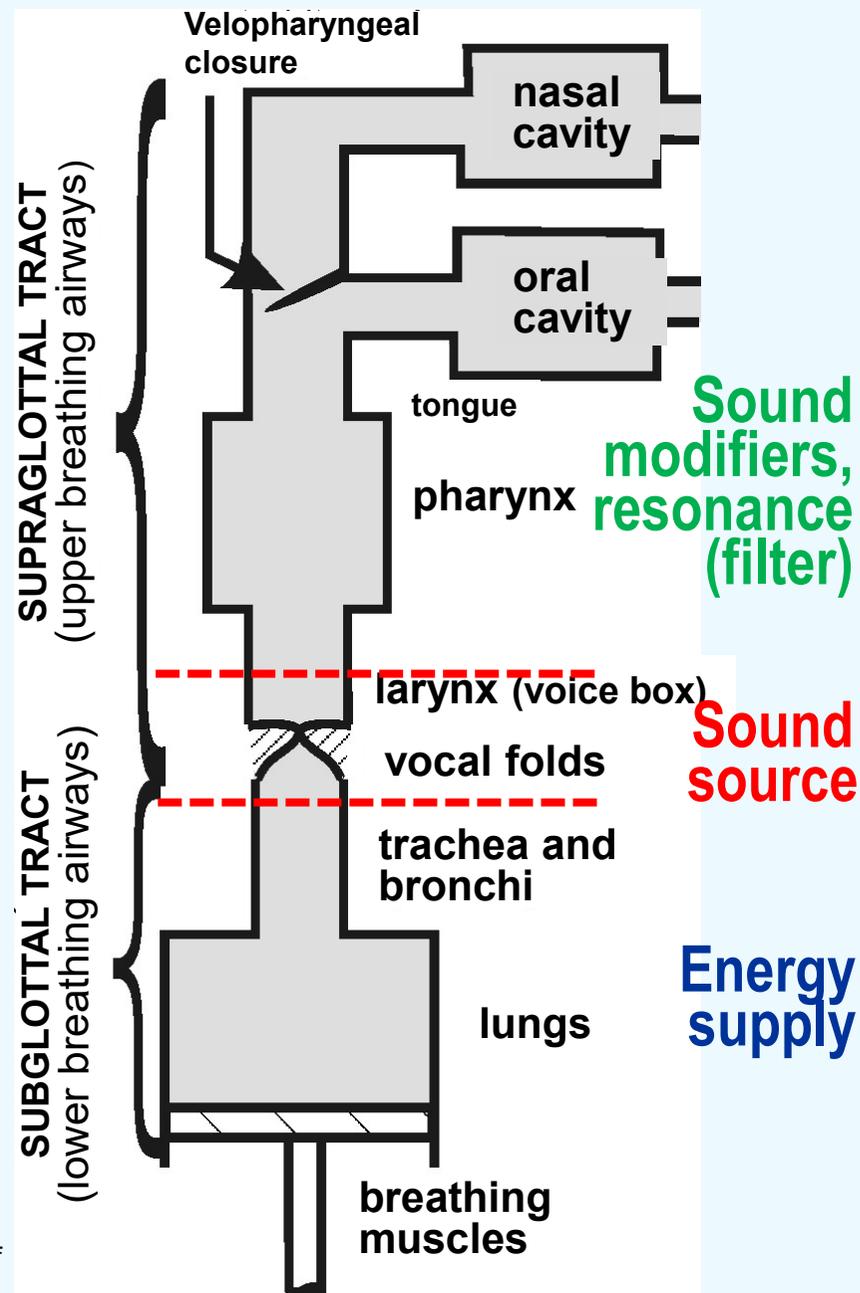
Glottis = space between the vocal folds
Supra = above
Sub = below
Subglottal = below the glottis
Supraglottal = above the glottis

PHYSICAL-ACOUSTICAL ANALOGY OF VOICE PRODUCTION SYSTEM

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. [Studies of the mechano-acoustic properties of the human voice source]. (Doctoral dissertation). Olomouc: Palacký University, Faculty of Natural Sciences, 1996.



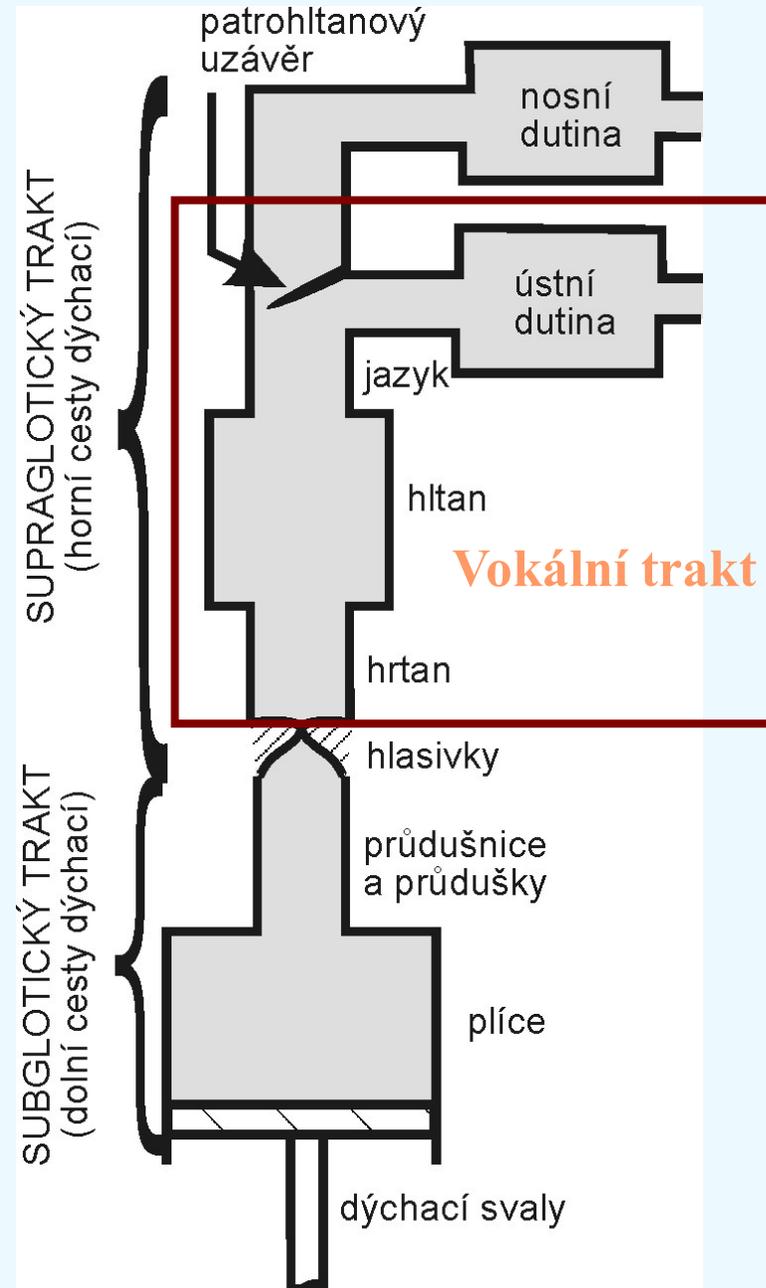
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York:
Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu.
(Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta,
Katedra experimentální fyziky, 1996.



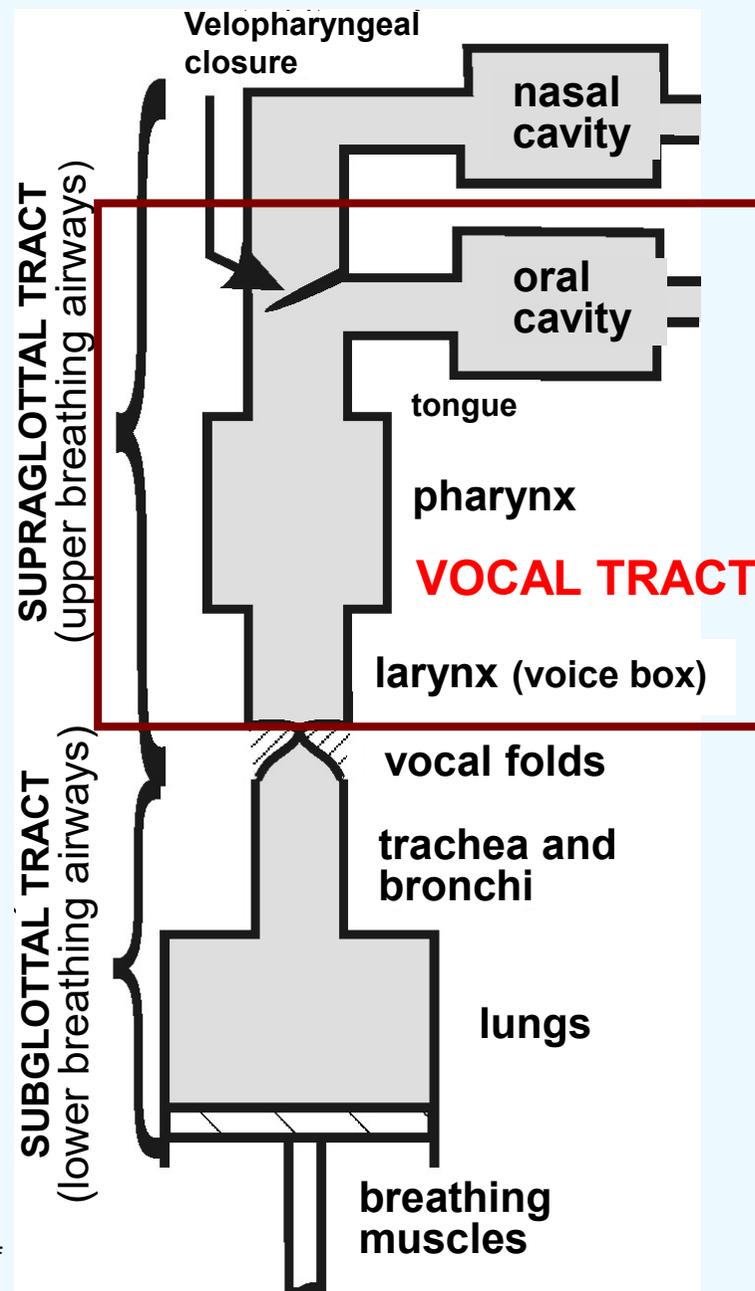
Glottis = space between the vocal folds
Supra = above
Sub = below
Subglottal = below the glottis
Supraglottal = above the glottis

PHYSICAL- ACOUSTICAL ANALOGY OF VOICE PRODUCTION SYSTEM

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. [Studies of the mechano-acoustic properties of the human voice source]. (Doctoral dissertation). Olomouc: Palacký University, Faculty of Natural Sciences, 1996.



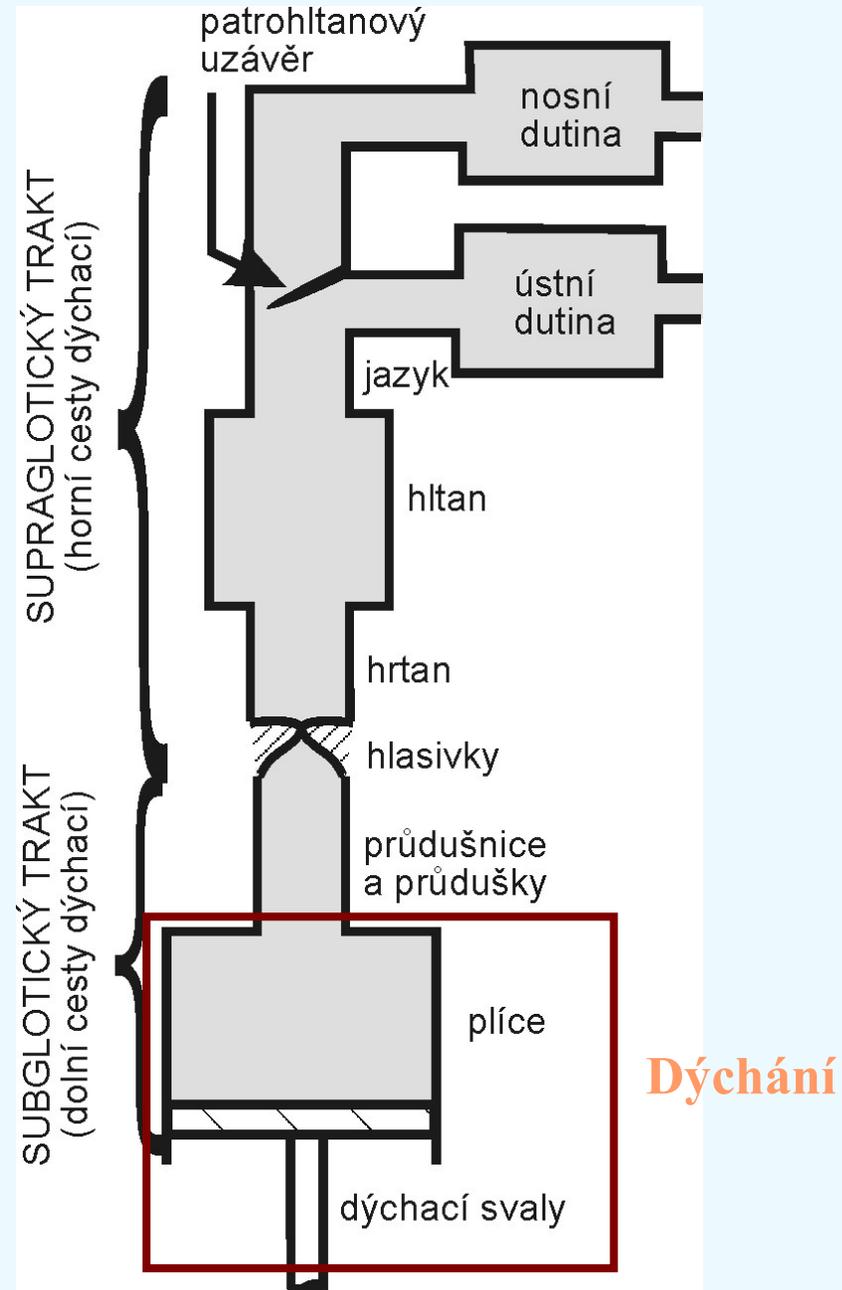
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



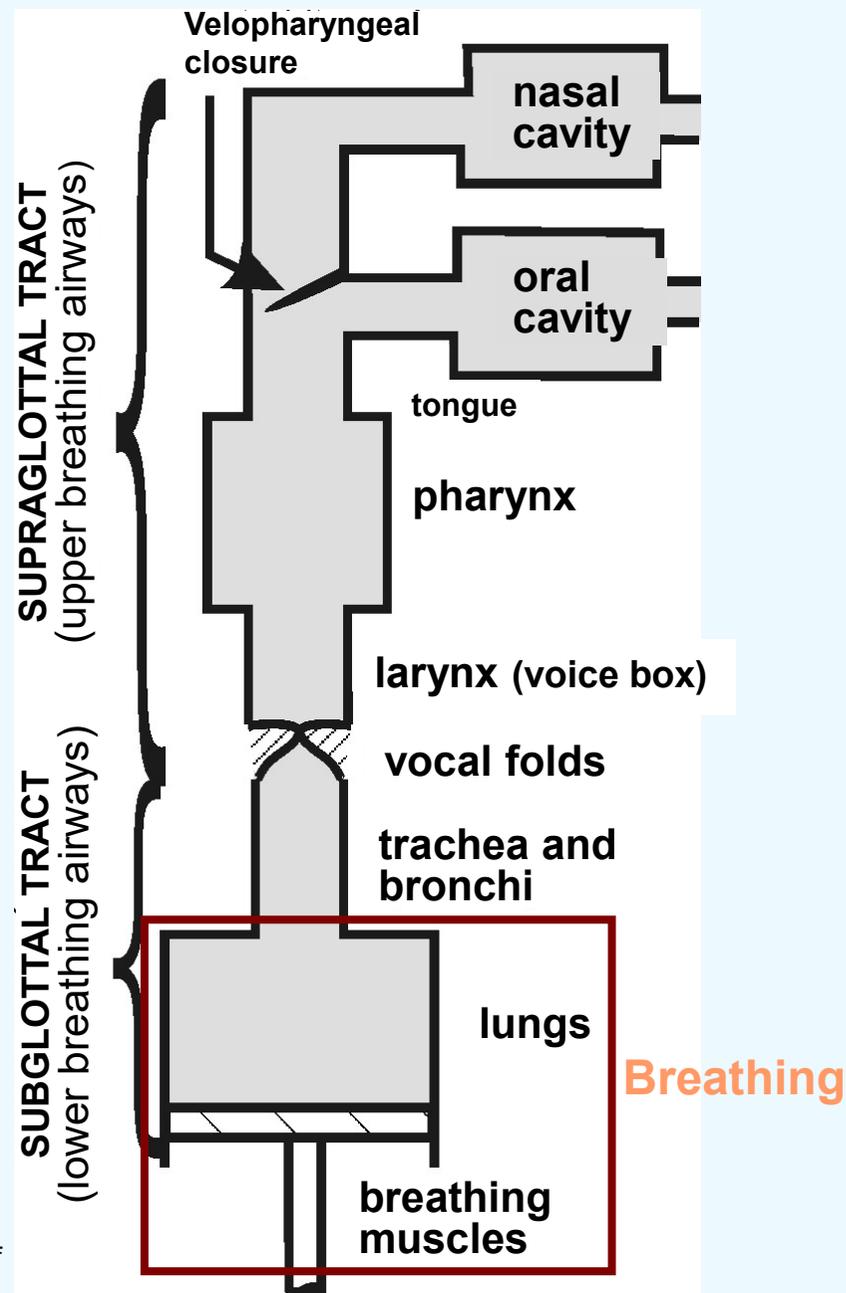
Glottis = space between the vocal folds
Supra = above
Sub = below
Subglottal = below the glottis
Supraglottal = above the glottis

PHYSICAL- ACOUSTICAL ANALOGY OF VOICE PRODUCTION SYSTEM

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

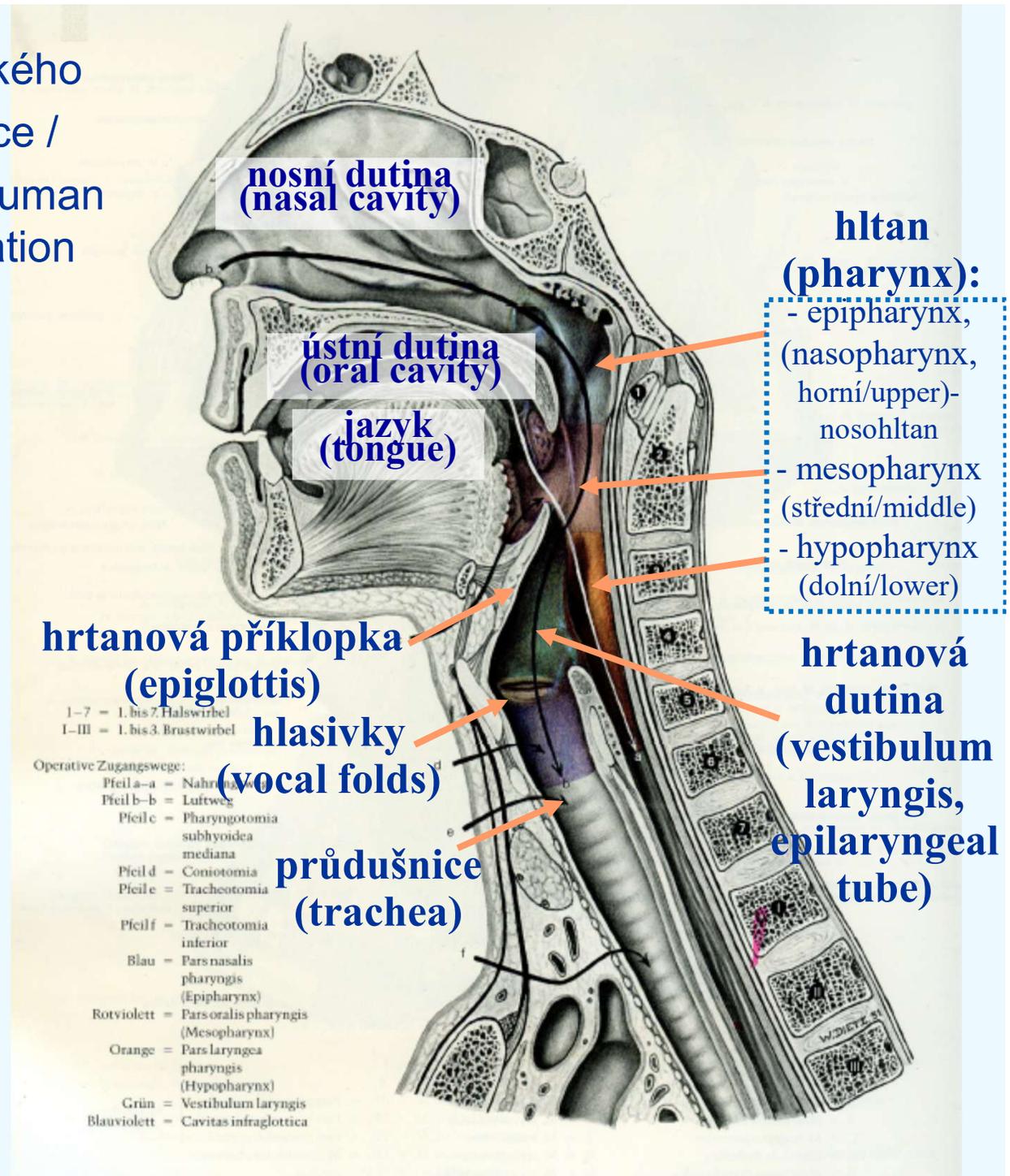
Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. [Studies of the mechano-acoustic properties of the human voice source]. (Doctoral dissertation). Olomouc: Palacký University, Faculty of Natural Sciences, 1996.



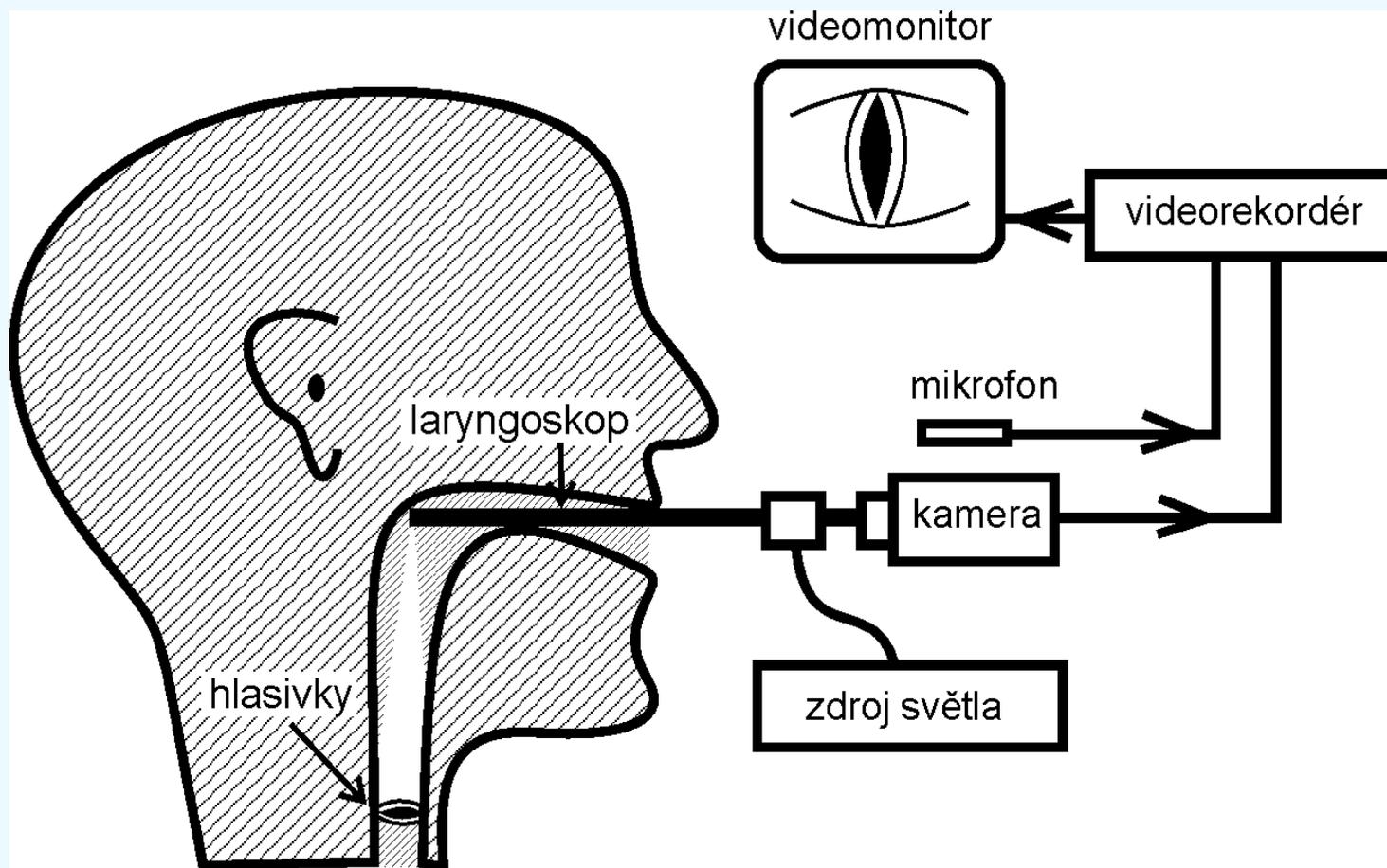
Produkce lidského
hlasu = fonace /
Production of human
voice = phonation

ANATOMIE DÝCHACÍCH CEST/ ANATOMY OF BREATHING AIRWAYS

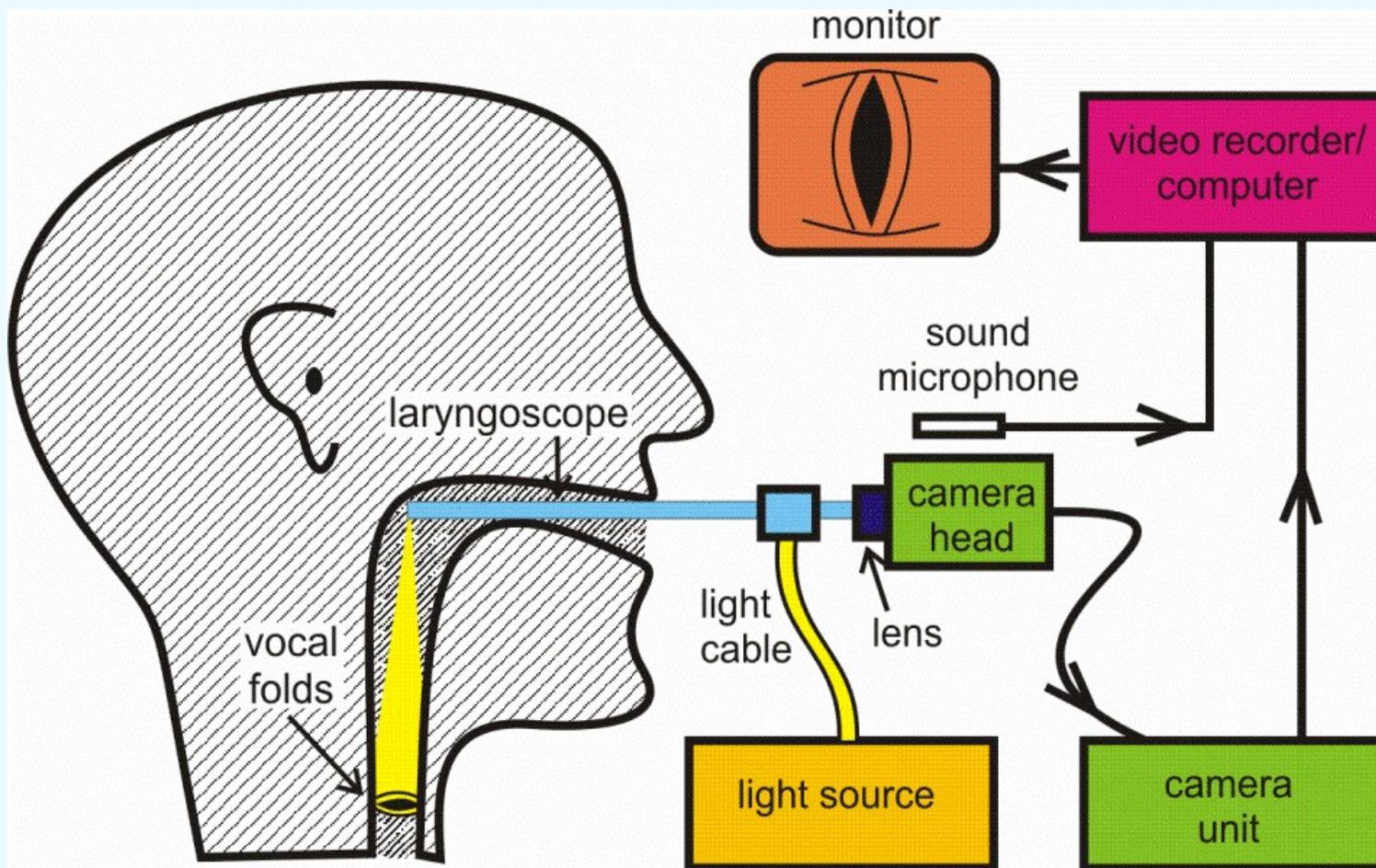
Pernkopf E. Anatomy (1956)



Laryngoskopie - vizualizace vnitřního hrtanu



LARYNGEAL VIDEOENDOSCOPY (LARYNGOSCOPY) Laryngeal visualization



Vizualizace vnitřního hrtanu: laryngoskopie

Visualization of the inside of the larynx: laryngoscopy



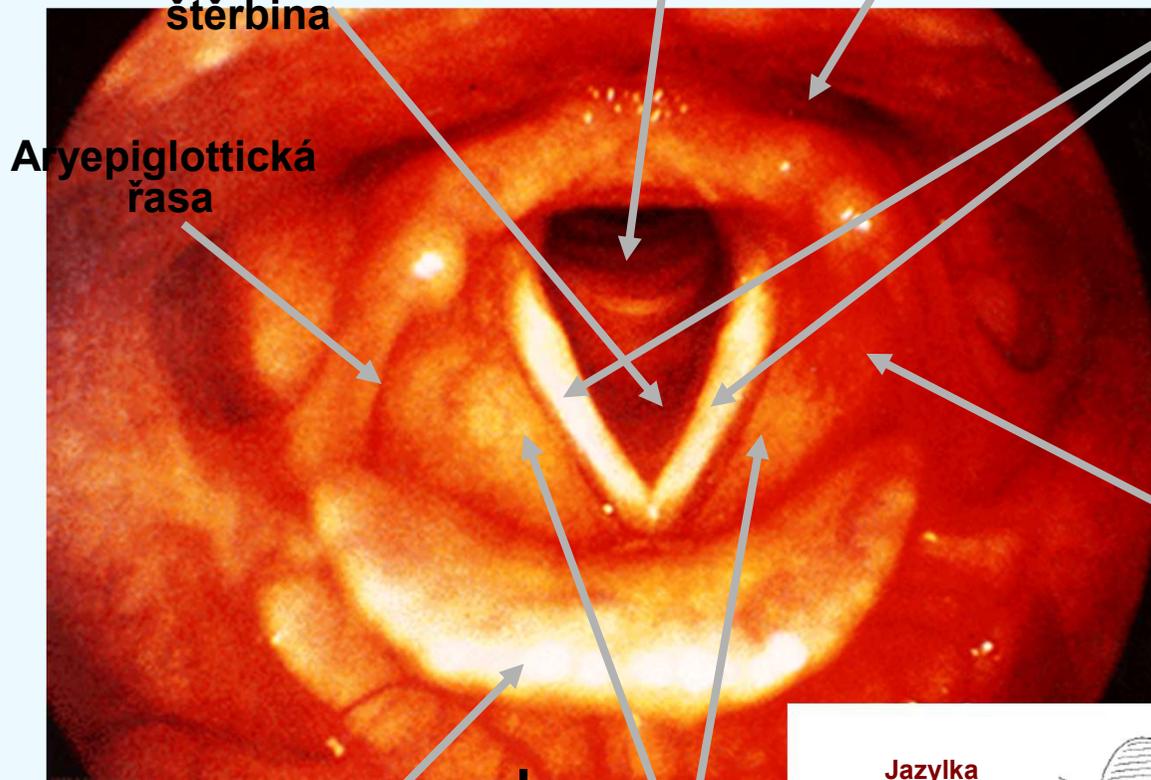
DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / laryngoscopy



Fonace a nádech / Phonation and inhalation

Glottis: mezipřehlasivková štěrbina Trachea: Průdušnice Esophagus: Jícen Hlasivky (vocal folds)



Aryepiglottická řasa

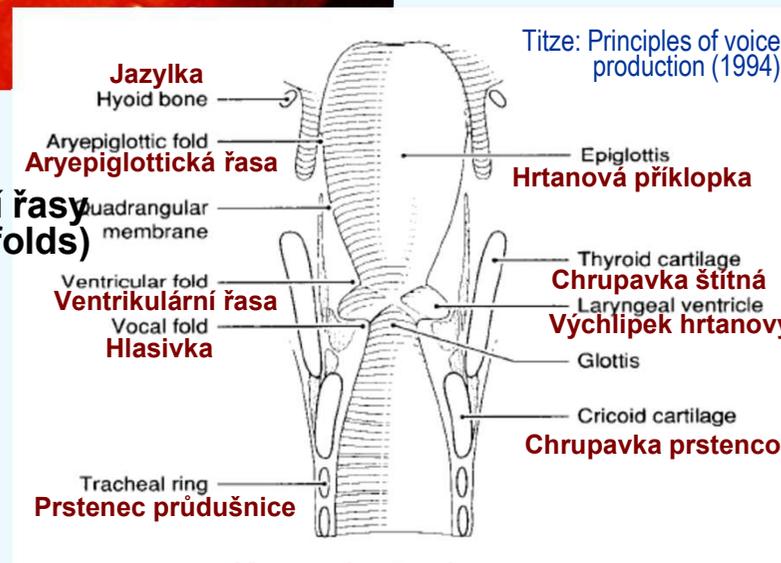
Aryepiglottická řasa (Aryepiglottic fold)

Photo by H.K.Schutte, MD, PhD

Epiglottis: Hrtanová příklopka

Ventrikulární řasy (Ventricular folds)

Směr jazyk, ústa (direction of tongue, mouth)



Koronální řez hrtanem

Anatomie hrtanu

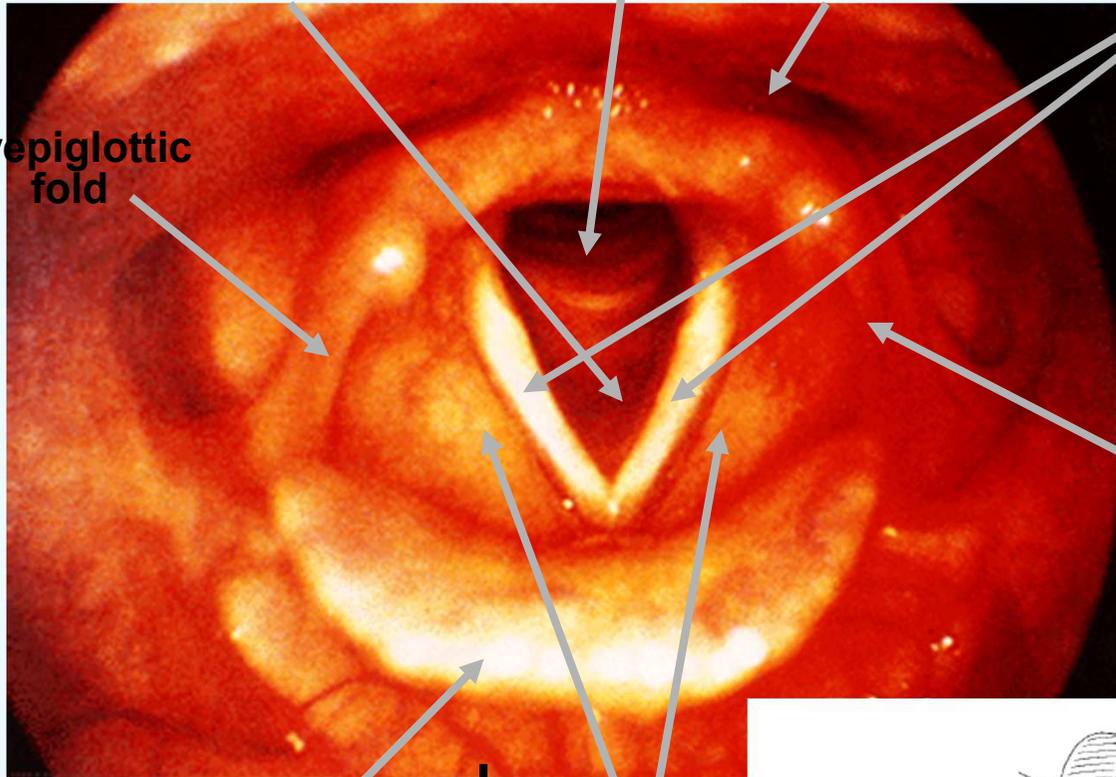
Glottis:
Opening between the vocal folds

Trachea:
Windpipe

Esophagus:
Food pipe

Vocal folds

Aryepiglottic fold



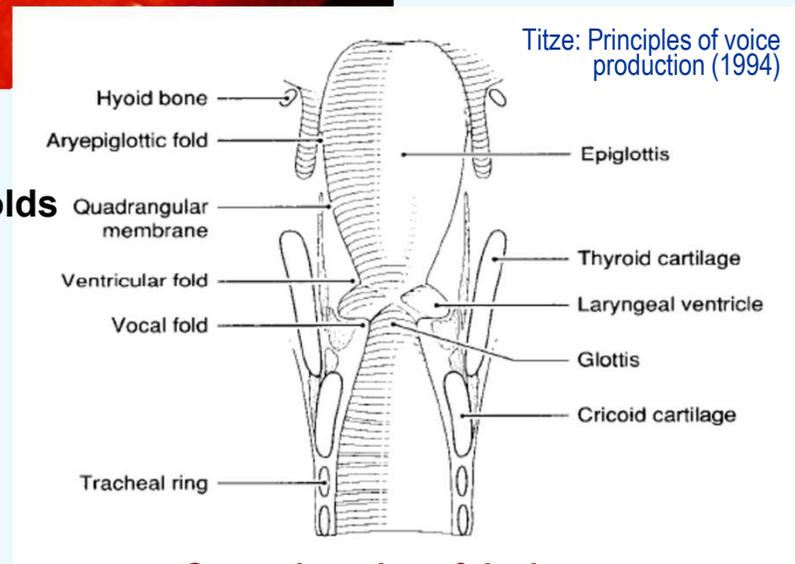
Aryepiglottic fold

Photo by H.K.Schutte, MD, PhD

Epiglottis:
Larynx entrance flap

Ventricular folds

Direction to tongue,
mouth



Coronal section of the larynx

Laryngeal anatomy

Struktura hrtanu

Hlasivky jsou umístěny v hrtanu

(larynx = hrtan, laryngeální = hrtanový)

Obecně lze strukturu hrtanu rozdělit na

- 1) tvrdou tkáň (chrupavčitá kostra)
- 2) měkkou tkáň (svalstvo, vazy a sliznice)

Laryngeal structure

Vocal folds are located in the larynx

Generally, we can divide larynx into:

- 1) Hard tissues (cartilaginous skeleton)
- 2) Soft tissues (muscles, ligaments and mucous membranes)

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Hrtanová příklopka (lat. epiglottis, značena E)

**The skeleton of the larynx
is composed of cartilages**

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, marked C)

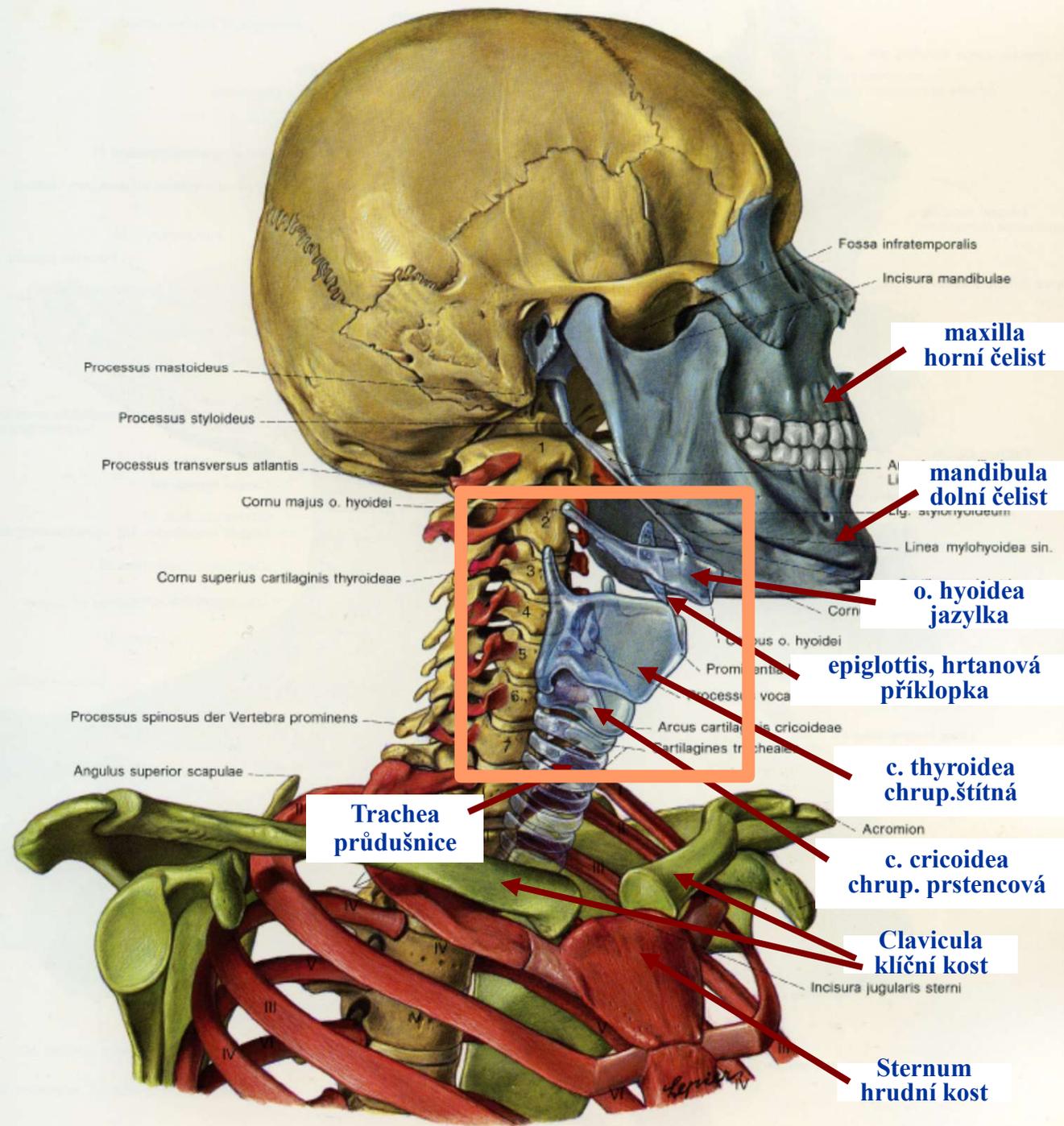
Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

Epiglottis (lat. Epiglottis, marked E)

KOSTRA HLASOVÉHO A ŘEČOVÉHO ÚSTROJÍ

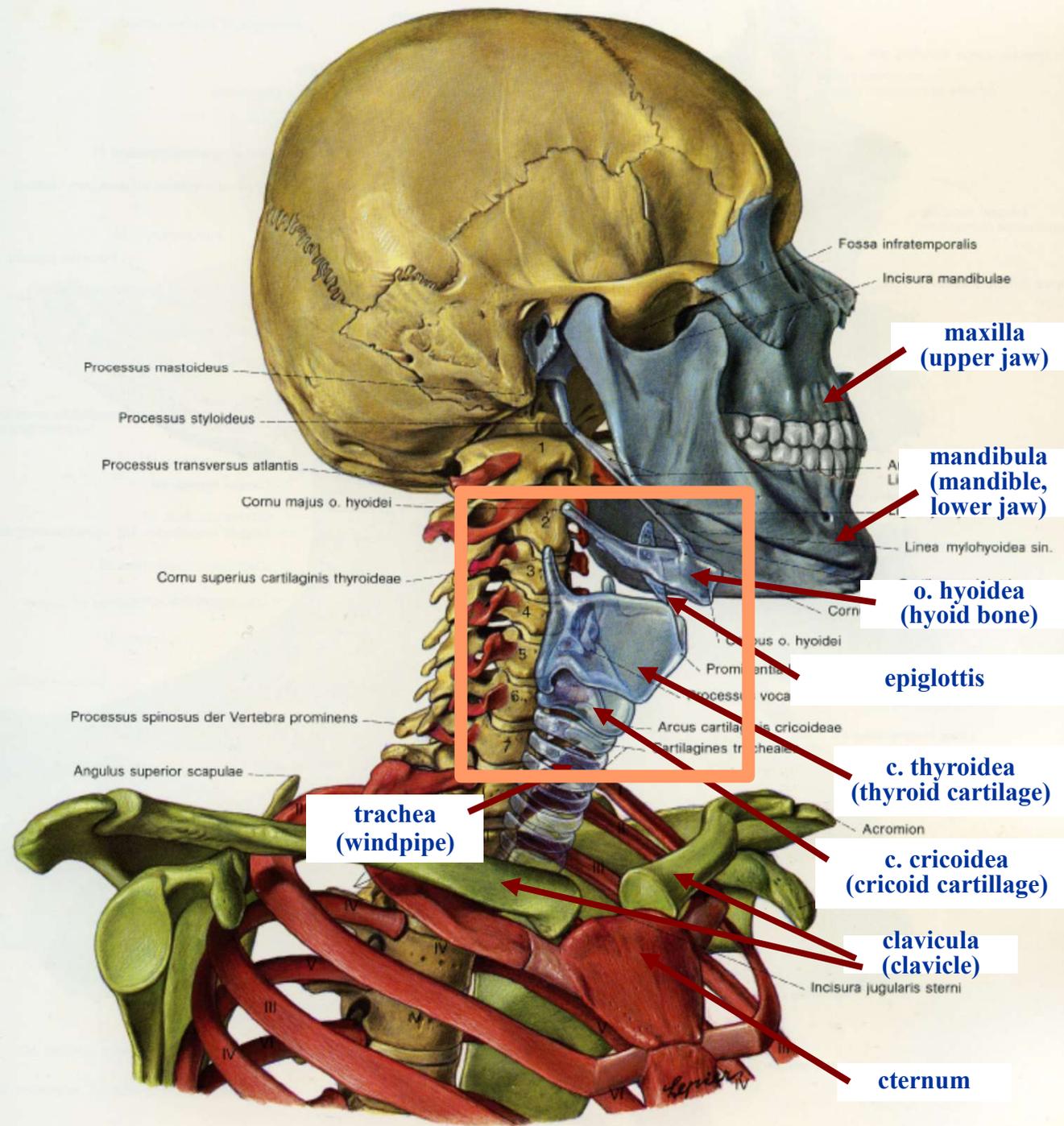
SKELETON OF THE VOICE AND SPEECH APPARATUS

Pernkopf (1956)



SKELETON OF THE VOICE AND SPEECH APPARATUS

Pernkopf (1956)



Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vepředu sbíhají v hranu, která vyniká zvláště u mužů pod kůží (sekundární pohlavní znak) a bývá lidově nazývána "ohryzskem". Vzadu vybíhají tyto destičky do horního a dolního rohu chrupavky štítné. Na horní roh se upíná vaz, který propojuje chrupavku štítnou s jazylkou. Dolní roh je kloubně spojen s chrupavkou prstencovou. Rotace chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem tohoto kloubu umožňuje napínání hlasivek, a tím nastavování frekvence hlasivek.

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

Cartilagenous Laryngeal Skeleton

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

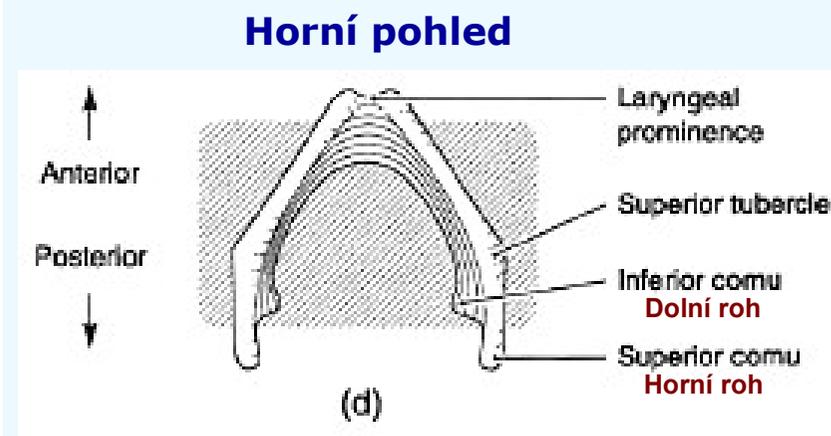
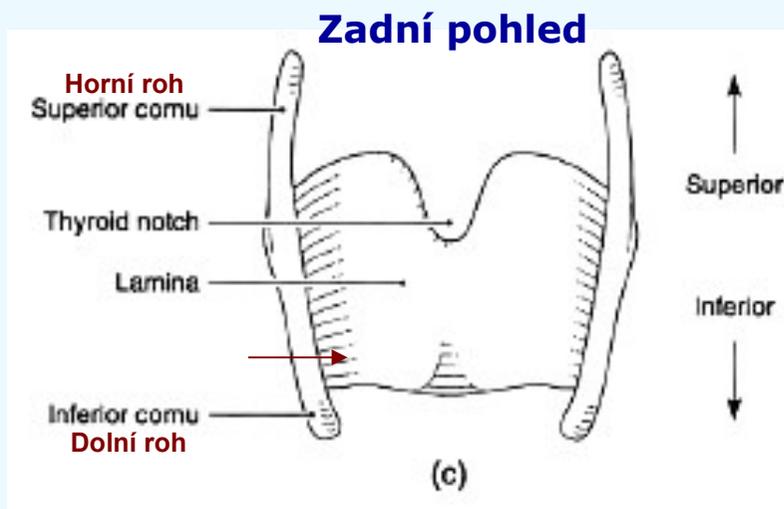
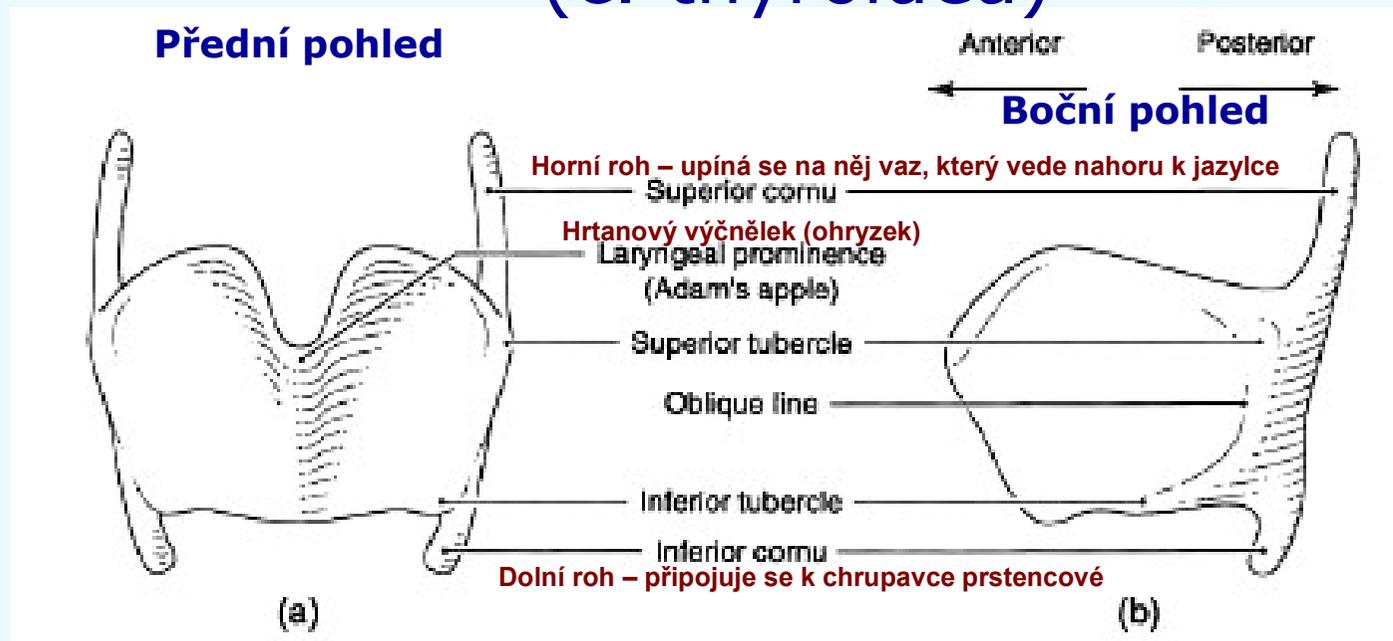
It is formed by two flat plates, which converge at the front edge. This edge is prominent especially in men under the skin (a secondary sexual characteristic) and is popularly called the "Adam's apple". Behind, these plates extend into the upper and lower horns of the thyroid cartilage. On top, the upper horn is attached to a ligament that connects the thyroid cartilage to the hyoid bone. The bottom horn forms a joint with the cricoid cartilage (cricothyroid joint, CT joint). Rotation of the thyroid cartilage against the cricoid cartilage around this joint allows tensioning of the vocal folds, thereby adjusting the vibrational frequency of the vocal folds.

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, labeled C)

Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

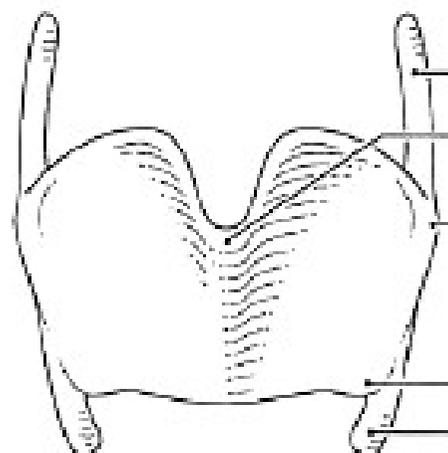
Epiglottis (lat. Epiglottis, labeled E)

Kostra hrtanu: chrupavka štítná (c. thyroidea)



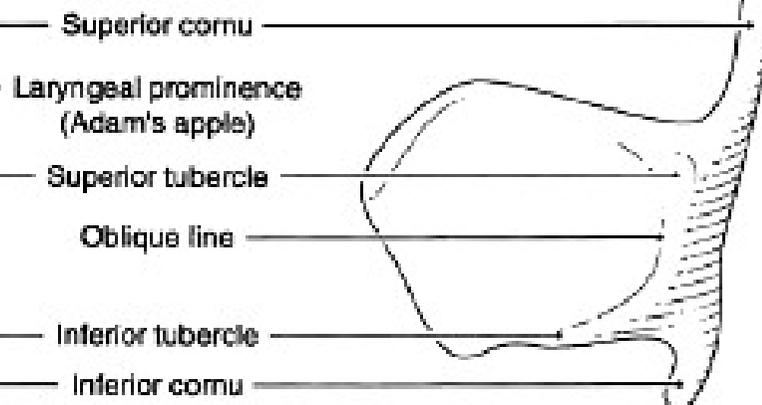
Cartillagenous laryngeal skeleton: THYROID CARTILAGE

Anterior (frontal) view



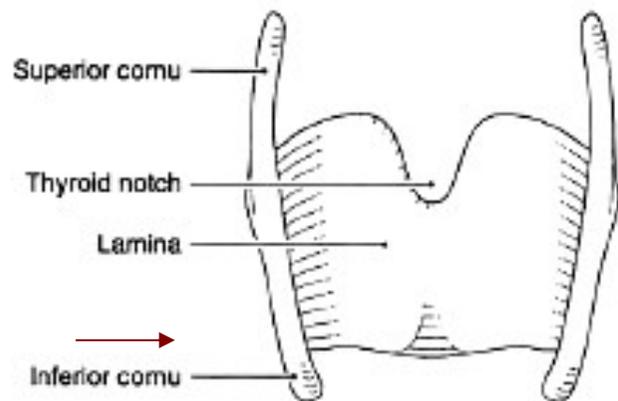
(a)

Anterior ← → Posterior
Lateral (side) view



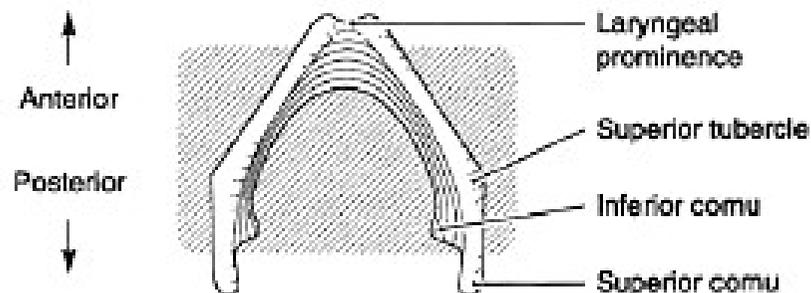
(b)

Posterior (back) view



(c)

Superior (top) view



(d)

Titze: Principles of voice production (1994), Fig. 1.4.

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vepředu sbíhají v hranu, která vyniká zvláště u mužů pod kůží (sekundární pohlavní znak) a bývá lidově nazývána "ohryzkem". Vzadu vybíhají tyto destičky do horního a dolního rohu chrupavky štítné. Na horní roh se upíná vaz, který propojuje chrupavku štítnou s jazylkou. Dolní roh je kloubně spojen s chrupavkou prstencovou. Rotace chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem tohoto kloubu umožňuje napínání hlasivek, a tím nastavování frekvence hlasivek.

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

má tvar prstence, který je vzadu vyšší než vepředu. Dole je spojena s průdušnicí. Zboku má kloubní plošky ke kterým jsou přichyceny dolní rohy chrupavky štítné (**crico-thyreoidní kloub, CT kloub**). Vzadu nahoře má dvě vyklenuté kloubní plochy, na které nasedají chrupavky hlasivkové (**crico-arytenoidní kloub, CA kloub**).

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

Cartilagenous Laryngeal Skeleton

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

It is made up of two flat plates, which converge at the front edge, which is visible especially by men under the skin (secondary sexual characteristics) and is popularly called the "Adam's apple". Behind these plates extend into the upper and lower corner of the thyroid cartilage. On top corner clamping the ligament that connects the thyroid cartilage to the hyoid bone. The bottom corner joints with cartilage ring. Rotation of the thyroid cartilage to the cartilage ring around this joint allows the tension of the vocal cords, thereby adjusting the frequency of the vocal cords.

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, labeled C)

It has the shape of a ring which is higher at the back than at the front. Below, it is connected to the trachea. At the sides, it has joint surfaces to which the lower corners of the thyroid cartilage are attached (cricothyroid joint, CT joint). At the top of the back, it has two curved articular surfaces which form the joints with arytenoid cartilages (cricoarytenoid joint, CA joint).

Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

Epiglottis (lat. Epiglottis, labeled E)

Kostra hrtanu: chrupavka prstencová (c. cricoidea)

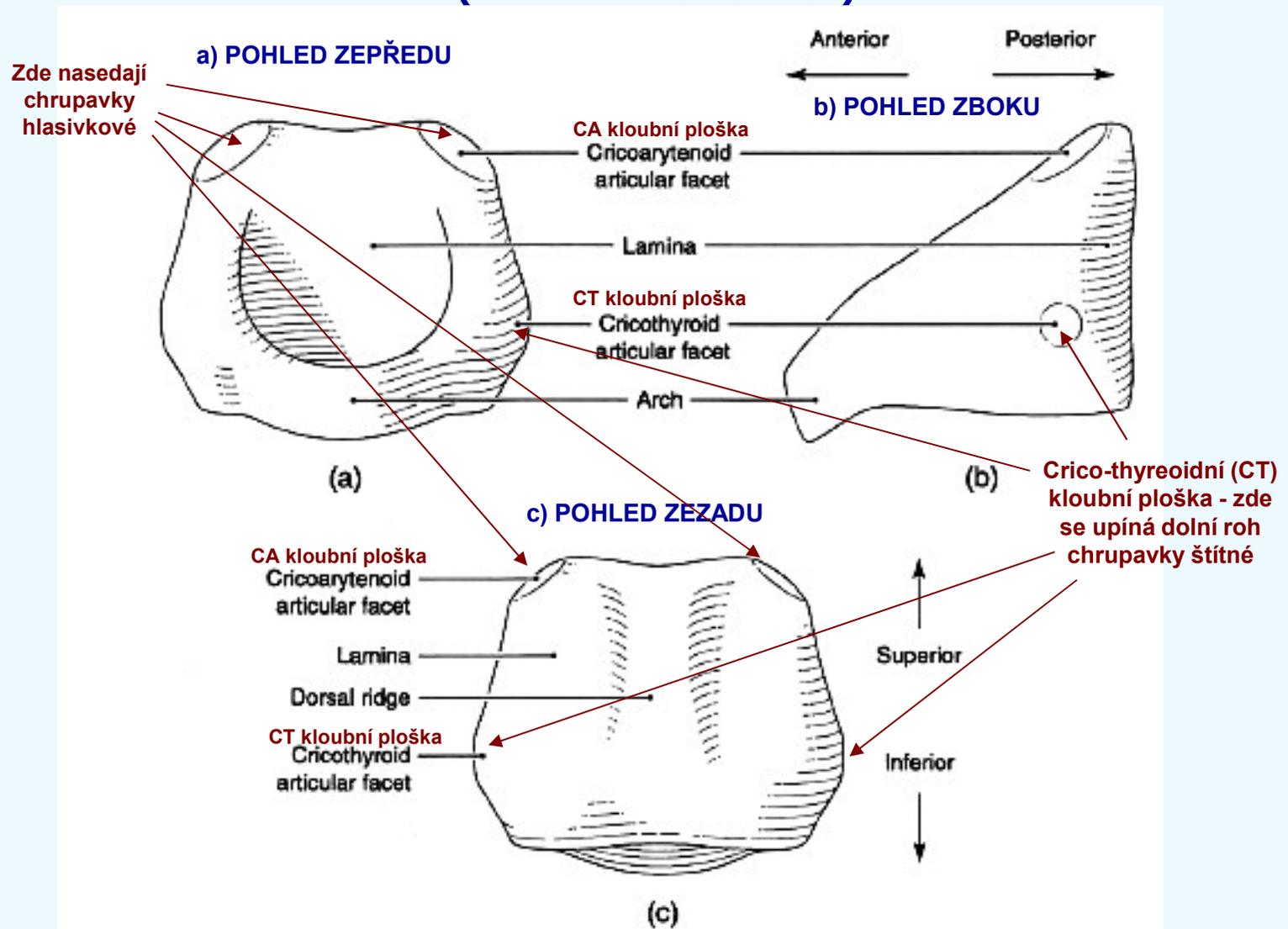


FIGURE 1.5. The cricoid cartilage: (a) anterior view, (b) lateral view, and (c) posterior view.

Cartilagenous laryngeal skeleton: CRICOID CARTILAGE

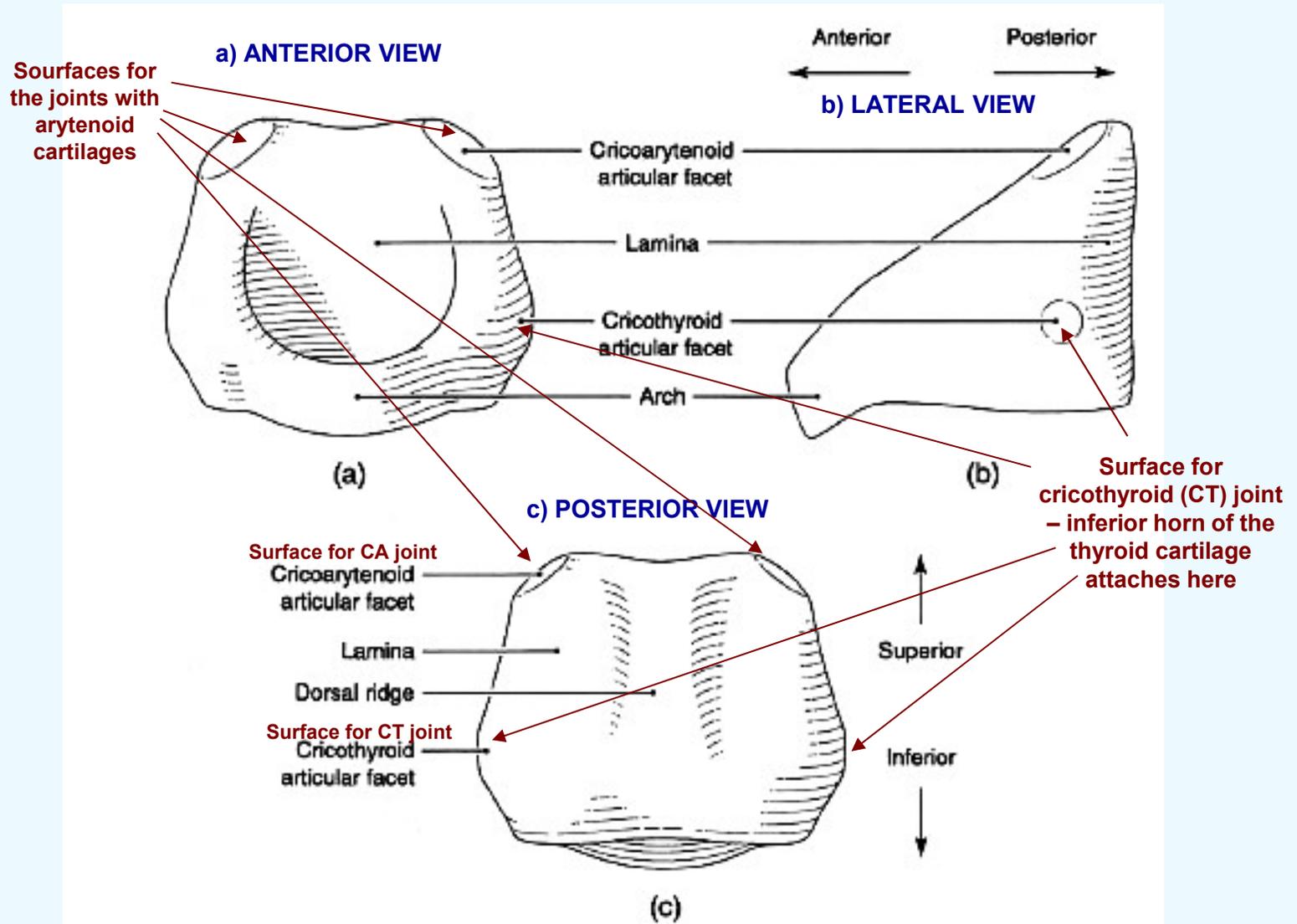


FIGURE 1.5. The cricoid cartilage: (a) anterior view, (b) lateral view, and (c) posterior view.

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vepředu sbíhají v hranu, která vyniká zvláště u mužů pod kůží (sekundární pohlavní znak) a bývá lidově nazývána "ohryzkem". Vzadu vybíhají tyto destičky do horního a dolního rohu chrupavky štítné. Na horní roh se upíná vaz, který propojuje chrupavku štítnou s jazylkou. Dolní roh je kloubně spojen s chrupavkou prstencovou. Rotace chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem tohoto kloubu umožňuje napínání hlasivek, a tím nastavování frekvence hlasivek.

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

má tvar prstence, který je vzadu vyšší než vepředu. Dole je spojena s průdušnicí. Zboku má kloubní plošky ke kterým jsou přichyceny dolní rohy chrupavky štítné (**crico-thyreoidní kloub, CT kloub**). Vzadu nahoře má dvě vyklenuté kloubní plochy, na které nasedají chrupavky hlasivkové (**crico-arytenoidní kloub, CA kloub**).

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Párové chrupavky, které sedí na vrcholcích chrupavky prstencové. Mají tři základní výběžky: **1)výběžek hlasivkový (processus vocalis)** na který se upíná hlasový vaz (ligamentum vocale), **2)výběžek svalový (processus muscularis)** na který se upínají svaly (viz dále) a **3)horní výběžek**, na který se přes malou chrupavku (c.corniculate) upíná aryepiglottická řasa. Rotační pohyby chrupavek hlasivkových umožňují **addukci** (přibližování se) a **abdukci** (rozevírání) hlasivek.

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

Cartilagenous Laryngeal Skeleton

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

It is made up of two flat plates, which converge at the front edge, which is visible especially by men under the skin (secondary sexual characteristics) and is popularly called the "Adam's apple". Behind these plates extend into the upper and lower corner of the thyroid cartilage. On top corner clamping the ligament that connects the thyroid cartilage to the hyoid bone. The bottom corner joints with cartilage ring. Rotation of the thyroid cartilage to the cartilage ring around this joint allows the tension of the vocal cords, thereby adjusting the frequency of the vocal cords.

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, labeled C)

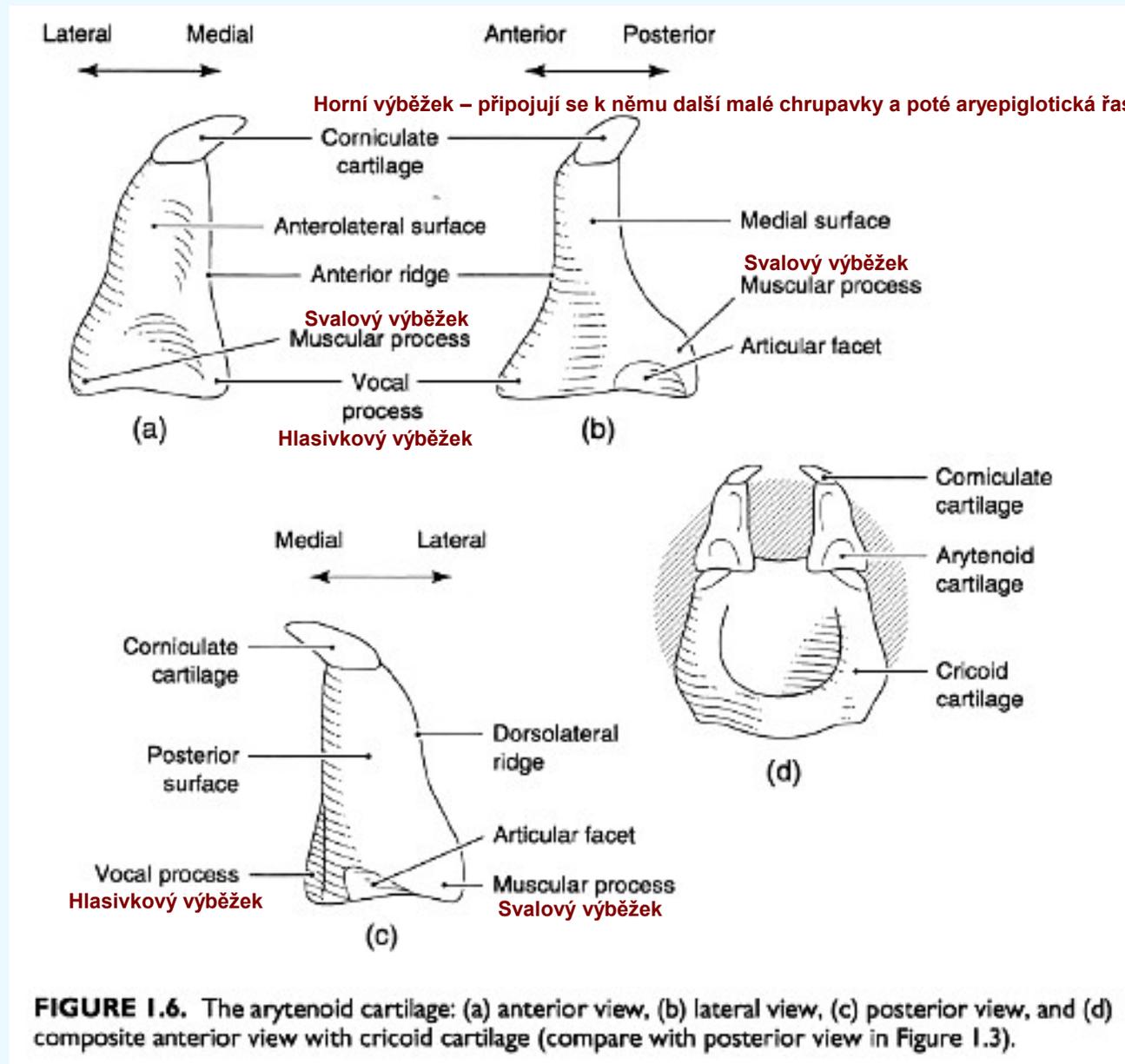
It has the shape of a ring which is higher at the back than at the front. Below, it is connected to the trachea. At the sides, it has joint surfaces to which the lower corners of the thyroid cartilage are attached (**cricothyroid joint, CT joint**). At the top of the back, it has two curved articular surfaces which form the joints with arytenoid cartilages (**cricoarytenoid joint, CA joint**).

Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

Pair of cartilages that sit atop the cricoid cartilage. They have three processes: 1) **vocal process (processus vocalis)** which attaches to vocal ligament (ligamentum vocale), 2) **muscular process (processus muscularis)** which attaches to muscles (see below) and 3) **an upper projection** which attaches, via a small cartilage (c.corniculate), to the aryepiglottic fold. Rotational (gliding and rocking) movements of this cartilage allow **adduction** (closing) and **abduction** (opening) of the vocal folds.

Epiglottis (lat. Epiglottis, labeled E)

Kostra hrtanu: chrupavky hlasivkové: (cc. arytaenoidee)



Titze: Principles of voice production (1994)

Cartilagenous laryngeal skeleton: ARYTENOID CARTILLAGES

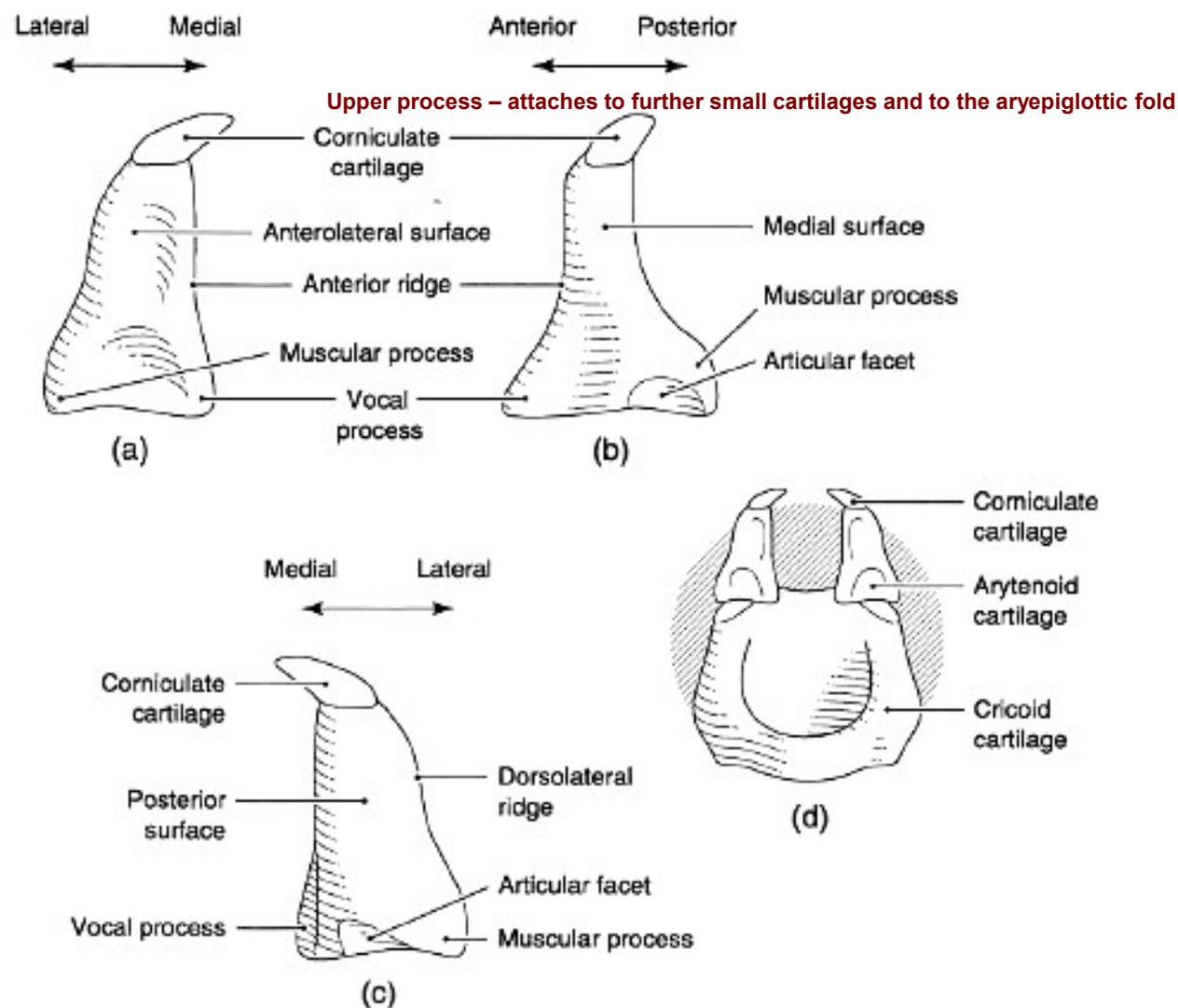
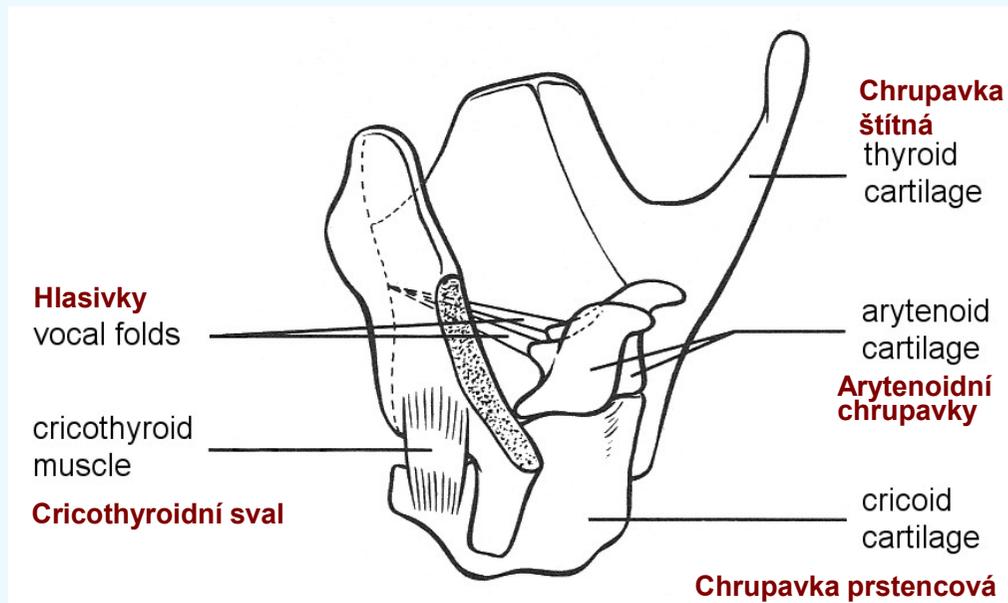


FIGURE 1.6. The arytenoid cartilage: (a) anterior view, (b) lateral view, (c) posterior view, and (d) composite anterior view with cricoid cartilage (compare with posterior view in Figure 1.3).

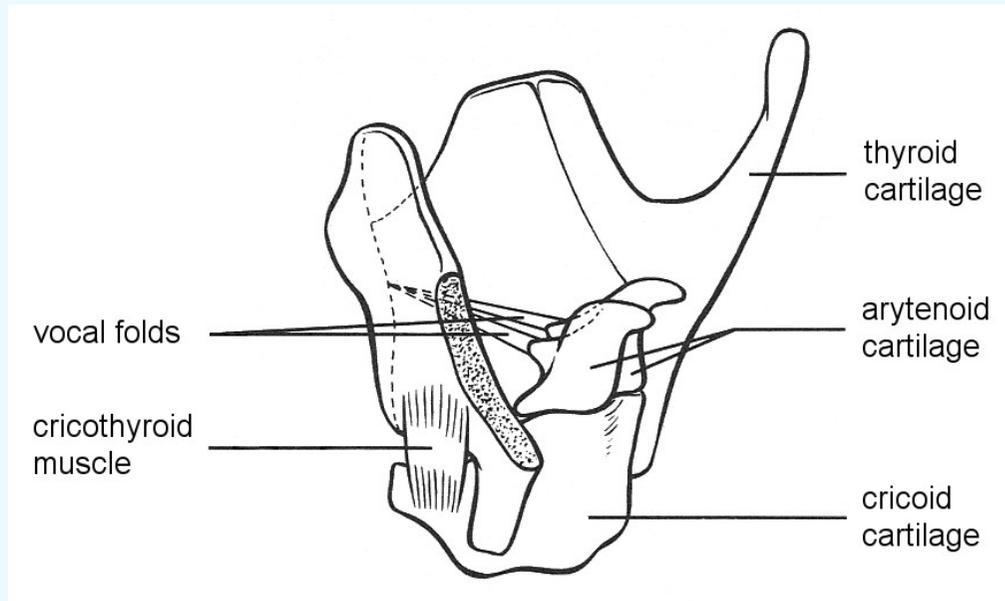
Titze: Principles of voice production (1994)

Kostra hrtanu: propojení chrupavky štítné, prstencové a chrupavek hlasivkových



Titze: Principles of voice production (1994)

Larynx skeleton: the connections between the cartilages



Titze: Principles of voice production (1994)

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vepředu sbíhají v hranu, která vyniká zvláště u mužů pod kůží (sekundární pohlavní znak) a bývá lidově nazývána "ohryzkem". Vzadu vybíhají tyto destičky do horního a dolního rohu chrupavky štítné. Na horní roh se upíná vaz, který propojuje chrupavku štítnou s jazylkou. Dolní roh je kloubně spojen s chrupavkou prstencovou. Rotace chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem tohoto kloubu umožňuje napínání hlasivek, a tím nastavování frekvence hlasivek.

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

má tvar prstence, který je vzadu vyšší než vepředu. Dole je spojena s průdušnicí. Zboku má kloubní plošky ke kterým jsou přichyceny dolní rohy chrupavky štítné (**crico-thyreoidní kloub, CT kloub**). Vzadu nahoře má dvě vyklenuté kloubní plochy, na které nasedají chrupavky hlasivkové (**crico-arytenoidní kloub, CA kloub**).

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Párové chrupavky, které sedí na vrcholcích chrupavky prstencové. Mají tři základní výběžky: **1) výběžek hlasivkový (processus vocalis)** na který se upíná hlasový vaz (ligamentum vocale), **2) výběžek svalový (processus muscularis)** na který se upínají svaly (viz dále) a **3) horní výběžek**, na který se přes malou chrupavku (c. corniculate) upíná aryepiglotická řasa. Rotační pohyby chrupavek hlasivkových umožňují **addukci** (přibližování se) a **abdukci** (rozevírání) hlasivek.

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

plní důležitou funkci uzavírání hrtanu při polykání. Na rozdíl od ostatních hrtanových chrupavek je tato chrupavka ohebná.

Cartilagenous laryngeal skeleton

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

It is made up of two flat plates, which converge at the front edge, which is visible especially by men under the skin (secondary sexual characteristics) and is popularly called the "Adam's apple". Behind these plates extend into the upper and lower corner of the thyroid cartilage. On top corner clamping the ligament that connects the thyroid cartilage to the hyoid bone. The bottom corner joints with cartilage ring. Rotation of the thyroid cartilage to the cartilage ring around this joint allows the tension of the vocal cords, thereby adjusting the frequency of the vocal cords.

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, labeled C)

It has the shape of a ring which is higher at the back than at the front. Below, it is connected to the trachea. At the sides, it has joint surfaces to which the lower corners of the thyroid cartilage are attached (**cricothyroid joint, CT joint**). At the top of the back, it has two curved articular surfaces which form the joints with arytenoid cartilages (**cricoarytenoid joint, CA joint**).

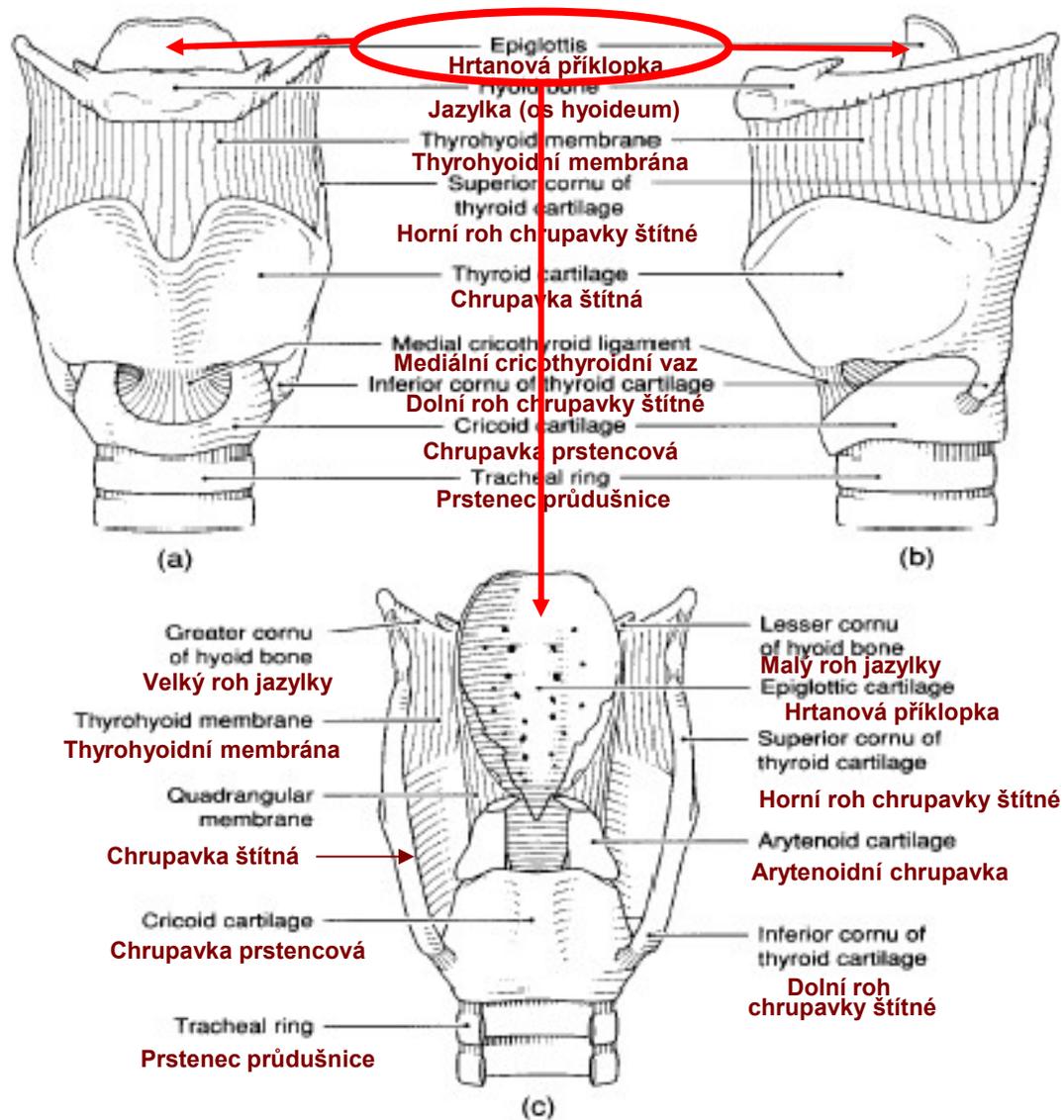
Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

Pair of cartilages that sit atop the cricoid cartilage. They have three processes: 1) **vocal process (processus vocalis)** which attaches to vocal ligament (ligamentum vocale), 2) **muscular process (processus muscularis)** which attaches to muscles (see below) and 3) **an upper projection** which attaches, via a small cartilage (c.corniculate), to the aryepiglottic fold. Rotational (gliding and rocking) movements of this cartilage allow **adduction** (closing) and **abduction** (opening) of the vocal folds.

Epiglottis (lat. Epiglottis, labeled E)

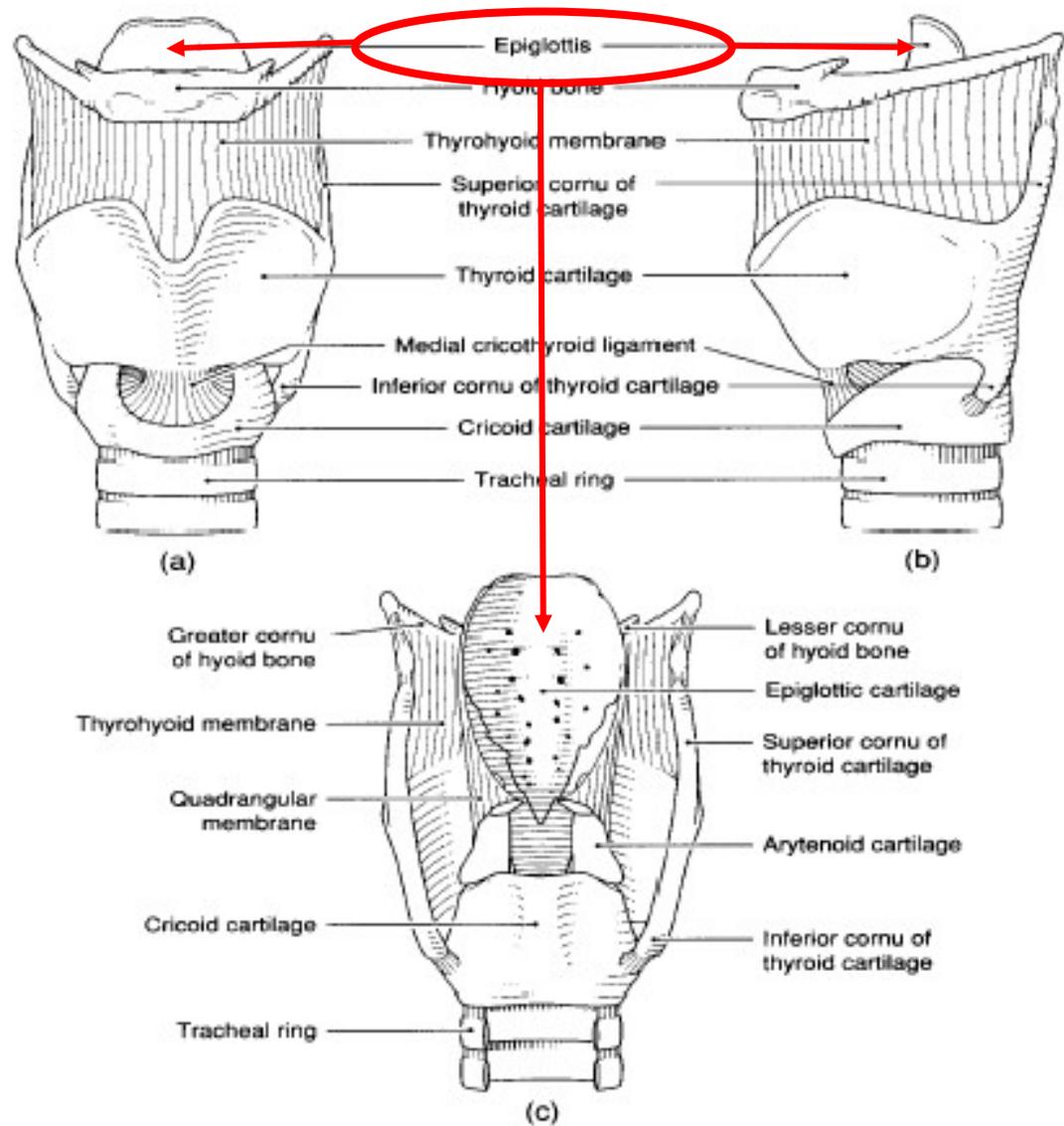
It fulfills an important function of closing the larynx during swallowing. This cartilage is flexible (hyaline), unlike the other cartilages.

Anatomie – kostra hrtanu



Titze: Principles of voice production (1994)

Anatomy – laryngeal skeleton



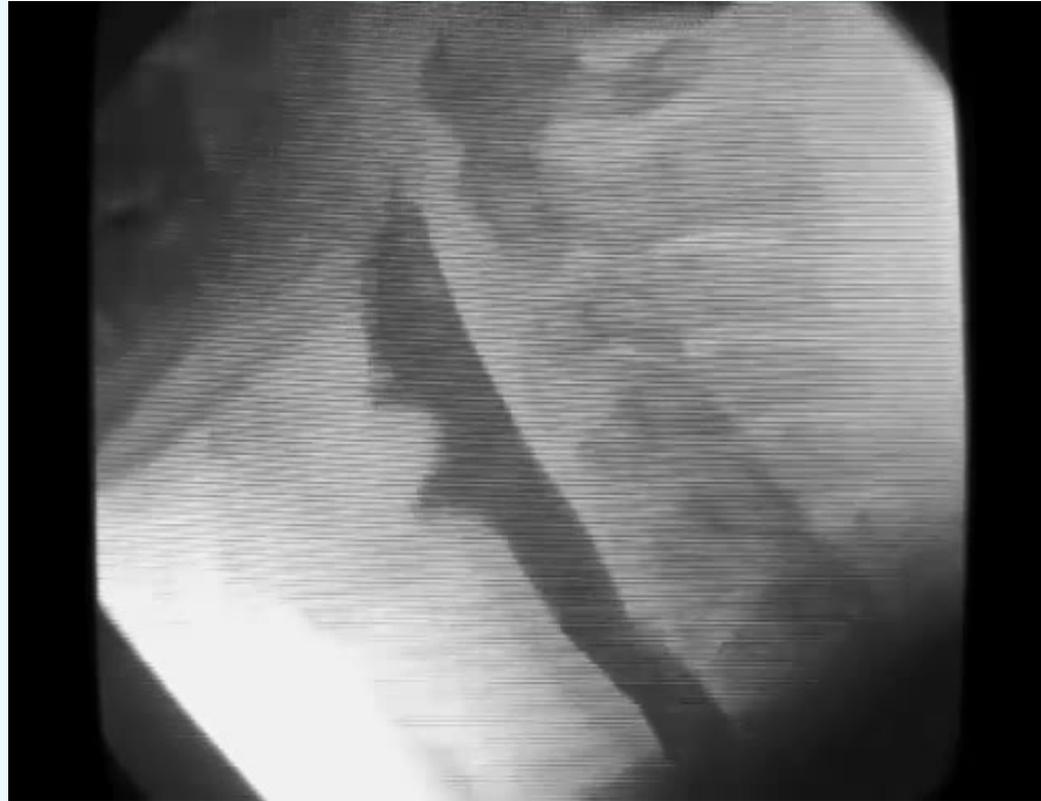
Titze: Principles of voice production (1994)

DÝCHACÍ CESTY PŘI POLYKÁNÍ: OCHRANNÁ FUNKCE HRTANU /
BREATHING AIRWAYS DURING SWALLOWING : PROTECTIVE
LARYNGEAL FUNCTION



Zdroj: www.youtube.com/watch?v=umnnA50IDIY

DEMONSTRACE – laryngoskopie DEMONSTRATION - laryngoscopy



Polykání / Swallowing

http://www.youtube.com/watch?v=xu_YYOAIZEw

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

Chrupavka štítná (lat. cartilago thyroidea, značena T),

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vepředu sbíhají v hranu, která vyniká zvláště u mužů pod kůží (sekundární pohlavní znak) a bývá lidově nazývána "ohryzkem". Vzadu vybíhají tyto destičky do horního a dolního rohu chrupavky štítné. Na horní roh se upíná vaz, který propojuje chrupavku štítnou s jazylkou. Dolní roh je kloubně spojen s chrupavkou prstencovou. Rotace chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem tohoto kloubu umožňuje napínání hlasivek, a tím nastavování frekvence hlasivek.

Chrupavka prstencová (lat. cartilago cricoidea, značena C)

má tvar prstence, který je vzadu vyšší než vepředu. Dole je spojena s průdušnicí. Zboku má kloubní plošky ke kterým jsou přichyceny dolní rohy chrupavky štítné (**crico-thyreoidní kloub, CT kloub**). Vzadu nahoře má dvě vyklenuté kloubní plochy, na které nasedají chrupavky hlasivkové (**crico-arytenoidní kloub, CA kloub**).

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Párové chrupavky, které sedí na vrcholcích chrupavky prstencové. Mají tři základní výběžky: **1)výběžek hlasivkový (processus vocalis)** na který se upíná hlasový vaz (ligamentum vocale), **2)výběžek svalový (processus muscularis)** na který se upínají svaly (viz dále) a **3)horní výběžek**, na který se přes malou chrupavku (c.corniculate) upíná aryepiglotická řasa. Rotační pohyby chrupavek hlasivkových umožňují **addukci** (přibližování se) a **abdukci** (rozevírání) hlasivek.

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

plní důležitou funkci uzavírání hrtanu při polykání. Na rozdíl od ostatních hrtanových chrupavek je tato chrupavka ohebná.

Jazylka (lat. os hyoideum)

je jedinou kostí, nebývá uvažována jako přímá součást hrtanu. Na jazylku se nicméně upíná poměrně velké množství zevních hrtanových svalů, které umožňují celkové pohyby hrtanu. Funguje jako útvar, na němž je "zavěšen" hrtan.

Cartilagenous larynx skeleton

Thyroid cartilage (lat. Cartilago thyroidea, marked T)

It is made up of two flat plates, which converge at the front edge, which is visible especially by men under the skin (secondary sexual characteristics) and is popularly called the "Adam's apple". Behind these plates extend into the upper and lower corner of the thyroid cartilage. On top corner clamping the ligament that connects the thyroid cartilage to the hyoid bone. The bottom corner joints with cartilage ring. Rotation of the thyroid cartilage to the cartilage ring around this joint allows the tension of the vocal cords, thereby adjusting the frequency of the vocal cords.

Cricoid cartilage (lat. Cartilago cricoidea, labeled C)

It has the shape of a ring which is higher at the back than at the front. Below, it is connected to the trachea. At the sides, it has joint surfaces to which the lower corners of the thyroid cartilage are attached (**cricothyroid joint, CT joint**). At the top of the back, it has two curved articular surfaces which form the joints with arytenoid cartilages (**cricoarytenoid joint, CA joint**).

Arytenoid cartilages (lat. Cartilagine arytenoidee, labeled A)

Pair of cartilages that sit atop the cricoid cartilage. They have three processes: 1) **vocal process (processus vocalis)** which attaches to vocal ligament (ligamentum vocale), 2) **muscular process (processus muscularis)** which attaches to muscles (see below) and 3) **an upper projection** which attaches, via a small cartilage (c.corniculate), to the aryepiglottic fold. Rotational (gliding and rocking) movements of this cartilage allow **adduction** (closing) and **abduction** (opening) of the vocal folds.

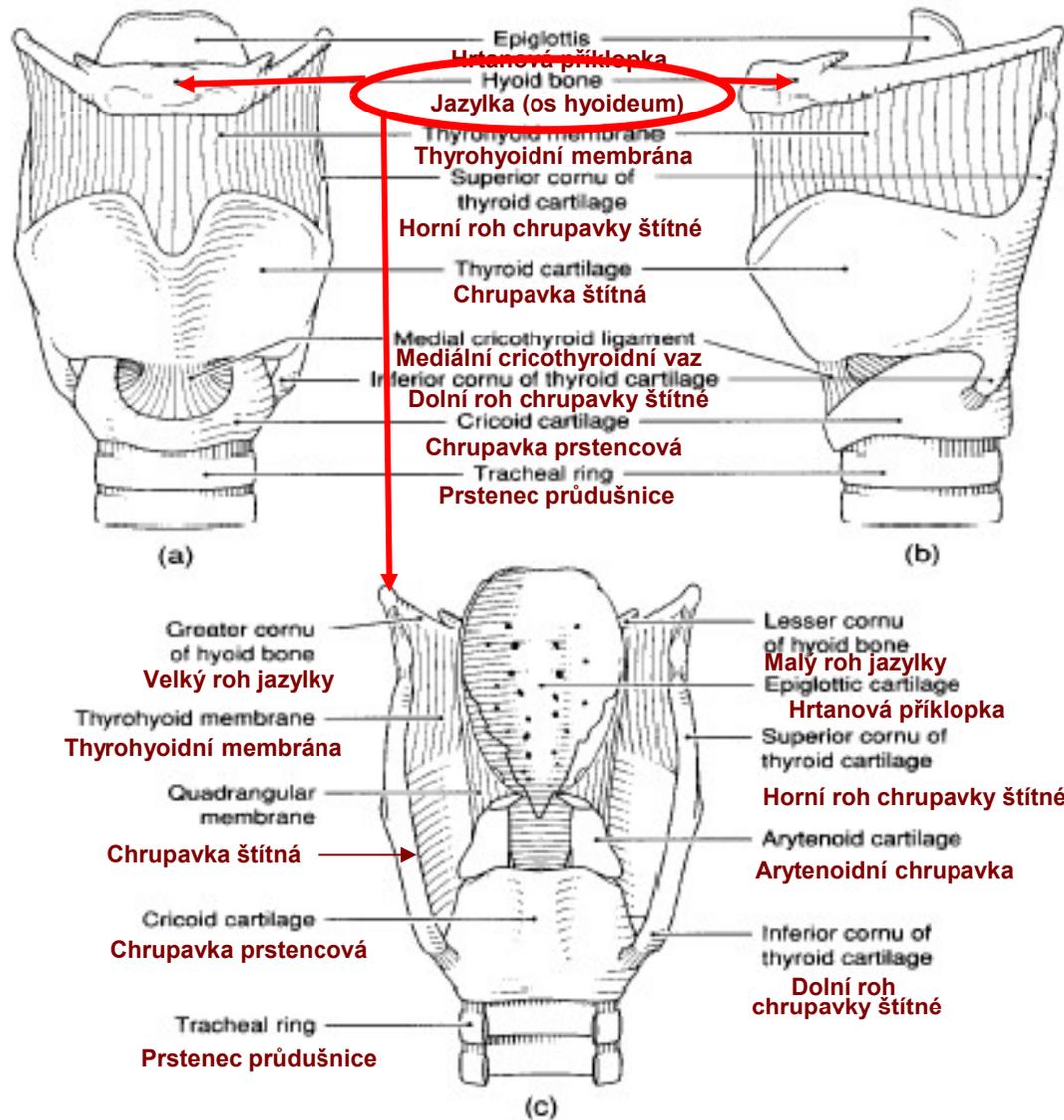
Epiglottis (lat. Epiglottis, labeled E)

It fulfills an important function of closing the larynx during swallowing. This cartilage is flexible (hyaline), unlike the other cartilages.

Hyoid bone (lat. os hyoidea)

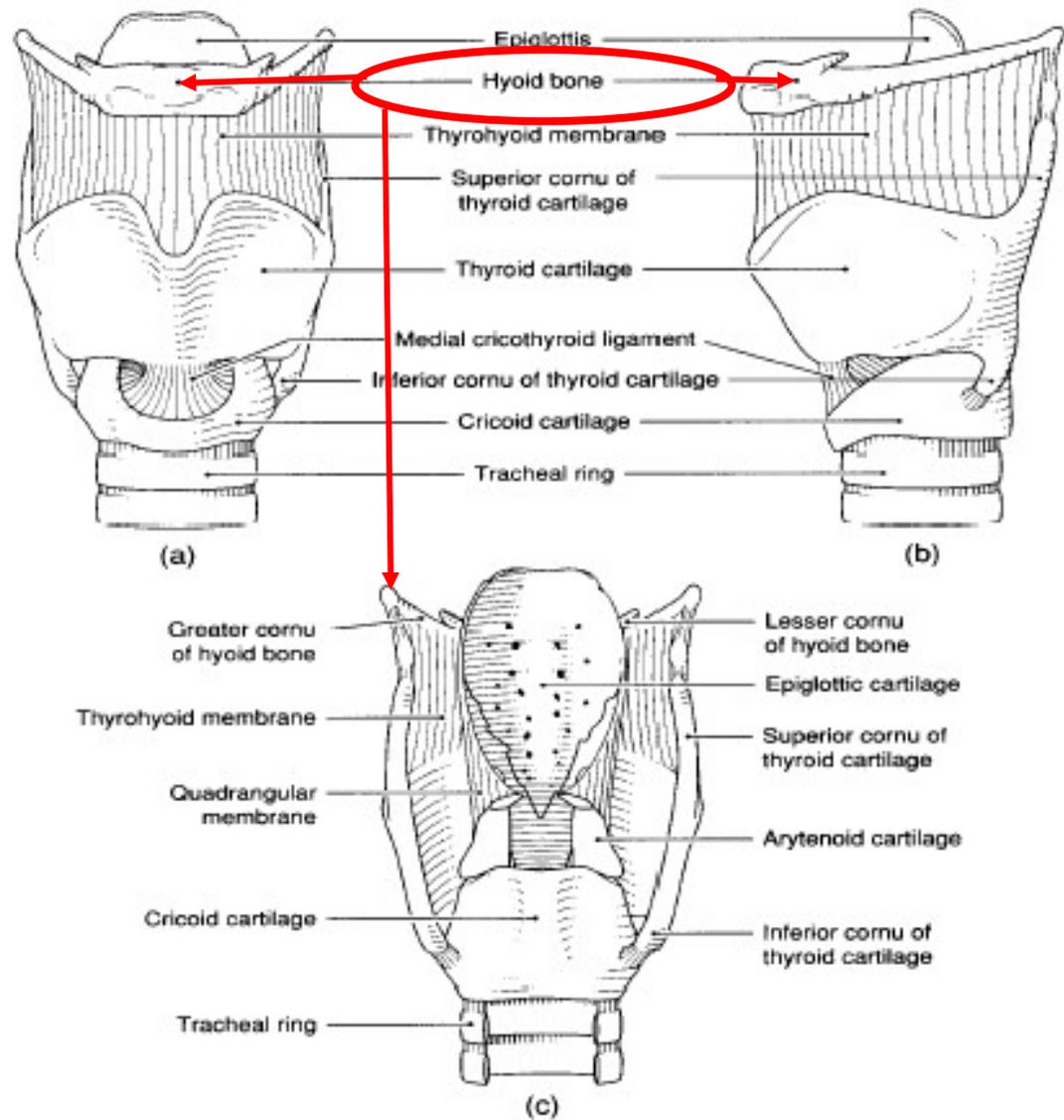
It is the only bone of the larynx and is not considered to be a direct part of the larynx. However, relatively large amount of external laryngeal muscles are attached to it, allowing up and down movements of the whole larynx. It works as a unit, on which the larynx is "suspended".

Anatomie – kostra hrtanu



Titze: Principles of voice production (1994)

Anatomy – laryngeal skeleton



Titze: Principles of voice production (1994)

Anatomie – kostra hrtanu

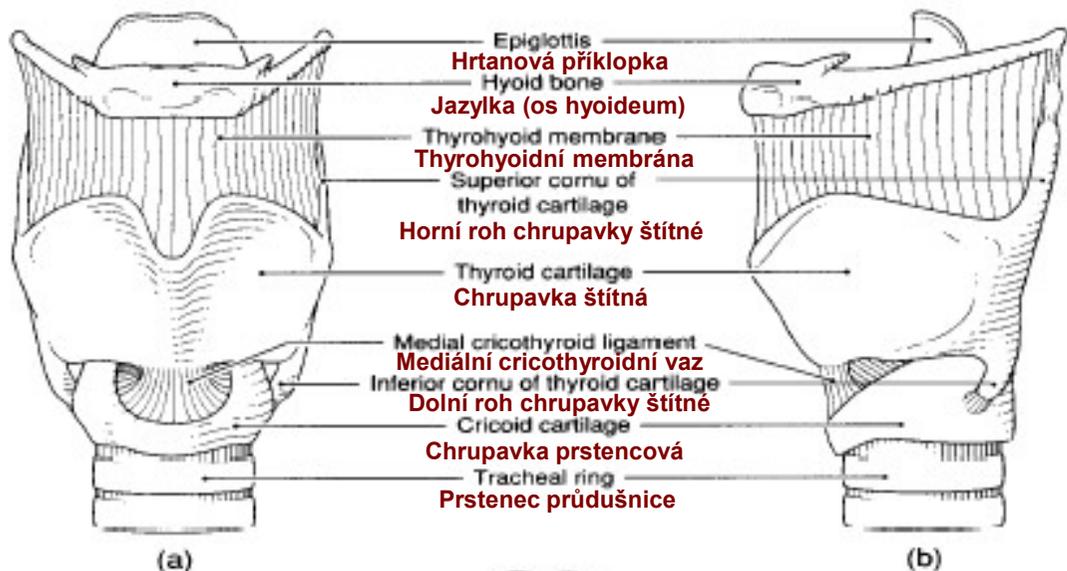
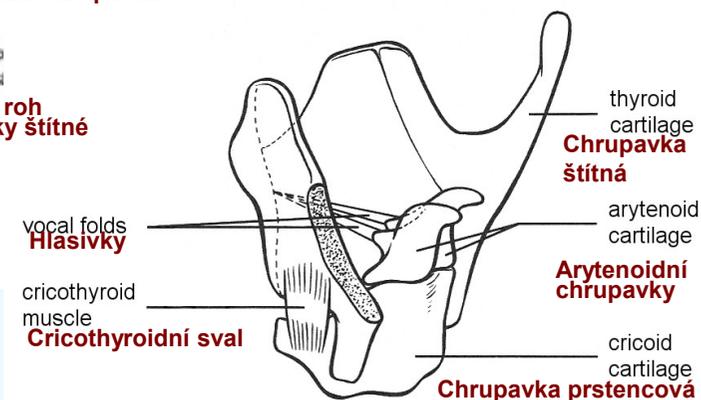
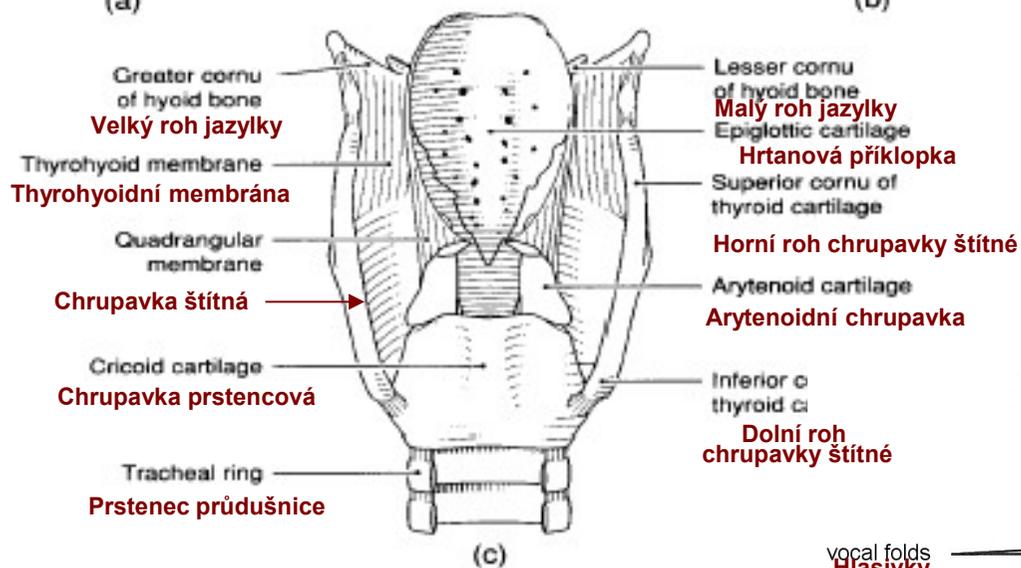
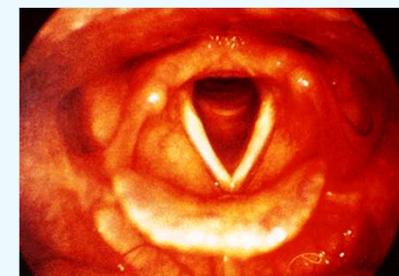


Photo by H.K.Schutte, MD, PhD



Titze: Principles of voice production (1994)

Anatomy – laryngeal skeleton

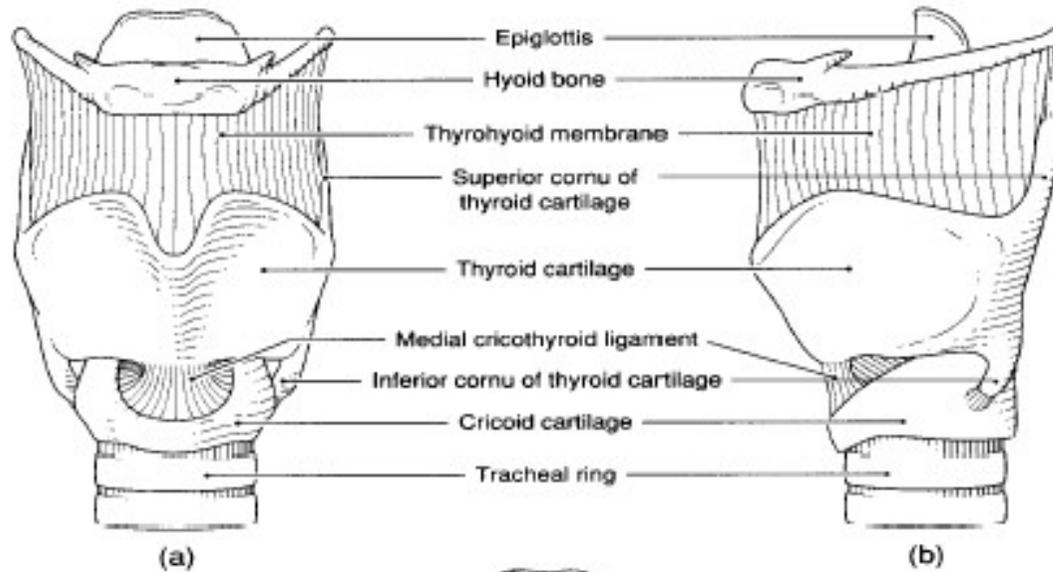
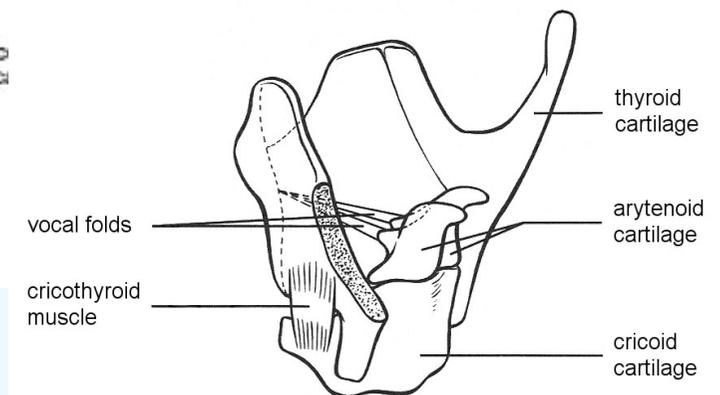
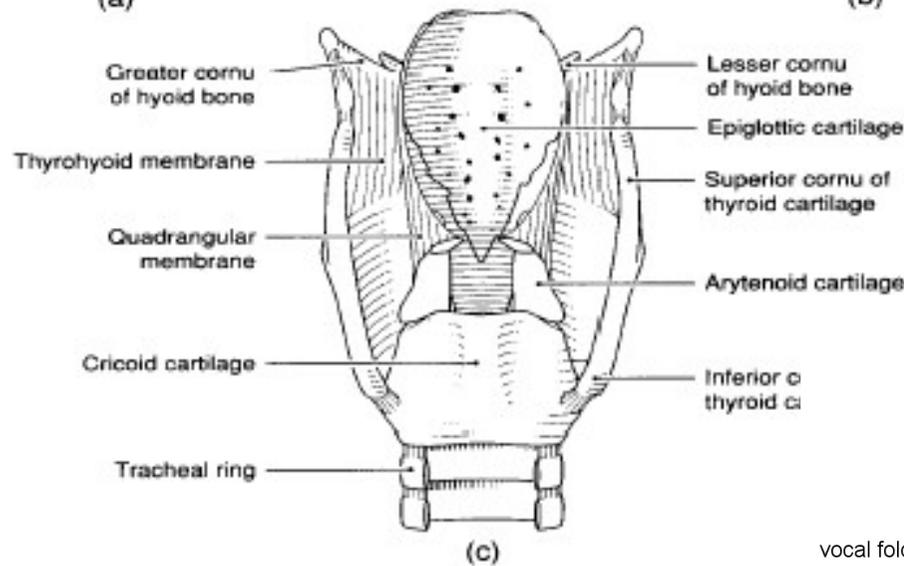
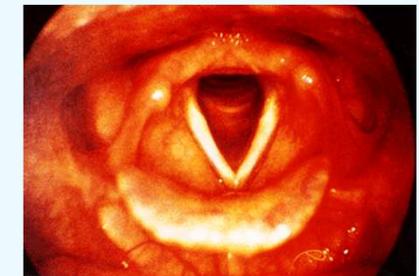


Photo by H.K.Schutte, MD, PhD



Titze: Principles of voice production (1994)

Svalstvo hrtanu

Svalstvo hrtanu se dělí na **vnější** a **vnitřní**.

Vnější svalstvo spojuje hrtan s ostatními strukturami – zejména s hrudní kostí (lat. sternum) a jazyčkou (lat. os hyoideum).

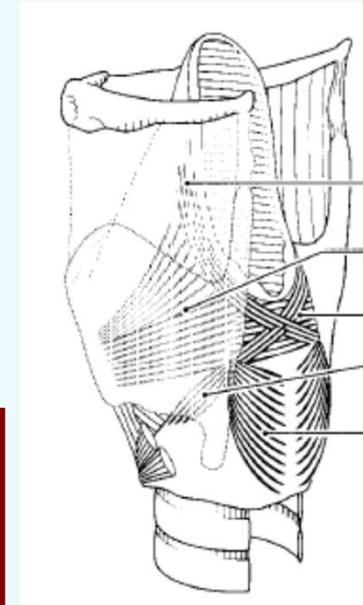
[Funkce: např. při polykání způsobí pohyb hrtanu vzhůru a uzavření hrtanové příklopky. Při operním zpěvu či při imitaci velkých zvířat nebo obrů umožňuje posun hrtanu dolů]

Vnitřní svalstvo propojuje navzájem chrupavky hrtanu a je rozhodující pro fonační a dýchací funkci.

Dělíme na *adduktory* a *abduktory*.

Adduktory způsobují uzavírání hlasové štěrbině, neboli addukci,

Abduktory otevírají, abdukují, hlasovou štěrbinu.



I.R. Titze: Principles of voice production (1994)

Muscles of the larynx

The muscles of the larynx are divided into **external** and **internal**.

External laryngeal muscles attach the larynx to other structures - especially to the sternum and the hyoid bone.

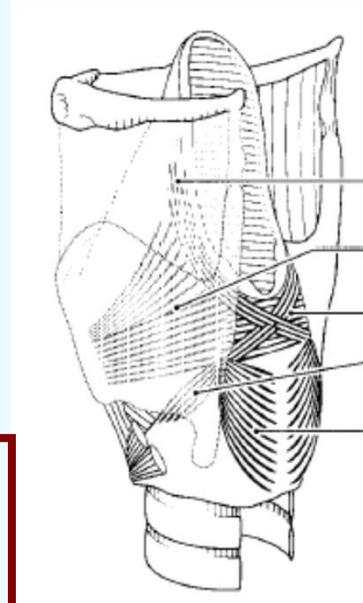
[Activity examples: In swallowing larynx moves upwards and closes the epiglottis. In imitating giants or big animals (bear,...) larynx moves downwards.]

Internal laryngeal muscles interconnect the laryngeal cartilages and are critical for phonatory (and respiratory) function.

They are divided into adductors and abductors.

Adductors cause vocal fold closing, adduction.

Abductors cause vocal fold opening, abduction.



I.R. Titze: Principles of voice production (1994)

Vnitřní svalstvo hrtanu

Obr. 1.10. Schematické znázornění chrupavek hrtanu a vnitřního svalstva hrtanu (pohled shora). Modifikováno podle Hybáška (1953).

Chrupavky:

T - chrupavka štítná (cartilago thyroidea);

C - chrupavka prstencová (c. cricoidea);

A - chrupavka hlasivková (c. arytenoidea).

p.v. - výběžek hlasivkový (processus vocalis)

p.m. - výběžek svalový (processus muscularis)

m. = musculus (lat. sval)

Svaly:

CT - m. cricothyroideus; **Zevní napínač hrtanu** – napíná, prodlužuje hlasivky

TA - m. thyroarytenoideus; **Sval hlasivkový** - kontrahuje a ztlušťuje hlasivky

LCA - m. cricoarytenoideus lateralis; **Addukuje hlasivku přes processus vocalis**

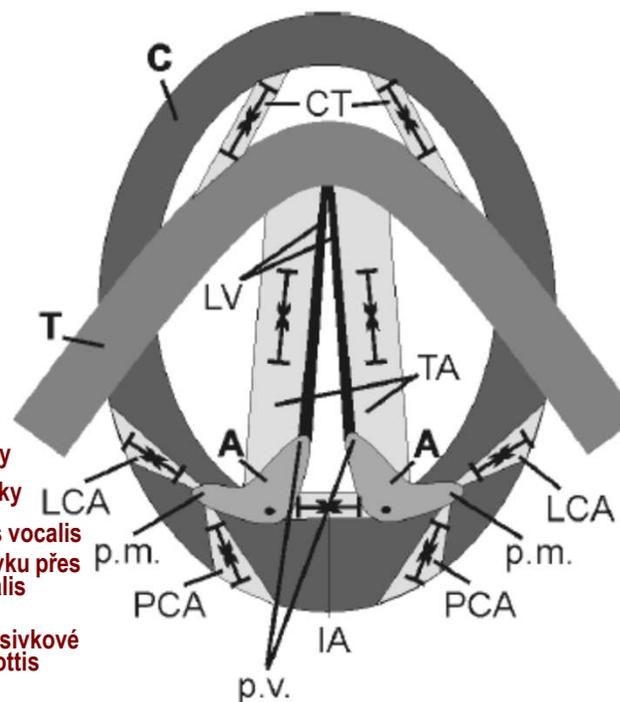
PCA - m. cricoarytenoideus posterior (m. posticus); **Abdukuje hlasivku přes processus vocalis**

IA - m. arytenoideus transversus (**interarytenoid muscle**)

Jediný nepárový sval hrtanu – Přitahuje k sobě chrupavky hlasivkové + uzavírá chrupavčitou část glottis

Vazy:

LV - hlasový vaz (ligamentum vocale). **Součást hlasivky, poskytuje napětí okraji hlasivky**



Otázka: je hlasivkový sval (TA) adduktorem či abduktorem?

Internal laryngeal muscles

Obr. 1.10. Schematické znázornění chrupavek hrtanu a vnitřního svalstvo hrtanu (pohled shora). Modifikováno podle Hybáška (1953).

Chrupavky: **Cartilages**

T - chrupavka štítná (cartilago thyroidea); **Thyroid cartilage**

C - chrupavka prstencová (c. cricoidea); **Cricoid cartilage**

A - chrupavka hlasivková (c. arytenoidea). **Arytenoid cartilages**

p.v. - výběžek hlasivkový (processus vocalis) **Vocal process**

p.m. - výběžek svalový (processus muscularis) **Muscular process**

Svaly: **Muscles**

CT - m. cricothyroideus; **Cricothyroid muscle – elongates the vocal folds**

TA - m. thyroarytenoideus; **Thyroarytenoid muscle - shortens and bulges the vocal folds**

LCA - m. cricoarytenoideus lateralis; **Lateral cricoarytenoid muscle - adducts the vocal fold via vocal process**

PCA - m. cricoarytenoideus posterior (m. posticus); **Posterior cricoarytenoid muscle – abducts the vocal fold via vocal process**

IA - m. arytenoideus transversus.

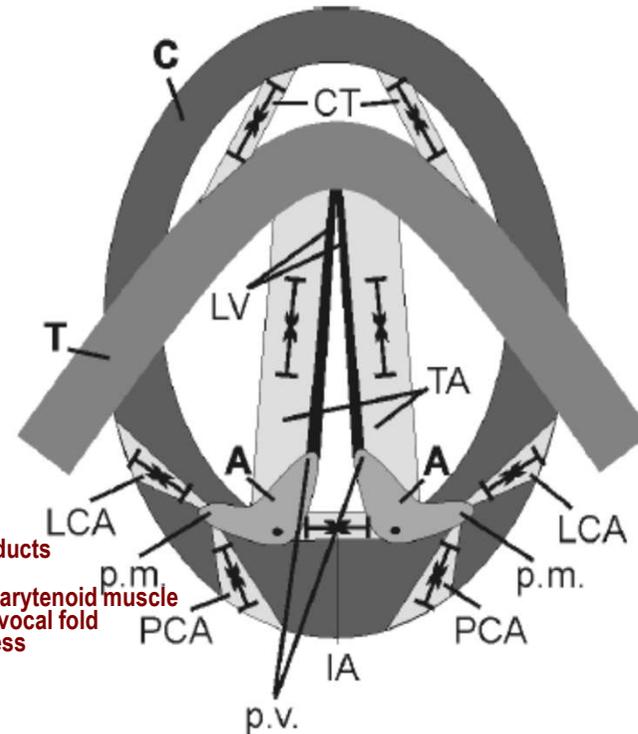
Interarytenoid muscles (transverse and oblique parts)

Bring the arytenoid cartilages together

Close the cartillaginous glottis

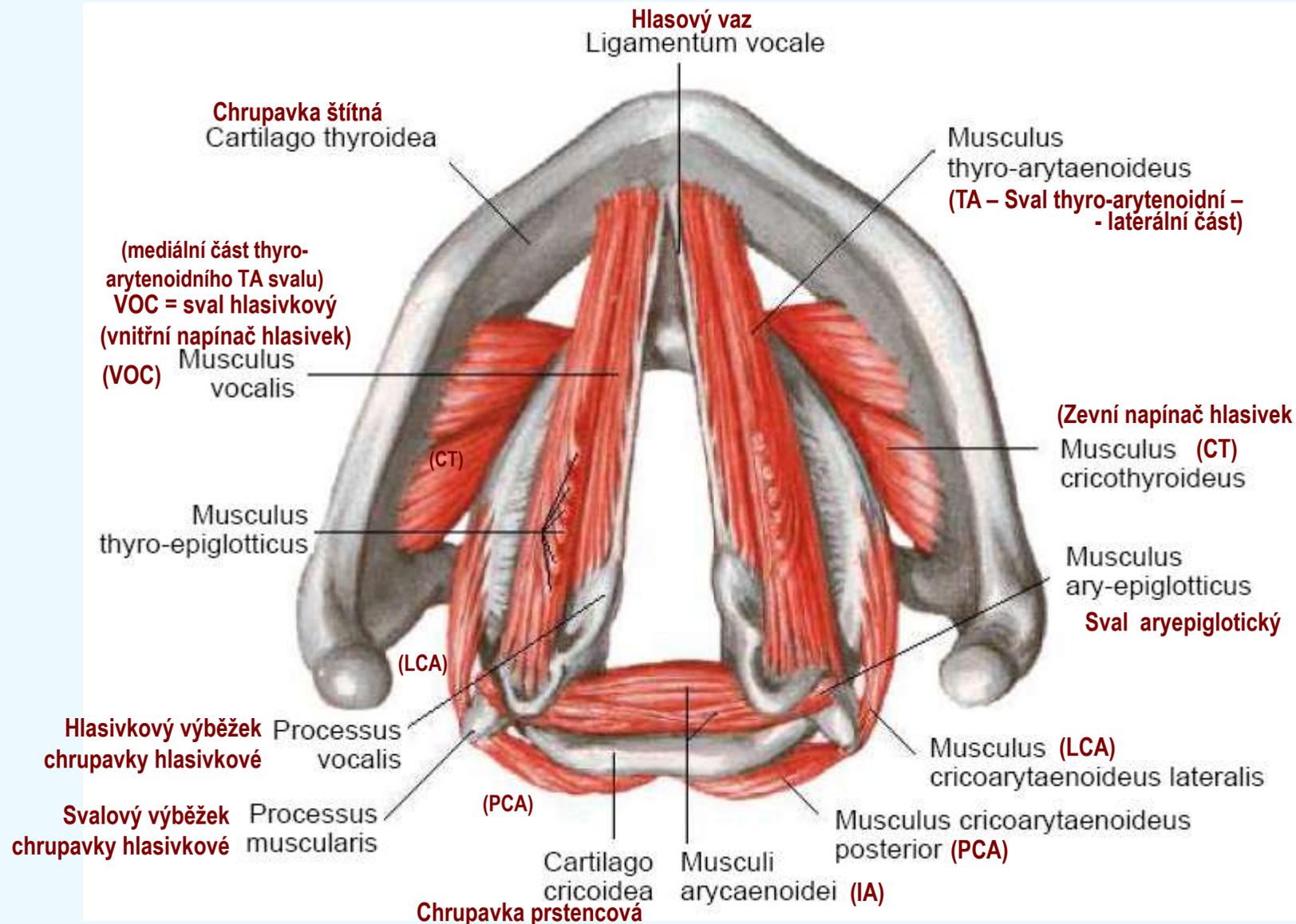
Vazy:

LV - hlasový vaz (ligamentum vocale). **Vocal ligament – part of the vocal fold, provides tension to the vocal fold margin**



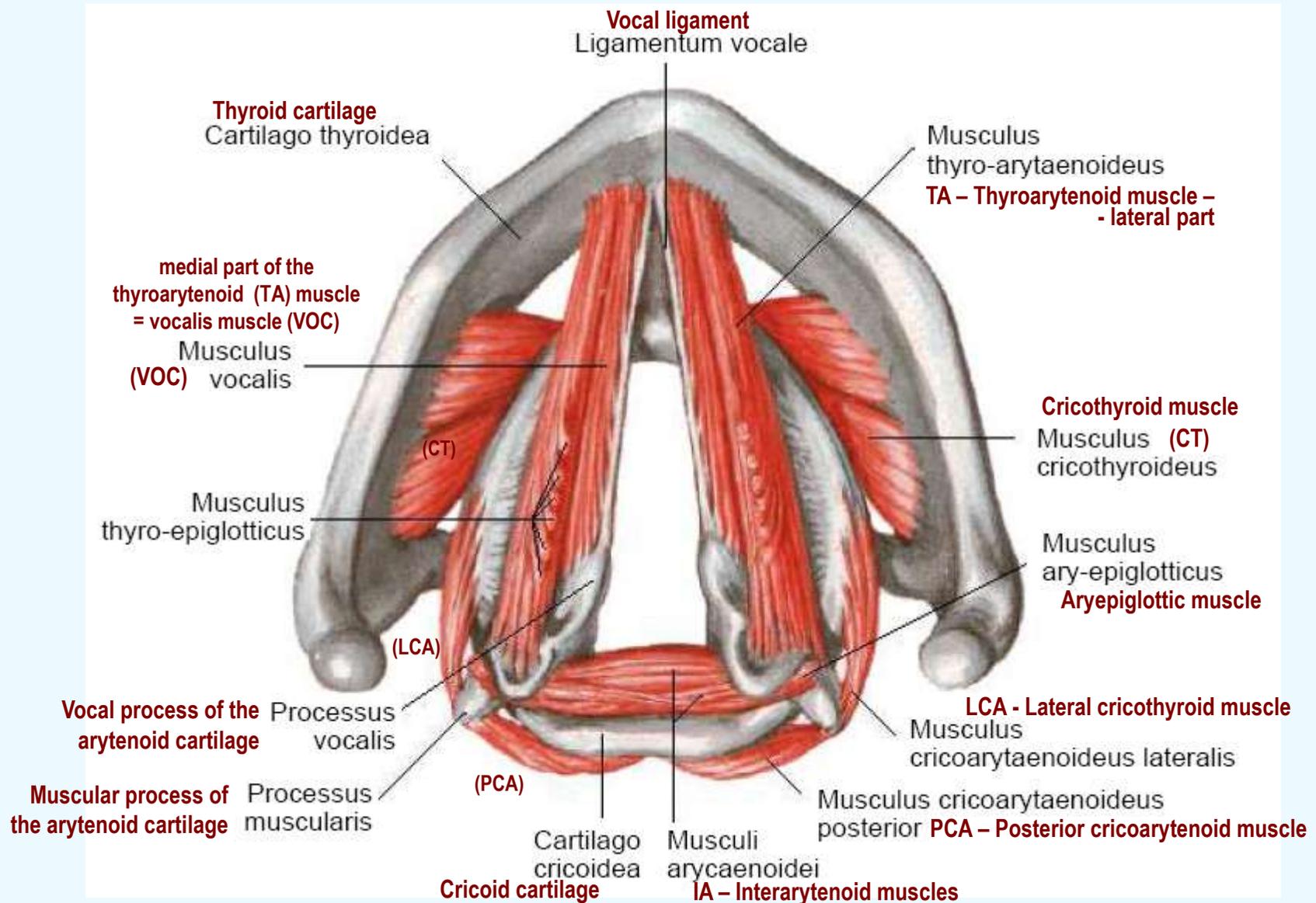
Question: Does the activity of the TA muscle cause adductory or abductory movement of the vocal fold?

Vnitřní svalstvo hrtanu – Internal laryngeal muscles



Netter (1999) cit. in M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.

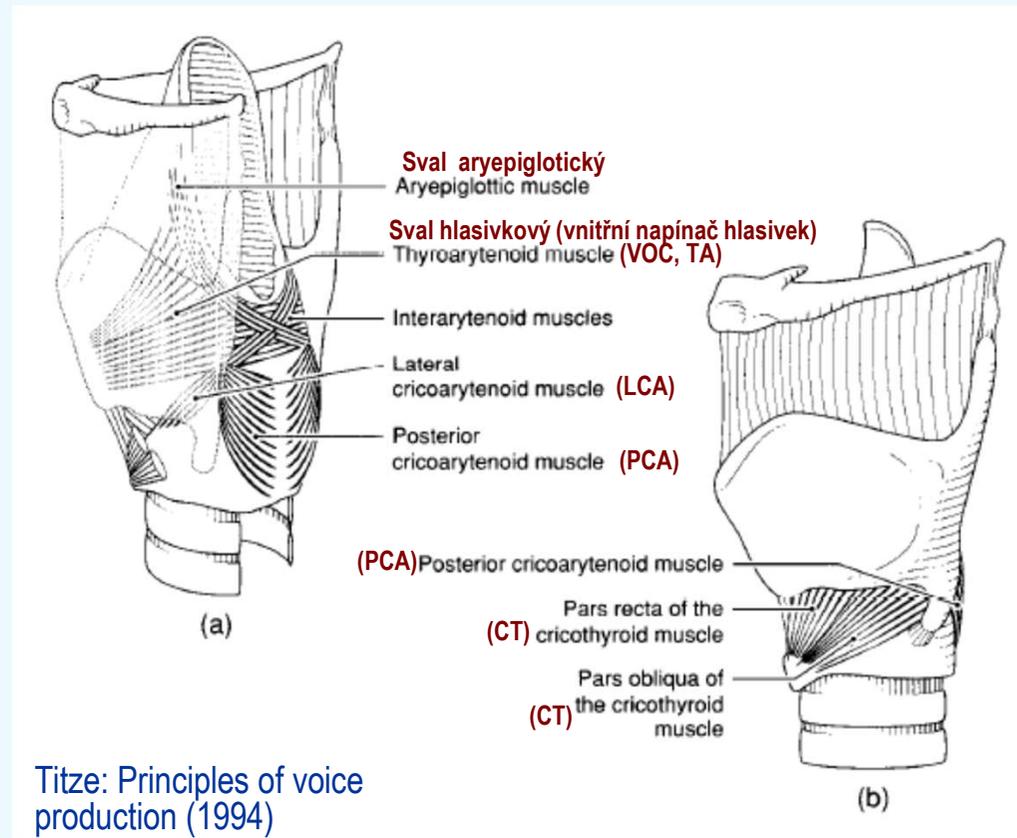
Internal laryngeal muscles



Netter (1999) cit. in M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.

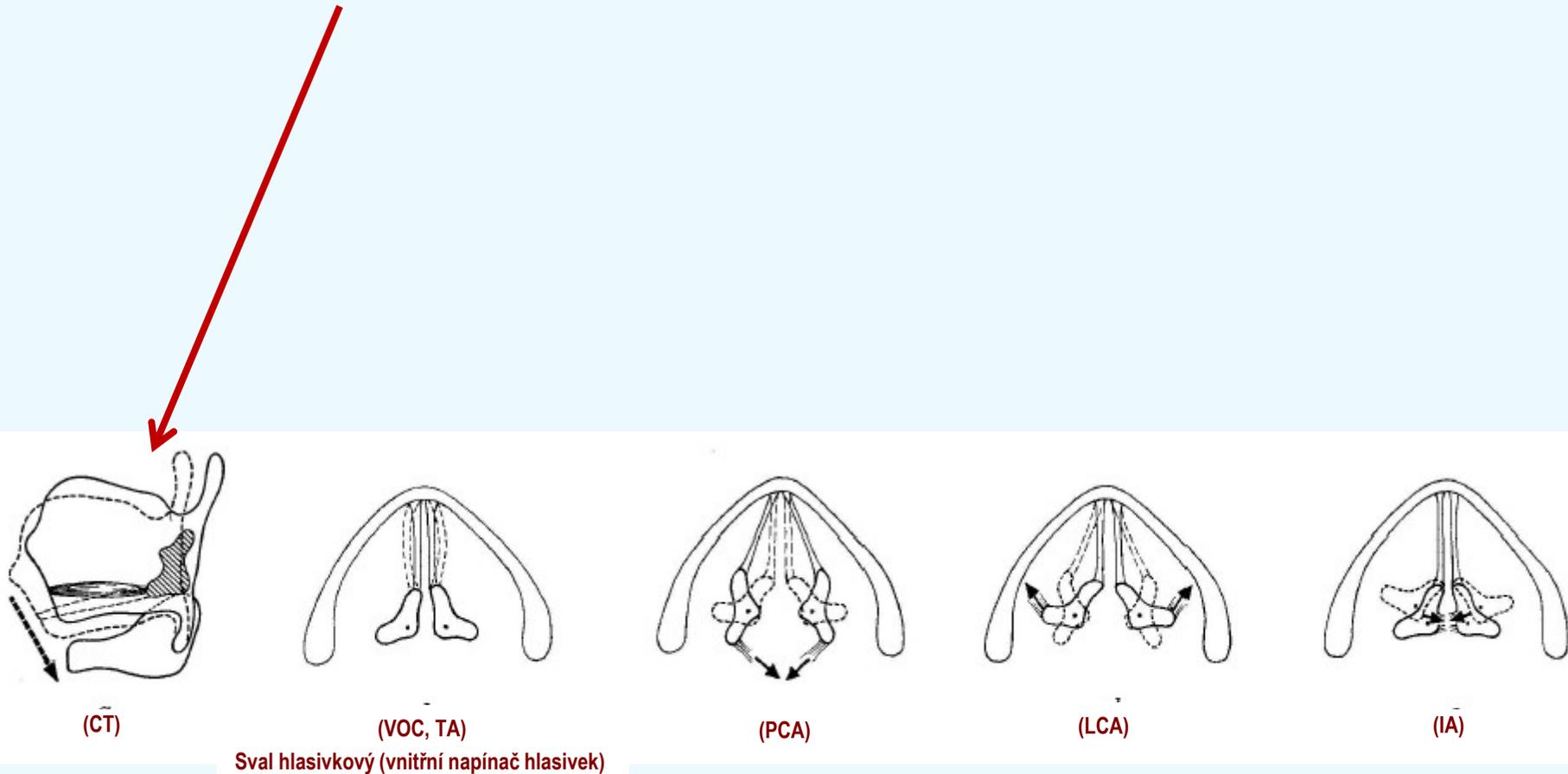
Vnitřní svalstvo hrtanu

Internal laryngeal muscles



Činnost vnitřních svalů hrtanu

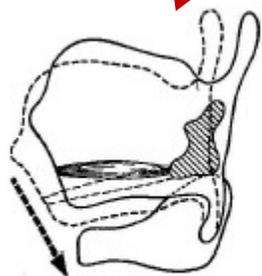
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)



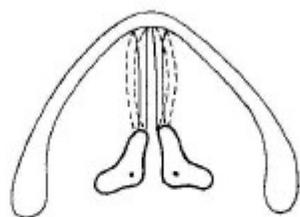
Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Activity of the internal laryngeal muscles

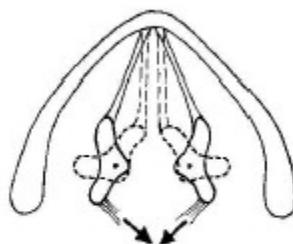
CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensing of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)



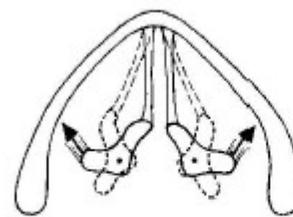
(CT)



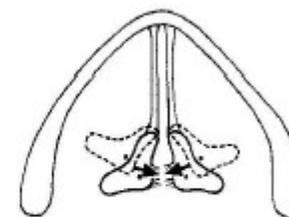
(VOC, TA)



(PCA)



(LCA)



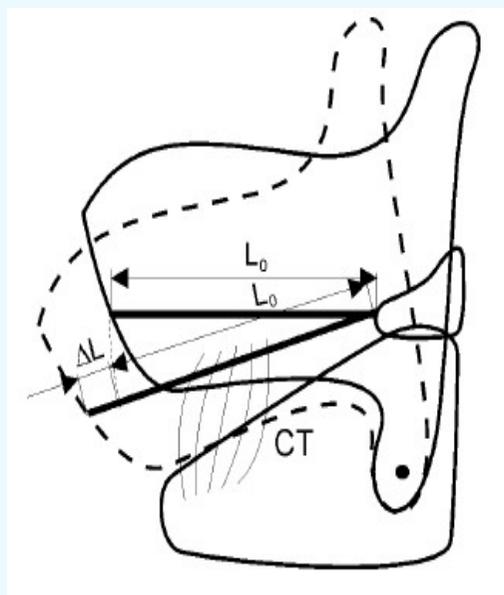
(IA)

Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Činnost vnitřních svalů hrtanu

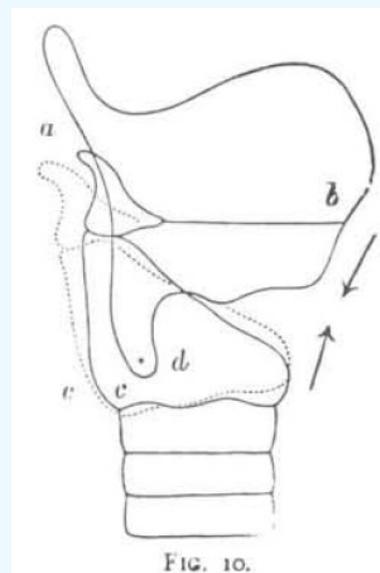
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

Jsou dvě možnosti pohybu vlivem aktivity CT svalu, podle toho jak jsou chrupavky fixovány externími svaly hrtanu:



Švec J: Studium
mechanicko-akustických
vlastností lidského hlasu.
(Dizertacní práce), UP
Olomouc: 1996.

Výsledek kontrakce CT svalu při
fixované chrupavce prstencové –
sklápí se chrupavka štitná a
protahuje hlasivky



M. Garcia. Hints on Singing,
New York: The Joseph
Patelson Music House,
1982.

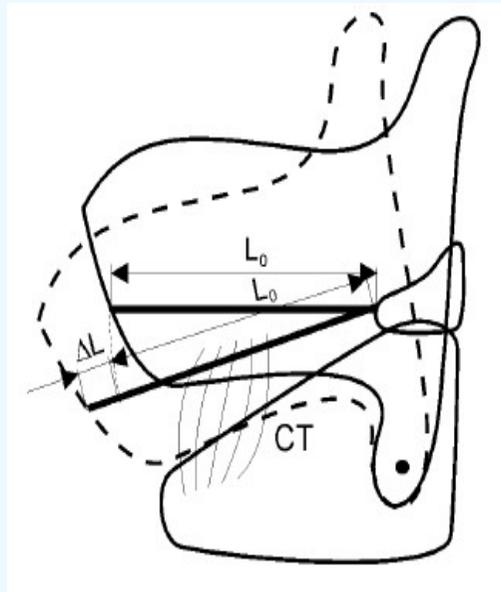
Výsledek kontrakce CT svalu při
fixované chrupavce štitné –
chrupavka prstencová se naklopí
a protáhne hlasivky

Reálně lze očekávat kombinace obou pohybů.

Activity of the internal laryngeal muscles

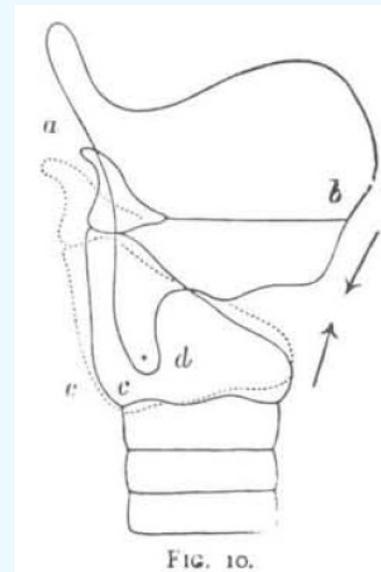
CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensoning of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)

There are two movement possibilities due to CT activity, depending on how the cartilages are fixed by the external laryngeal muscles:



Švec J: Studium
mechanicko-akustických
vlastností lidského hlasu.
(Dizertacni práce), UP
Olomouc: 1996.

Result of CT contraction:
rotation of thyroid cartilage
with respect to the fixed
cricoid cartilage, causing
vocal fold elongation



M. Garcia. Hints on Singing,
New York: The Joseph
Patelson Music House,
1982.

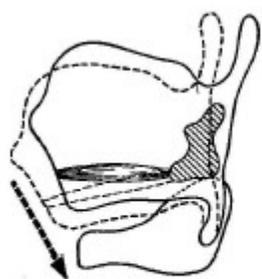
Result of CT contraction:
tilting of cricoid cartilage
with respect to the fixed
thyroid cartilage, causing
vocal fold elongation.

In reality, combination of both movements is expected.

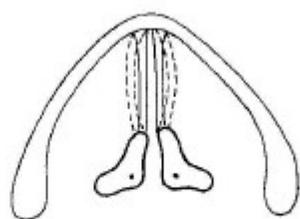
Činnost vnitřních svalů hrtanu

CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky

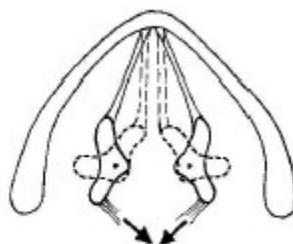


(CT)

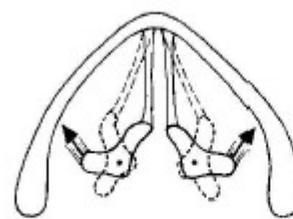


(VOC, TA)

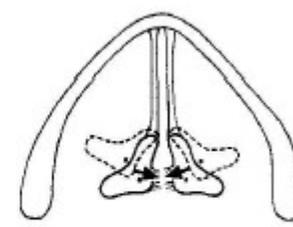
Sval hlasivkový (vnitřní napínač hlasivek)



(PCA)



(LCA)



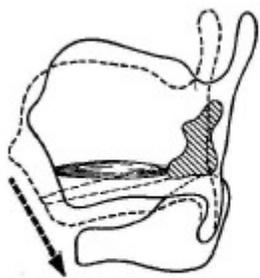
(IA)

Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

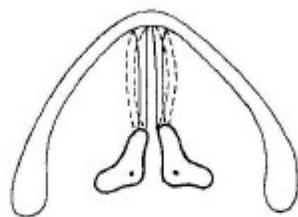
Activity of the internal laryngeal muscles

CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensing of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)

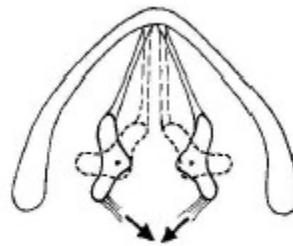
VOC, TA - actively increases internal tension of the vocal fold (important for e.g. loudness increase and for phonation in chest register), tends to shorten and thicken (bulge) the vocal folds



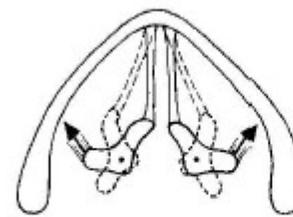
(CT)



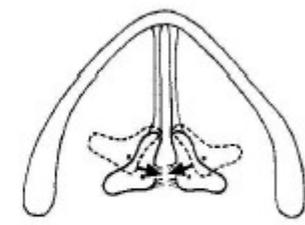
(VOC, TA)



(PCA)



(LCA)



(IA)

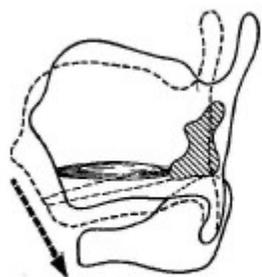
From: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Činnost vnitřních svalů hrtanu

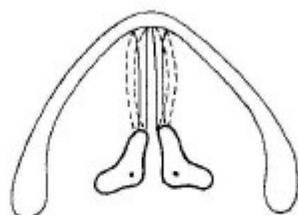
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky

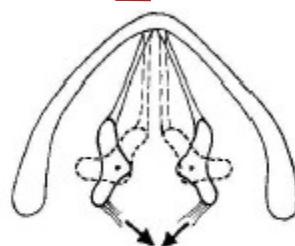
PCA – tahá svalový výběžek zezadu do středu, tím rozevívá hlasivky – způsobuje **ABDUKCI** (důležité pro volné dýchání)



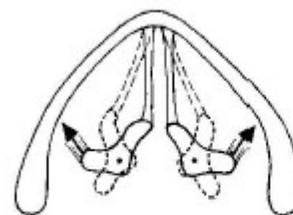
(CT)



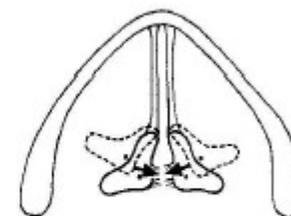
(VOC, TA)



(PCA)



(LCA)



(IA)

Sval hlasivkový (vnitřní napínač hlasivek)

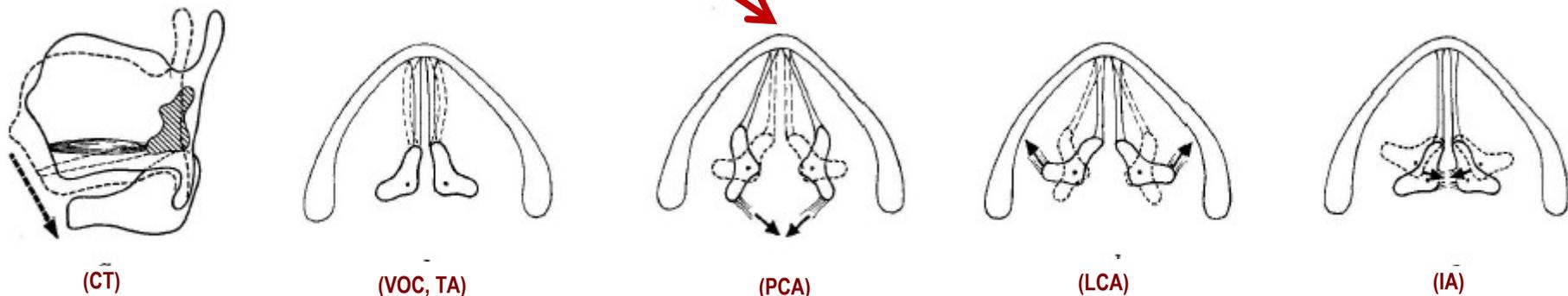
Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Activity of the internal laryngeal muscles

CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensing of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)

VOC, TA - actively increases internal tension of the vocal fold (important for e.g. loudness increase and for phonation in chest register), tends to shorten and thicken (bulge) the vocal folds

PCA – pulls the muscular process from behind, it opens up the vocal folds - causes **ABDUCTION** (important for free breathing)



From: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

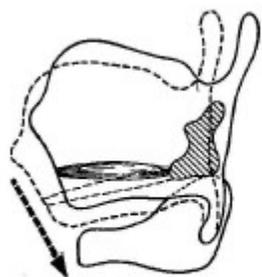
Činnost vnitřních svalů hrtanu

CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

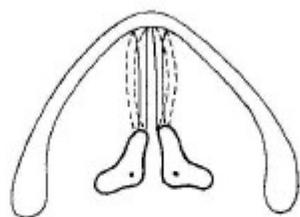
VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky

PCA – tahá svalový výběžek zezadu do středu, tím rozevívá hlasivky – způsobuje **ABDUKCI** (důležité pro volné dýchání)

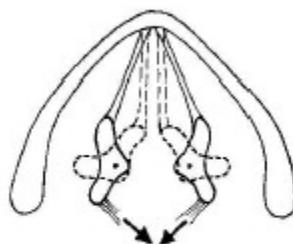
LCA – tahá svalový výběžek zepředu, uzavírá hlasivky – způsobuje **ADDUKCI** (důležité pro umožnění fonace), antagonistu k PCA



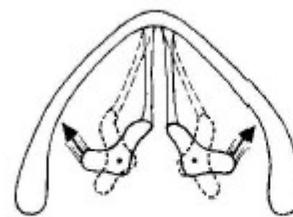
(CT)



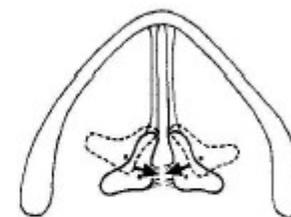
(VOC, TA)



(PCA)



(LCA)



(IA)

Sval hlasivkový (vnitřní napínač hlasivek)

Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

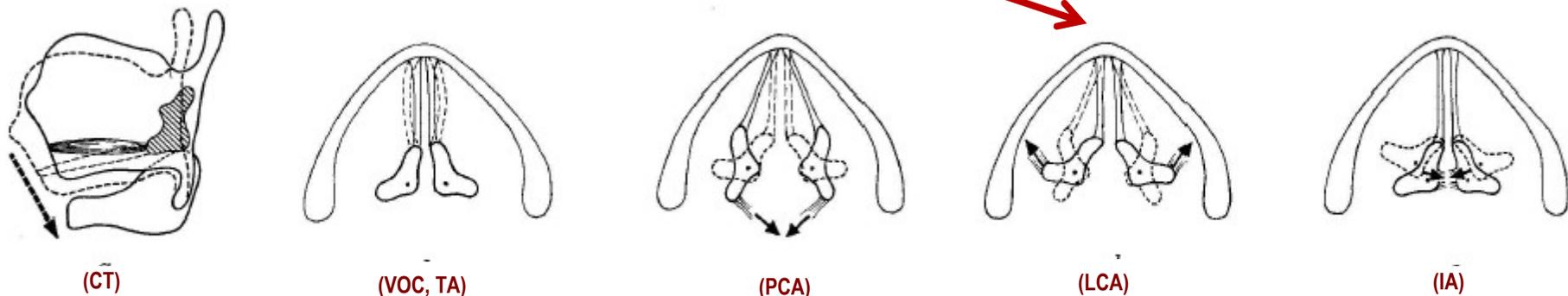
Activity of the internal laryngeal muscles

CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensing of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)

VOC, TA - actively increases internal tension of the vocal fold (important for e.g. loudness increase and for phonation in chest register), tends to shorten and thicken (bulge) the vocal folds

PCA – pulls the muscular process from behind, it opens up the vocal folds - causes **ABDUCTION** (important for free breathing)

LCA – pulls the muscular process from the front, it closes the vocal folds - causes **ADDUCTION** (important for phonation), antagonist muscle to the PCA



From: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Činnost vnitřních svalů hrtanu

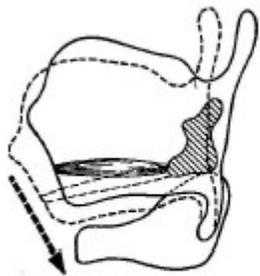
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky

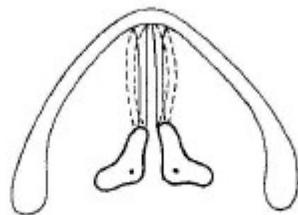
PCA – tahá svalový výběžek zezadu do středu, tím rozevívá hlasivky – způsobuje **ABDUKCI** (důležité pro volné dýchání)

LCA – tahá svalový výběžek zepředu, uzavírá hlasivky – způsobuje **ADDUKCI** (důležité pro umožnění fonace), antagonistka k PCA

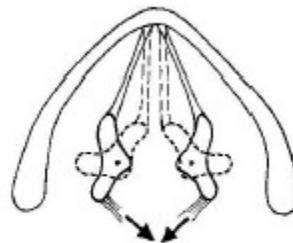
IA – tahá boční a zadní část chrupavek hlasivkových k sobě – uzavírá chrupavčitou část glottis – způsobuje **ADDUKCI** (důležité např. pro kontrolu fonace a barvy hlasu)



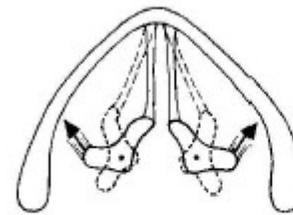
(CT)



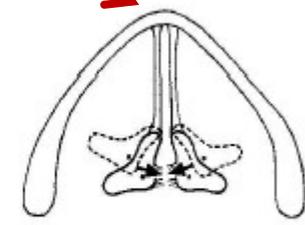
(VOC, TA)



(PCA)



(LCA)



(IA)

Sval hlasivkový (vnitřní napínač hlasivek)

Zdroj: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

Activity of the internal laryngeal muscles

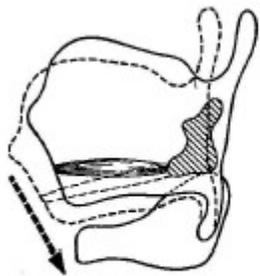
CT - pulls thyroid and cricoid cartilages closer together, causing elongation and tensing of the vocal folds (important for increasing fundamental frequency of voice, intonation in speech)

VOC, TA - actively increases internal tension of the vocal fold (important for e.g. loudness increase and for phonation in chest register), tends to shorten and thicken (bulge) the vocal folds

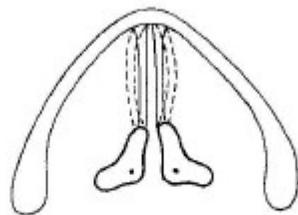
PCA – pulls the muscular process from behind, it opens up the vocal folds - causes **ABDUCTION** (important for free breathing)

LCA – pulls the muscular process from the front, it closes the vocal folds - causes **ADDUCTION** (important for phonation), antagonist muscle to the PCA

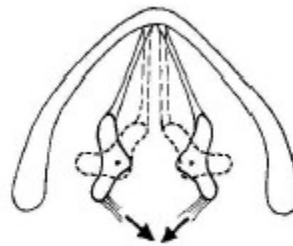
IA - pulls the side and rear of arytenoid cartilages together - closes the cartilaginous portion of the glottis - causes **ADDUCTION** (important for phonation control and voice timbre)



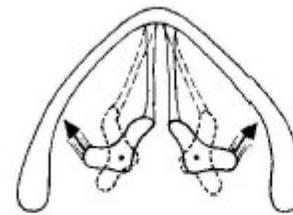
(CT)



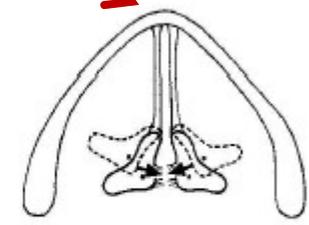
(VOC, TA)



(PCA)



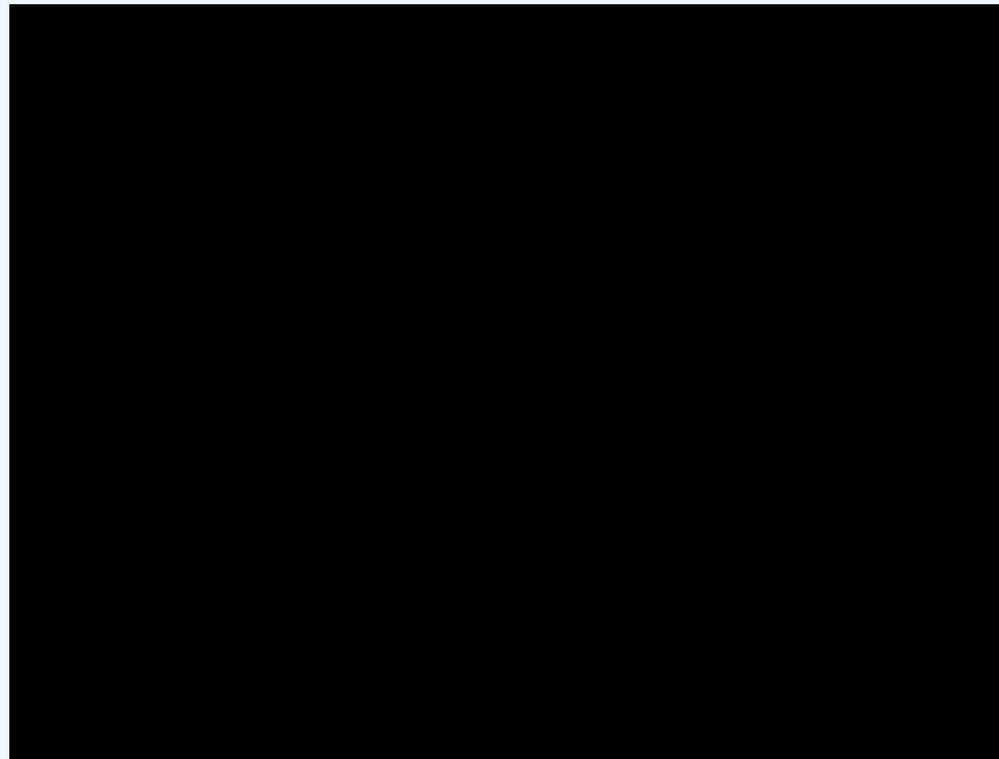
(LCA)



(IA)

From: M. Kob. Physical modeling of the singing voice. (Doctoral dissertation), Berlin: Logos Verlag, 2002.
After Boenninghaus 1993.

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION laryngoskopie / laryngoscopy



Laryngoskopický pohled na hrtan a hlasivky při zpěvu

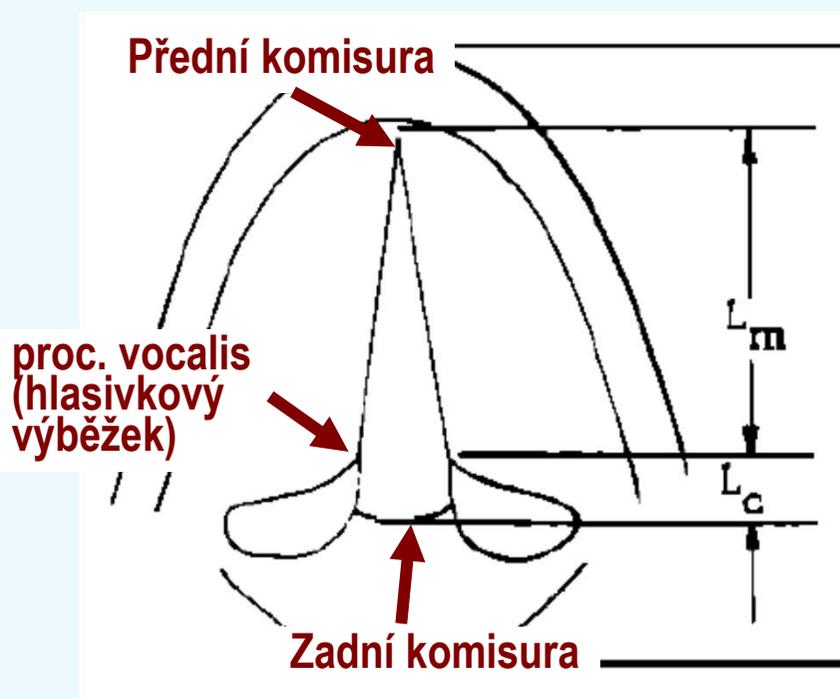
(Vocal folds up close while singing)

<http://www.youtube.com/watch?v=-XGds2GAvGQ>

Chrupavčitá vs. blanitá část glottis

Blanitá část glottis: mezi přední komisurou (tj. předním koncem hlasivek) a p. vocalis. Hraje nejdůležitější úlohu při fonaci – kmitání hlasivek se děje hlavně zde.

Chrupavčitá část glottis: mezi proc. vocalis a zadní komisurou (arytenoidní chrupavka pokrytá sliznicí). Může ale nemusí se účastnit kmitání. Může měnit tvar podle aktivity hrtanových svalů – vliv při nastavení kvality hlasu (dyšnost vs. tlačnost). (Herbst et al. 2011).



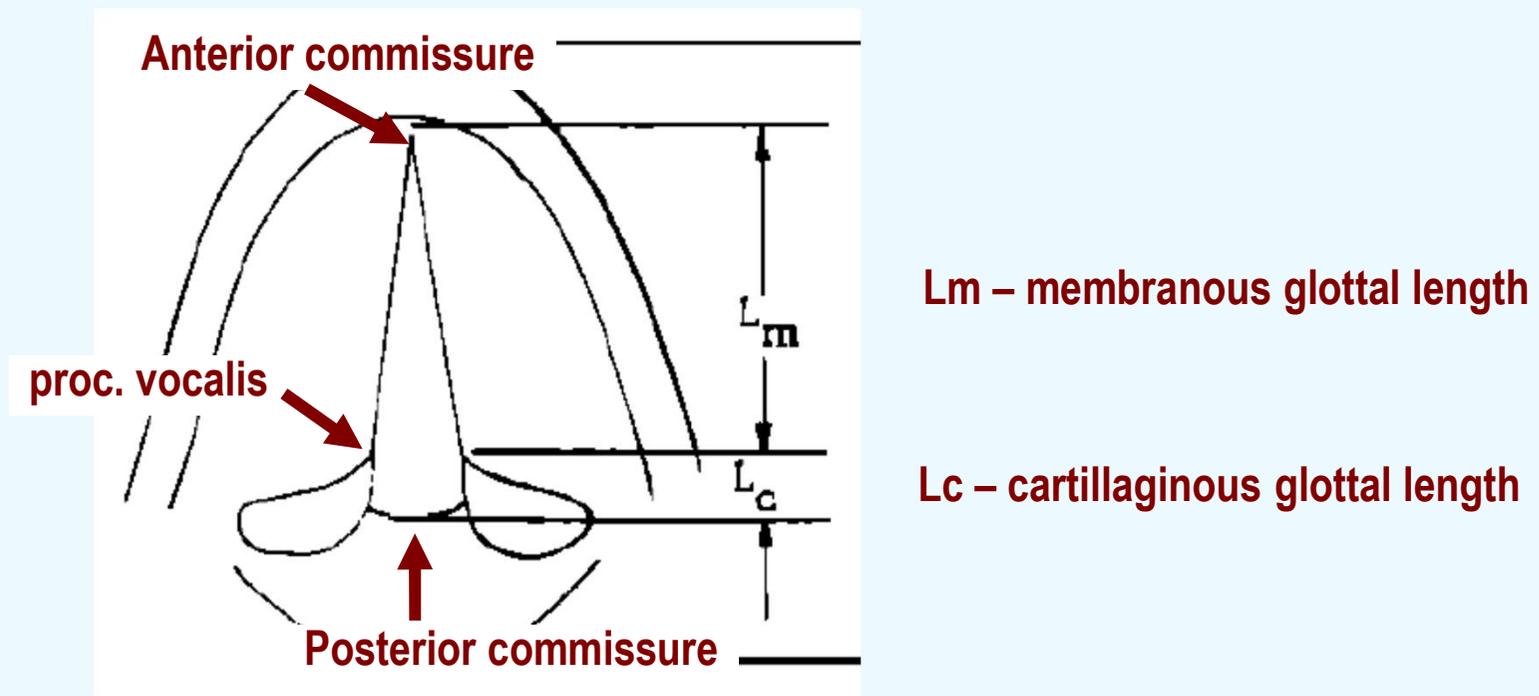
L_m – blanitá délka glottis

L_c – chrupavčitá délka glottis

Cartilaginous vs. membranous glottis

Membranous glottis: between anterior commissure and vocal process. It is most important for voice production – vocal fold vibrations occur mostly here.

Cartilaginous glottis: created by arytenoid cartilage covered by a mucosa (between proc. vocalis a posterior commissure). It may or may not participate in vibrations. It can change its size and shape based on laryngeal muscle activities – influences voice quality (e.g., breathiness vs. pressedness). (Herbst et al. 2011).



Chrupavčitá vs. blanitá část glottis

Rozdíly muži vs. ženy:

Pohlavní rozdíly jsou výrazně větší v délce blanité části hlasivek než v rozměrech chrupavek (60% versus 20% rozdíl, Titze 1989).

Cartilaginous vs. membranous glottis

Male versus female differences:

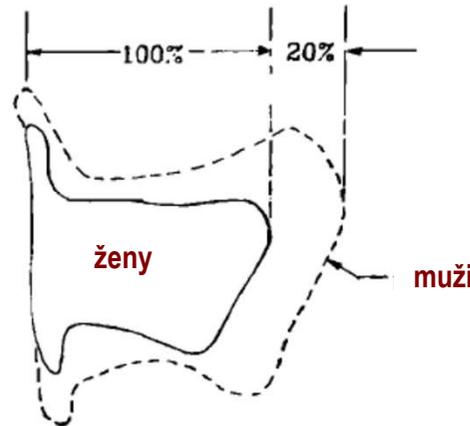
The differences are much larger in membranous length than in cartilage sizes (60% versus 20% difference, Titze 1989).

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

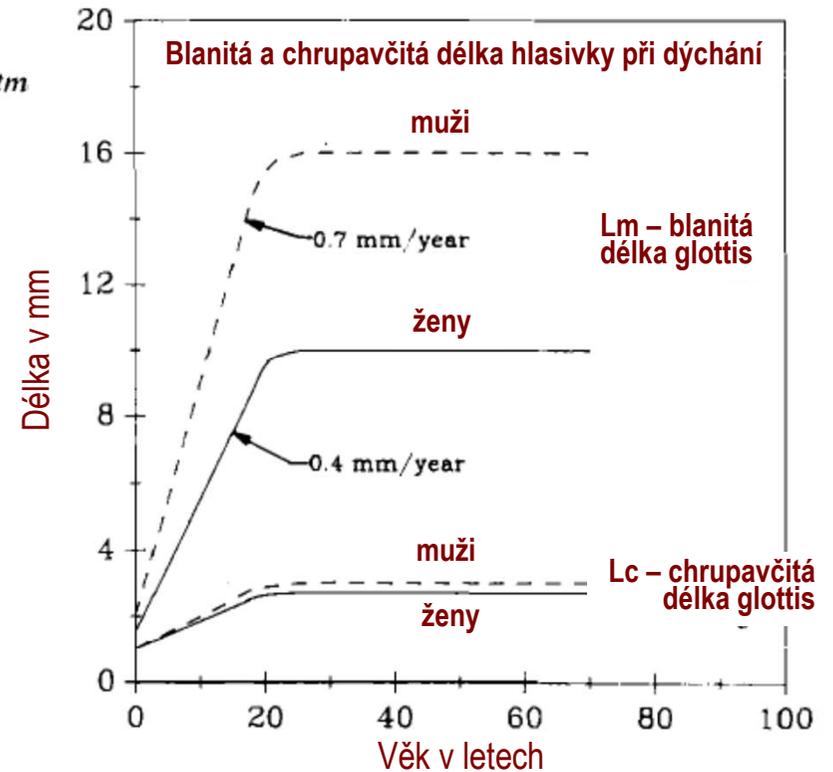
J. Acoust. Soc. Am. 85 (4), April 1989

Ingo R. Titze

Voice Acoustics and Biomechanics Laboratory, Department
University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242

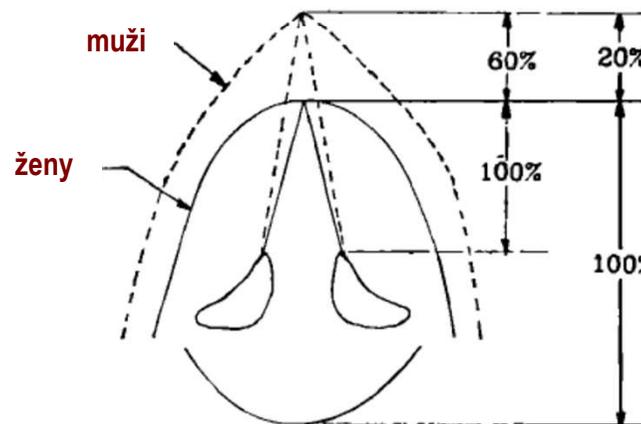


(a) Sagittal View

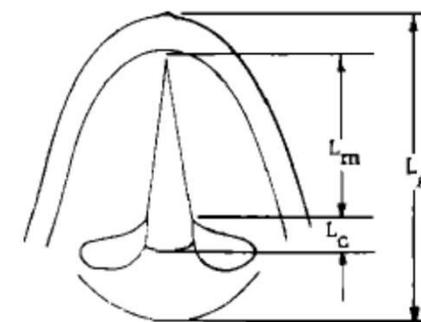


(a)

Lm – blanitá délka glottis
Lc – chrupavčitá délka glottis



(b) Horizontal Section



(b)

I.R. Titze



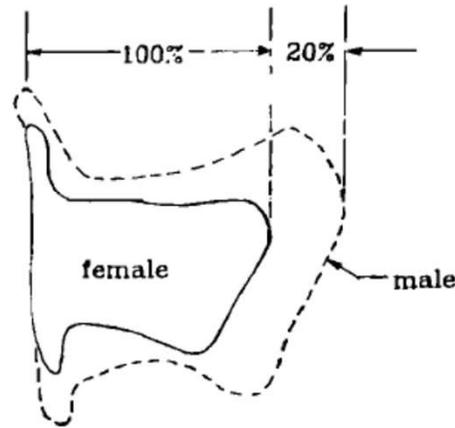
Pohlavní rozdíly jsou výrazně větší v délce blanité části hlasivek než v rozměrech chrupavek (60% versus 20% rozdíl).

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

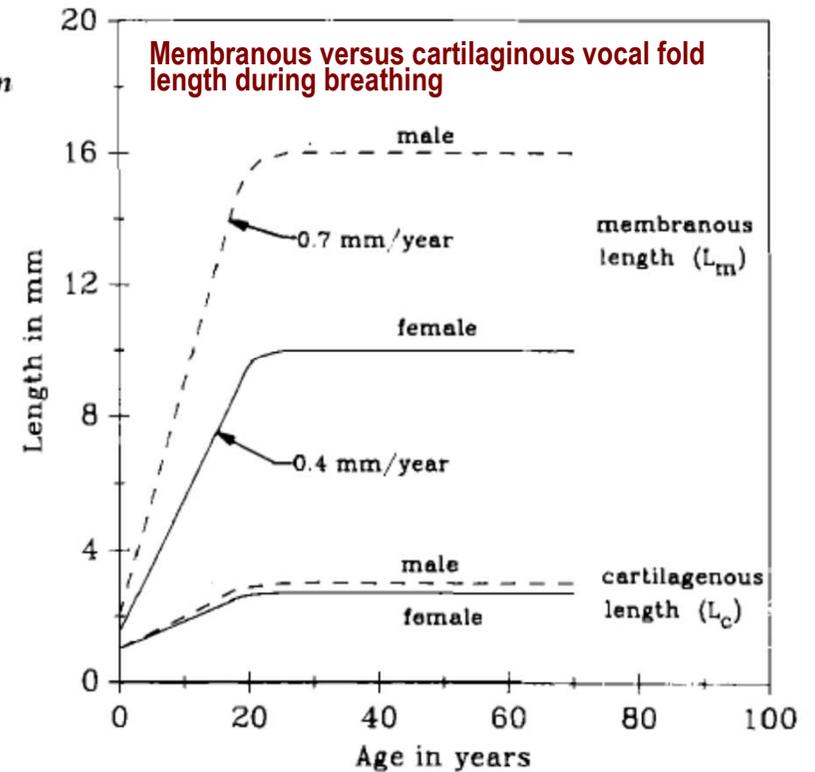
J. Acoust. Soc. Am. 85 (4), April 1989

Ingo R. Titze

Voice Acoustics and Biomechanics Laboratory, Department
University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242

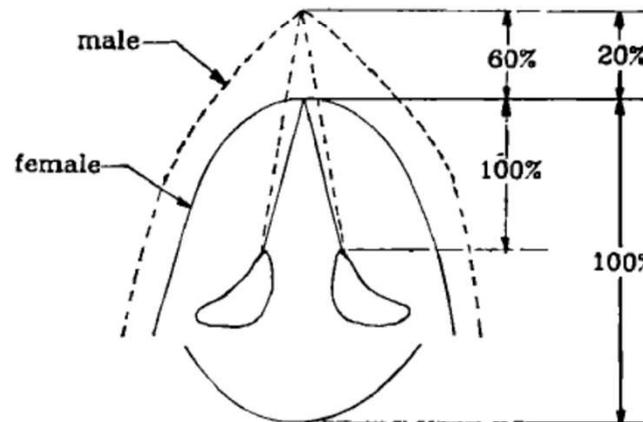


(a) Sagittal View

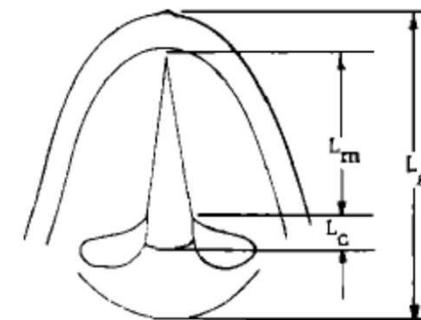


(a)

L_m – membranous glottis
L_c – cartilaginous glottis



(b) Horizontal Section



(b)

I.R. Titze



Sex differences are remarkably greater in membranous glottis than in cartilage sizes (60% versus 20% difference).

Inervace hrtanu

Inervace hrtanu je zajištěna dvěma odnožemi z X. hlavového nervu („bludný nerv“, lat. nervus vagus) :

1) **Nervus laryngeus superior** – má dvě větve:

a) Vnitřní větev (ramus internus) – senzoričká inervace sliznice hrtanu nad hlasivkami (podráždění vede k nekontrolovatelnému kašli)

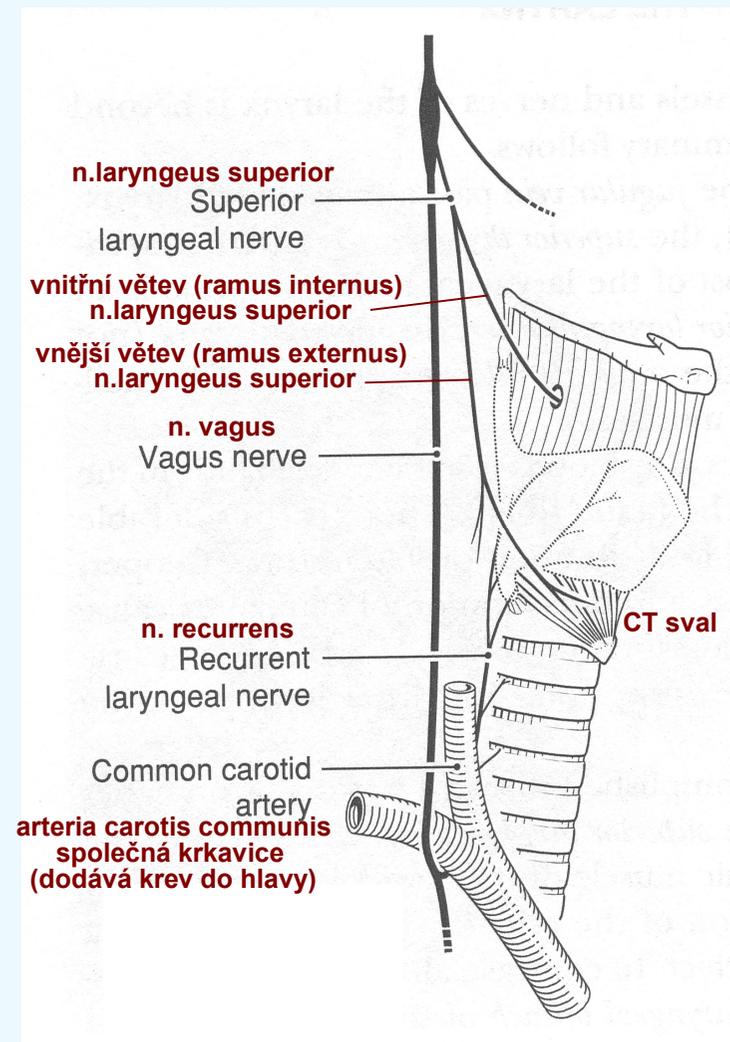
b) Vnější větev (ramus externus) - inervuje CT sval (tento sval proto nebývá některými autory považován za vnitřní sval hrtanu ale za sval vnější)

2) **Nervus recurrens (nerv zvratný)** – inervuje všechny vnitřní svaly hrtanu – adduktory i abduktory (TA, LCA, PCA, IA)

Vrací se k hrtanu zezdola, kde se obtáčí kolem krční tepny - krkavice.

Zajišťuje senzoričkou inervaci hrtanu pod hlasivkami.

Náchylný na poškození při operacích štítné žlázy.



I.R. Titze: Principles of voice production (1994)

Laryngeal Innervation

Innervation of the larynx is done through two branches of **X. cranial nerve (nervus vagus)** :

1) Superior laryngeal nerve (n. laryngeus superior)

– this nerve also has two branches:

a) Internal branch (ramus internus) – sensory innervation of the supraglottal laryngeal mucosa (irritation causes uncontrollable coughing reaction)

b) External branch (ramus externus) – innervates the CT muscle (this muscle is therefore by some authors not considered as internal laryngeal muscle but an external one)

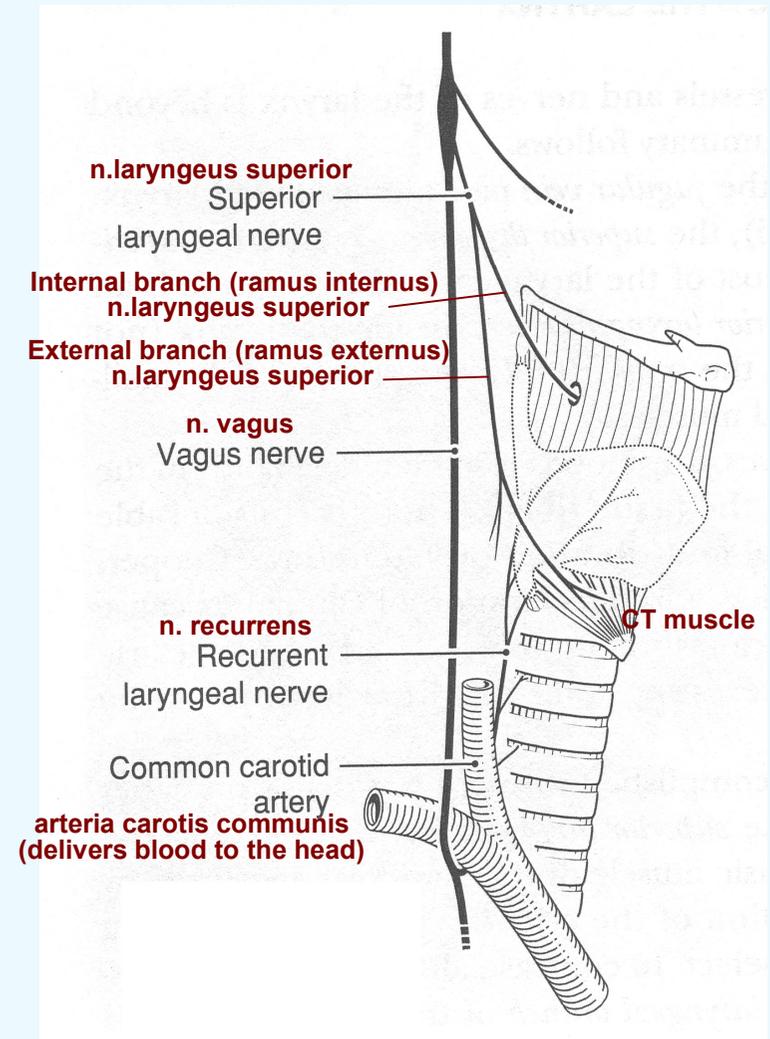
2) Recurrent laryngeal nerve (n. recurrens)

– innervates all internal laryngeal muscles – both adductors and abductors (TA, LCA, PCA, IA)

It goes down, then around the common carotid artery and then it returns to the larynx from below.

It provides sensory innervation of the subglottal larynx.

It is prone to damage during thyroid gland operations.



I.R. Titze: Principles of voice production (1994)

EMG hrtanu

EMG neboli elektromyografie je metoda, která monitoruje aktivitu svalů pomocí speciálních elektrod.

Zde je ukázána vyhodnocená aktivita 3 svalů (VOC, IA a PCA) při vyslovení dvou slov: ESOP a EZOP.

Při hlásce [S] jsou hlasivky odtažené zatímco při [Z] jsou sblížené, tj. jsou ve fonačním postavení.

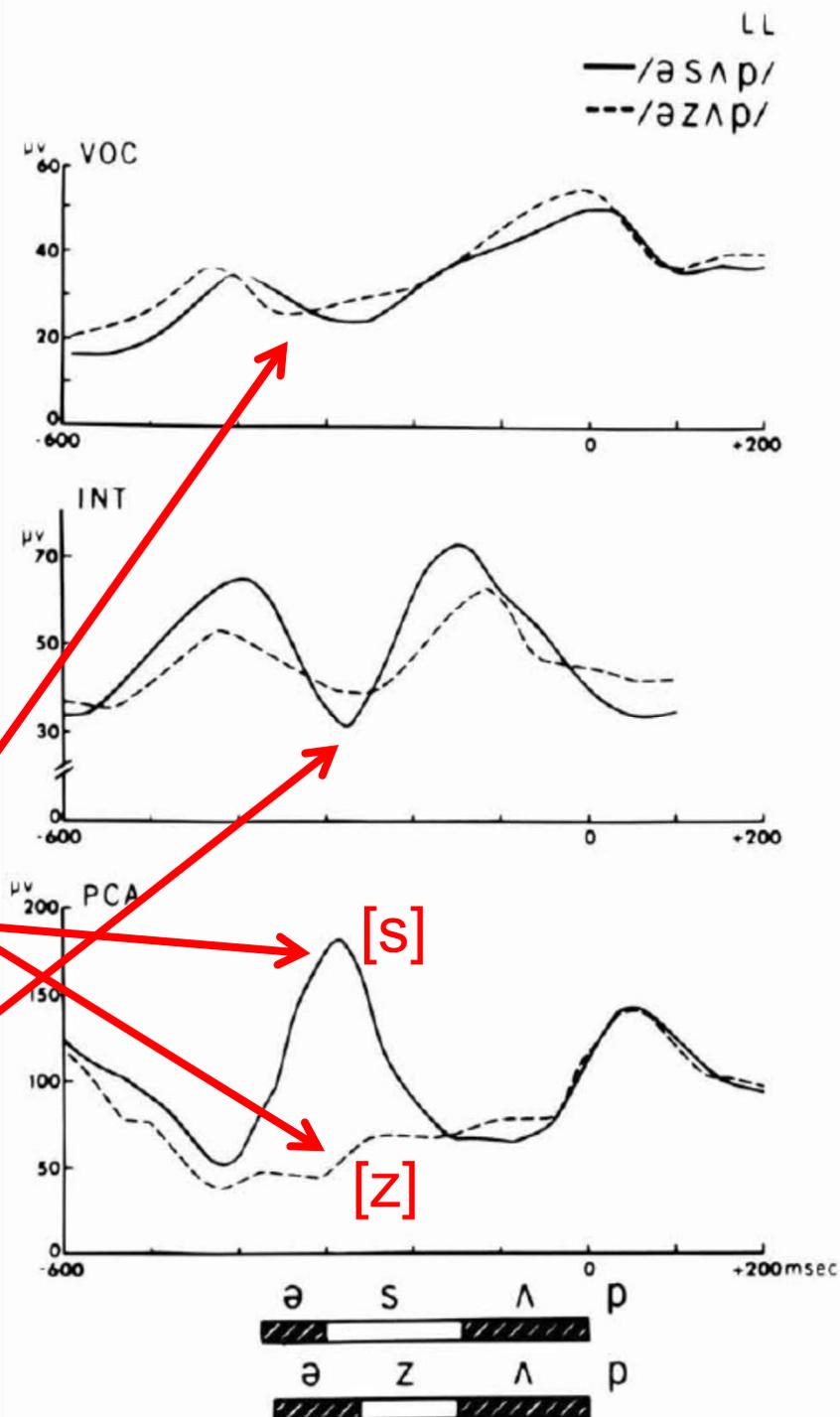
Sval hlasivkový (VOC) nevykazuje výrazné rozdíly.

Sval PCA ukazuje výrazný rozdíl aktivity (je abduktorem, tedy odtahuje hlasivky při [S] ale ne při [Z])

Sval IA vykazuje při hlásce [S] o něco menší aktivitu než při [Z] – tj. během času kdy je PCA výrazně aktivní IA je málo aktivní, aby umožnil lepší rozevření hlasivek.

(Data: H. Hirose and T. Cay: *Phonetica*, 25, 1972.)

Zdroj: Fig. 4.40, Borden G, Harris KS, Raphael LJ. *Speech science primer. Physiology, acoustics, and perception of speech*, Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 1994



Laryngeal EMG

EMG or electromyography is a method for monitoring muscle activity using special electrodes.

Here, activity of 3 muscles (VOC, IA and PCA) is shown when saying two words: ESOP and EZOP.

Vocal folds are open in [S] (unvoiced consonant) while they are closed in [Z] (voiced consonant).

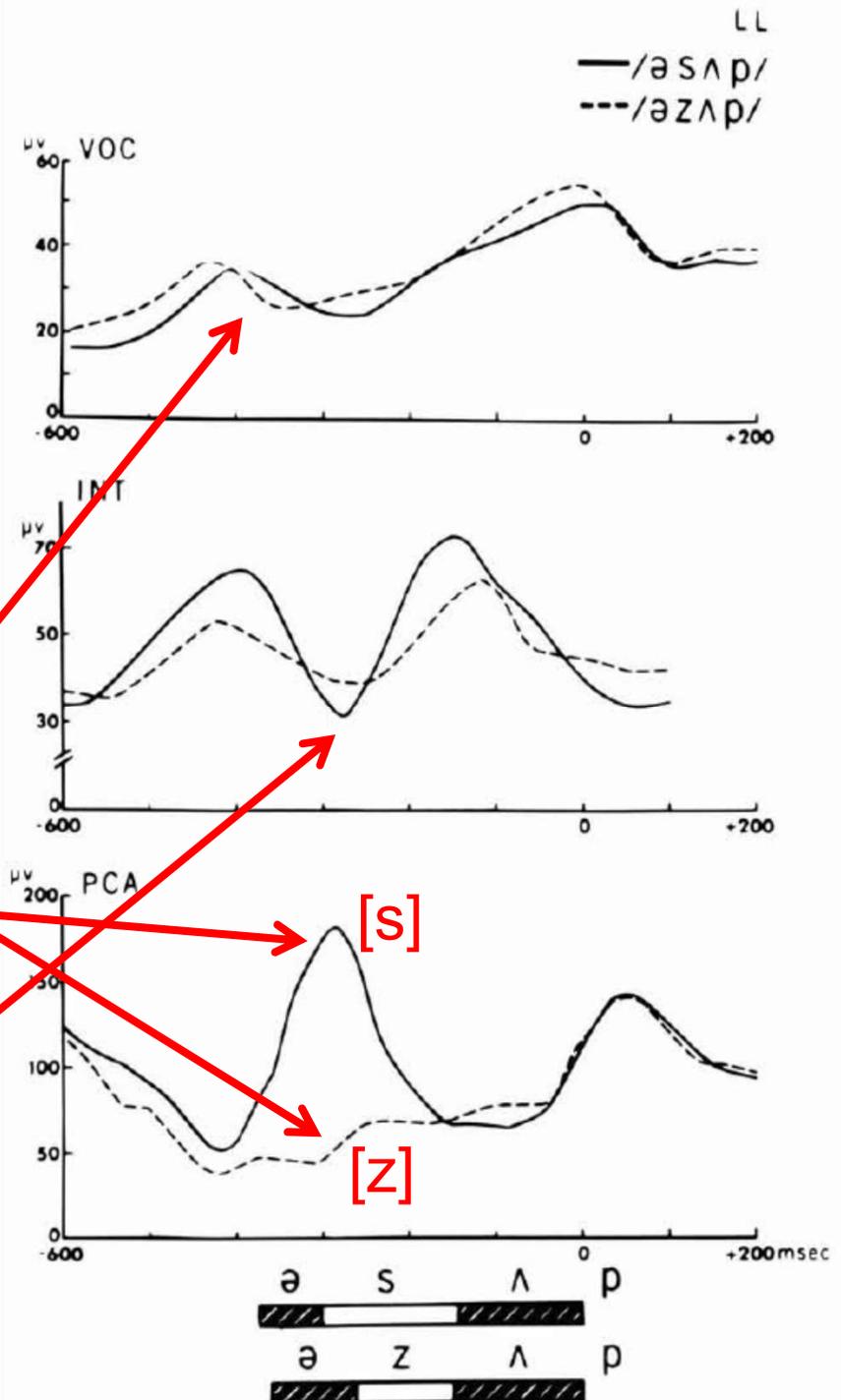
Vocalis muscle (VOC) does not show much differences.

PCA muscle shows prominent activity increase in [S] (it is an abductor, thus it opens the vocal folds in [S] but not in [Z])

IA muscle (an adductor) shows slightly smaller activity in [S] than in [Z] – ie. during the time when PCA is active, IA relaxes to allow better vocal fold opening.

(Data: H. Hirose and T. Cay: *Phonetica*, 25, 1972.)

Source: Fig. 4.40, Borden G, Harris KS, Raphael LJ. *Speech science primer. Physiology, acoustics, and perception of speech*, Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 1994



Členění struktury hlasivek

Povrch hlasivky: tvořen vrstevnatým šupinovým epitelem o tloušťce 0.05-0.1 mm (Hirano, 1977). Epitel obklopuje měkkou tkáň podobnou svými vlastnostmi tekutině a bývá připodobňován ke gumovému balónku naplněnému vodou.

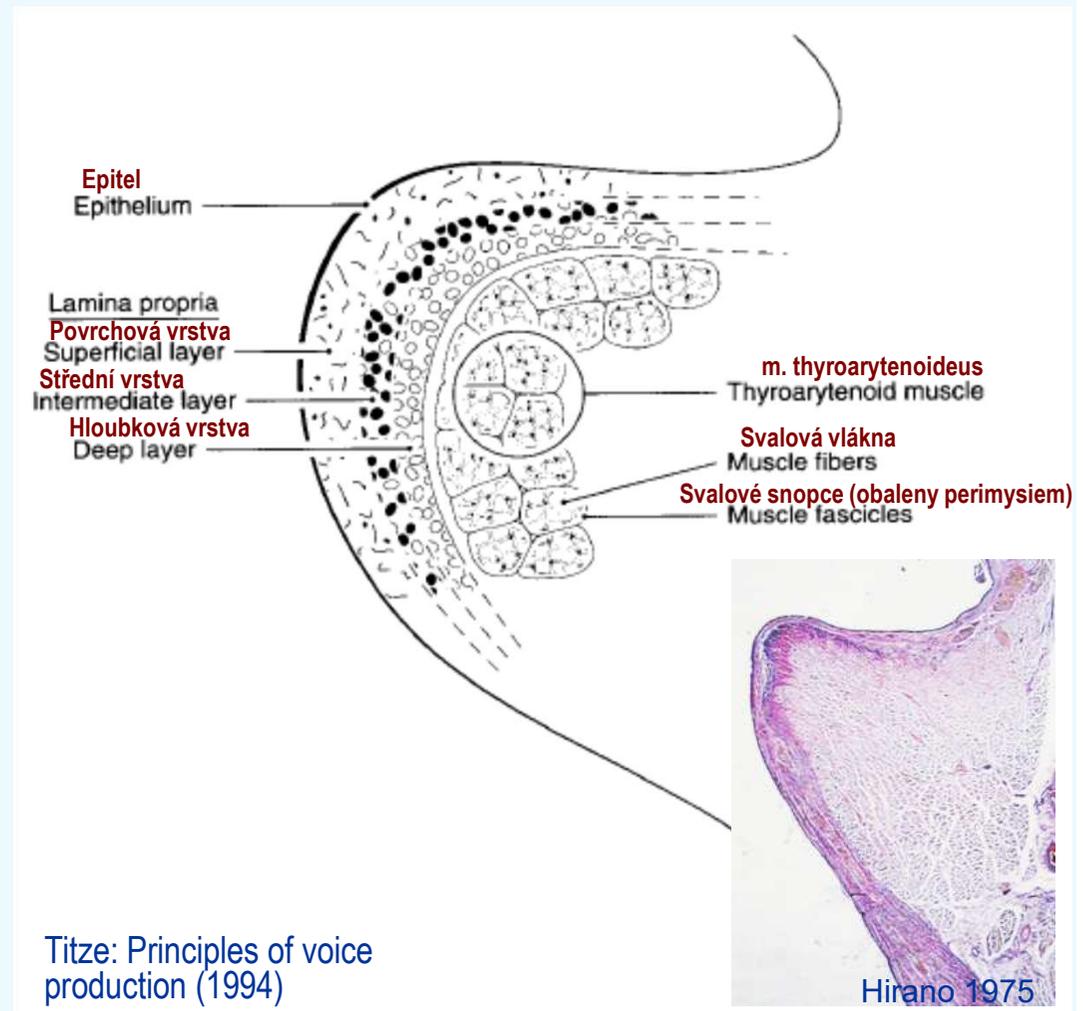
Mezi svalem a epitelem je uložen nesvalový vrstevnatý systém, který se nazývá **lamina propria**. Obvykle se rozděluje na tři vrstvy: povrchovou, střední a hloubkovou.

Povrchová vrstva (také známá jako Reinkeho prostor): má tloušťku kolem 0.5 mm uprostřed hlasivek a je tvořena z neorganizovaně uspořádaných elastinových vláken obklopených tkáňovou tekutinou. Elastinová vlákna jsou poddajná a bývají svými elastickými vlastnostmi přirovnávány ke gumovému vlákně.

Střední vrstva: také primárně tvořena elastinovými vlákny (zobrazeny jako plné kroužky), tyto jsou zde ale už uspořádány a orientovány v anteriorně-posteriorním (podélném) směru. Tato vrstva obsahuje také menší množství kolagenních vláken (zobrazeny jako prázdné kroužky).

Hloubková vrstva laminy propria je tvořena primárně z kolagenních vláken, která jsou, na rozdíl od elastinových vláken, téměř nepoddajná (Colton, 1988) a bývají připodobňována svými elastickými vlastnostmi k vláknům bavlny (Titze, 1994). Vlákna hloubkové vrstvy běží v anteriorně-posteriorním směru.

Dohromady mají střední a hloubková vrstva tloušťku 1-2 mm (Hirano, Kurita, & Nakashima, 1981). Tato vzdálenost přibližně odpovídá také rozkmitu hlasivky.



Titze: Principles of voice production (1994)

Hirano 1975

Nejhlouběji uvnitř hlasivky je uložen **thyroarytenoidní sval** (TA, sval hlasivkový), který byl již popsán v předchozím výkladu. Na hloubkovou vrstvu laminy propria navazuje jeho vnitřní část (m.vocalis, VOC). TA sval vytváří největší část hlasivky, která má tloušťku přibližně 7-8 mm (Hirano, Kurita, & Nakashima, 1981).

Vocal fold structure

VF surface: created by a stratified squamous epithelium, thickness 0.05-0.1 mm (Hirano, 1977). The epithelium surrounds soft, fluid-like tissue, somewhat like a balloon filled with water.

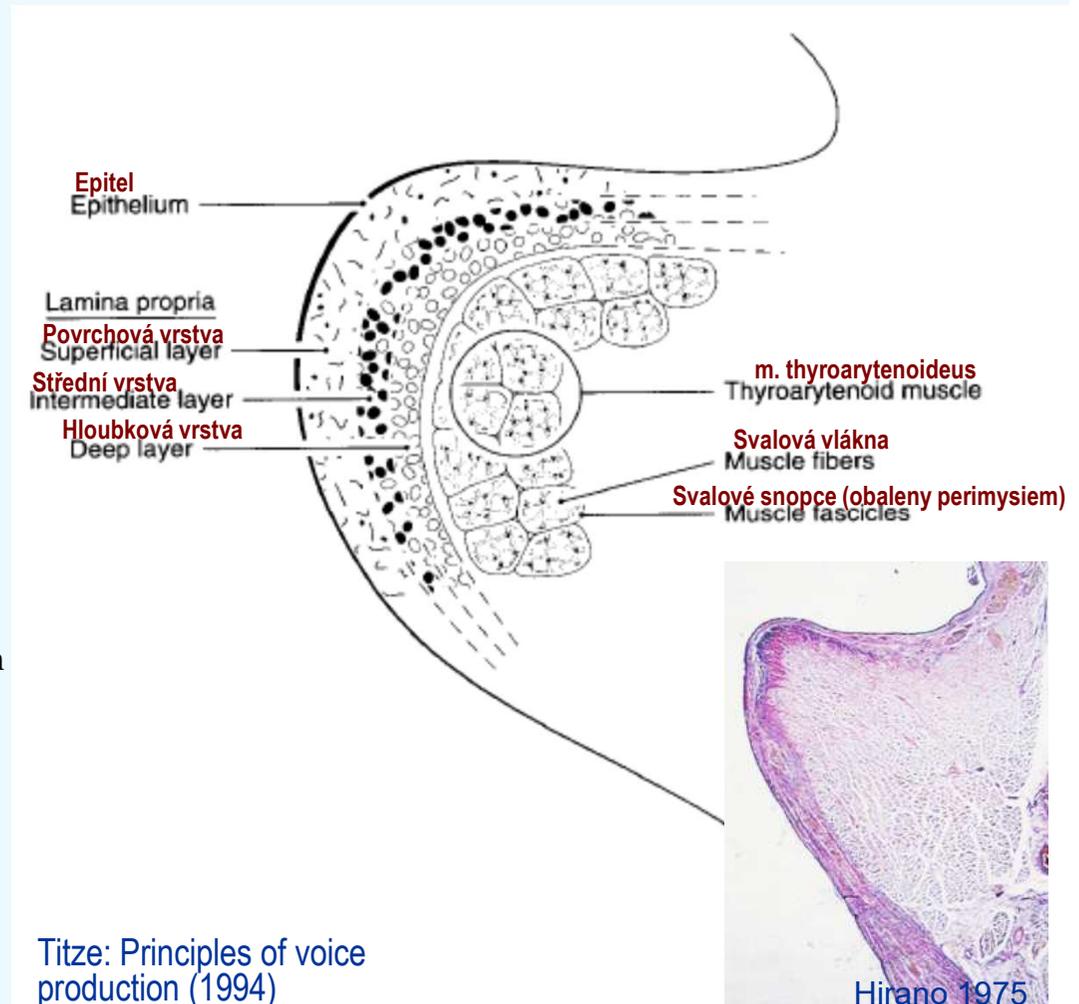
Between the muscle and the epithelium there is a layered nonmuscular system called **Lamina Propria (LP)**. This can be divided to three layers : superficial (povrchová), intermediate (střední) and deep (hloubková).

Superficial layer (also known as Reinke's space): thickness 0.5 mm in the middle of the vocal folds. It consists primarily of loosely organized elastin fibers surrounded by interstitial fluids. Elastin fibers are well stretchable (like a rubber band).

Intermediate layer: made up primarily of elastin fibers (shown as filled dots), but they are more uniformly oriented in the anterior-posterior (longitudinal) direction. There are also some collagen fibers (unfilled dots).

Deep layer: made up primarily of collagen fibers. These fibers have a protein structure that limits elongation (Colton, 1988). They are nearly inextensible and resemble a cotton thread. The fibers also run parallel along the anterior-posterior direction.

Together the intermediate and deep layers have the thickness of 1-2 mm (Hirano, Kurita, & Nakashima, 1981). This distance corresponds approximately to the vocal fold vibratory amplitude.

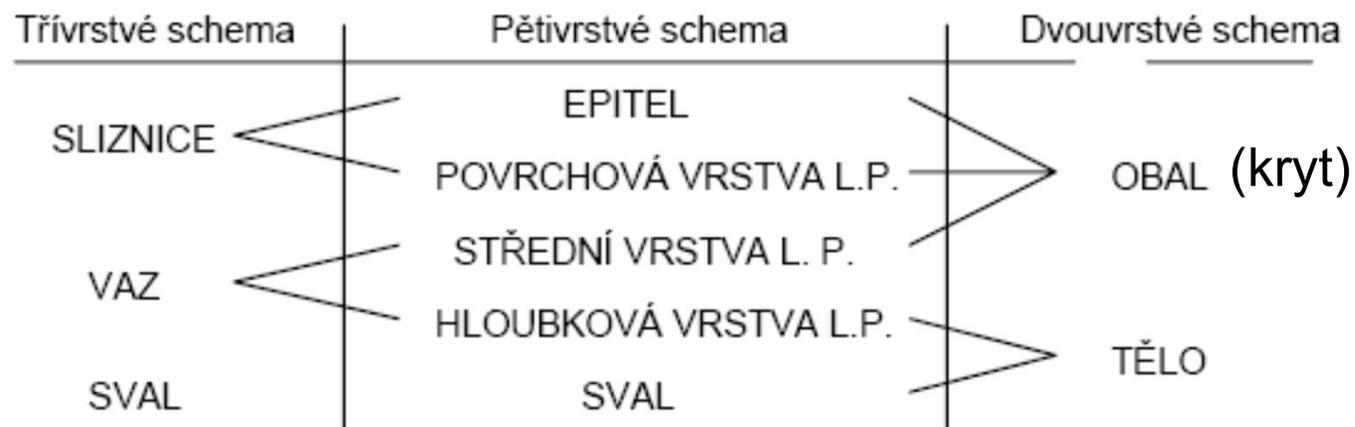


The deepest part of the vocal fold consists of the **thyroarytenoid muscle (TA)** described earlier. The deep layer of LP neighbours with the internal portion of the muscle (pars thyrovocalis). TA muscle forms the major portion of the vocal fold, 7-8 mm thick (Hirano, Kurita, & Nakashima, 1981).

Členění struktury hlasivek

Podle potřeby se struktura hlasivky člení na méně či více vrstev.

Různé členění vrstev hlasivky:



Obr. 1.13. Tři schemata používaná pro označování vrstev hlasivek (Titze, 1994).

Vocal fold structure schemes

According to the needs, the vocal fold structure can be divided using different schemes:

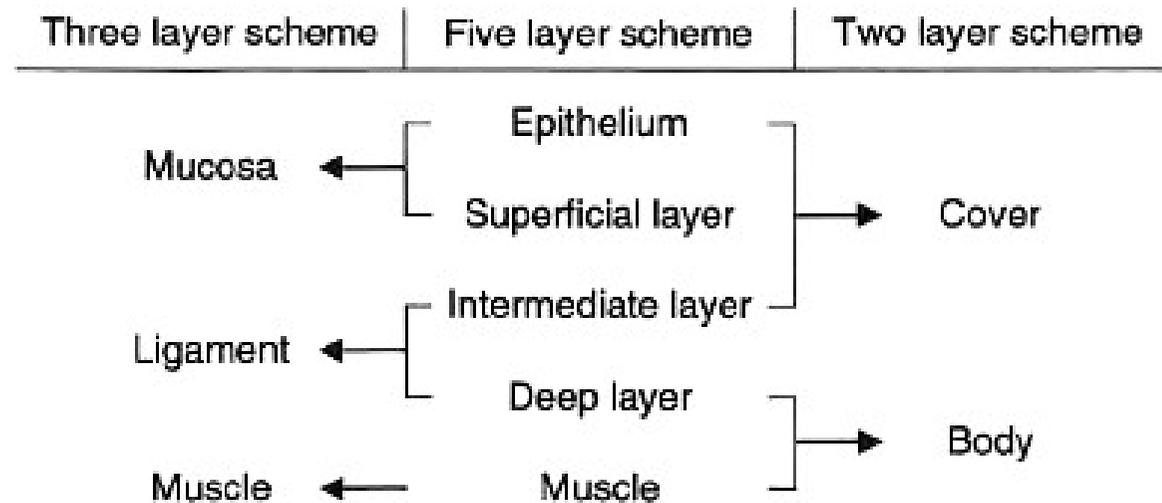


FIGURE I.14. Three different schemes used for labeling the layered structure of the vocal folds.

Elastické vlastnosti hlasivek

Hrají důležitou roli pro určování frekvence hlasivek.

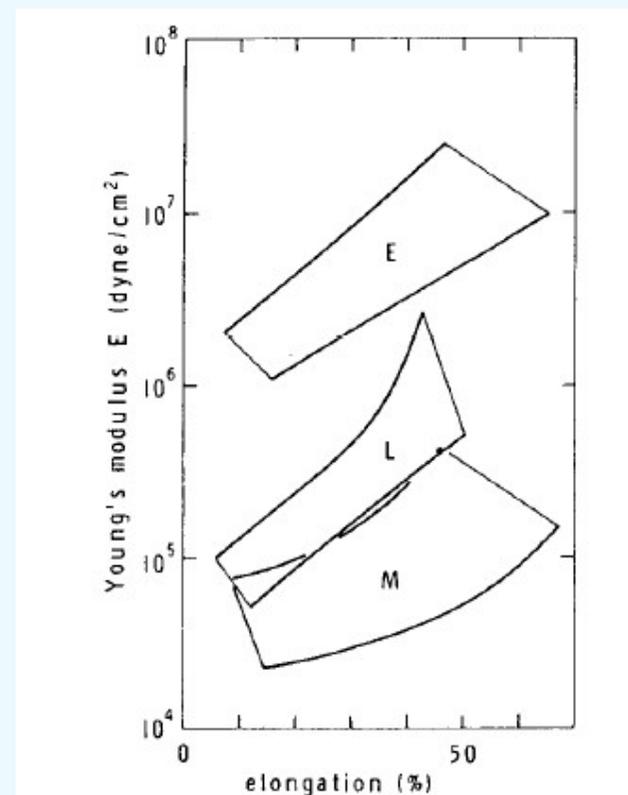
Lze je charakterizovat, podobně jako ostatní materiály, pomocí tzv. Youngova modulu pružnosti.

Čím větší je Youngův modul, tím tužší je materiál a hůře se protahuje.

Obr. 1.14 ukazuje výsledky měření pro epitel (E), vaz (L) a sval (M) hlasivky. Vzhledem k rozptylu dat jsou ukázány místo přesných křivek jen oblasti hodnot.

Různé vrstvy hlasivek mají různou hodnotu Youngova modulu pružnosti, která klesá ve směru od povrchu k vnitřku hlasivky. Hlasivka je tedy tužší na povrchu než uvnitř.

U TA svalu je třeba mít na paměti, že Youngův modul narůstá se svalovou aktivitou (Colton, 1988). Obr. 1.14 přináší hodnoty pro uvedený sval v neaktivovaném stavu.



Obr. 1.14. Elastické vlastnosti různých vrstev hlasivek. Youngův modul pružnosti v závislosti na prodloužení hlasivek. E - epitel; L - ligament (vaz); M - TA sval (Kakita, Hirano, & Ohmaru, 1981).

Elastic properties of the vocal folds

Important role for setting the fundamental frequency of vocal fold vibration.

Can be characterized, like other materials, by the Young's elastic modulus E .

The larger the Young's modulus the less easy to stretch the tissue.

Fig. 1.14 shows measurement results for vocal fold epithelium (E), ligament (L) and muscle (M). Due to data spread, only data areas are shown here instead of exact curves.

Different vocal fold layers have different values of Young's modulus – it is largest at the surface and declines towards the vocal fold body.

In TA muscle, the Young's modulus increases with muscle activity (Colton, 1988). Fig. 1.14 shows the values in a non-active state.

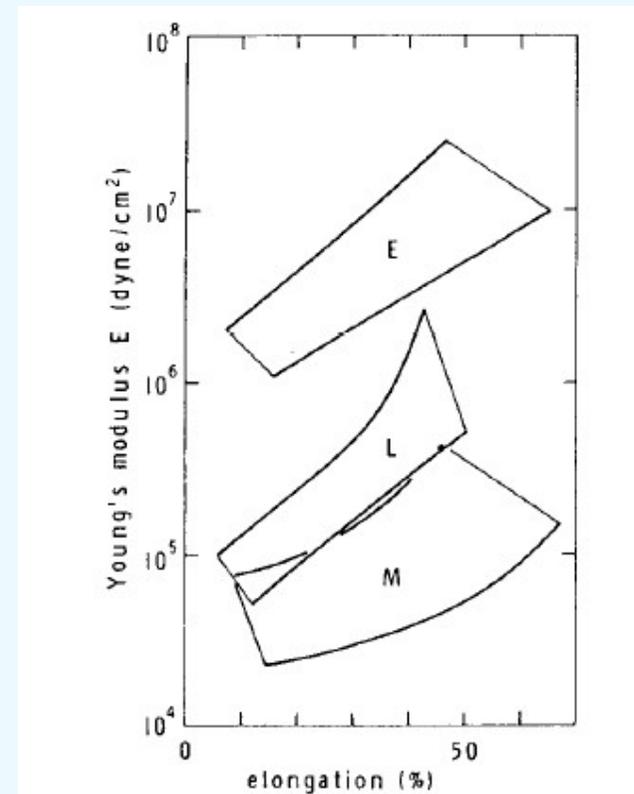


Fig. 1.14: Elastic properties of different vocal fold tissue layers. Young's modulus versus vocal fold elongation. E-epithelium, L – ligament, M – TA muscle.

Kontrola frekvence hlasivek

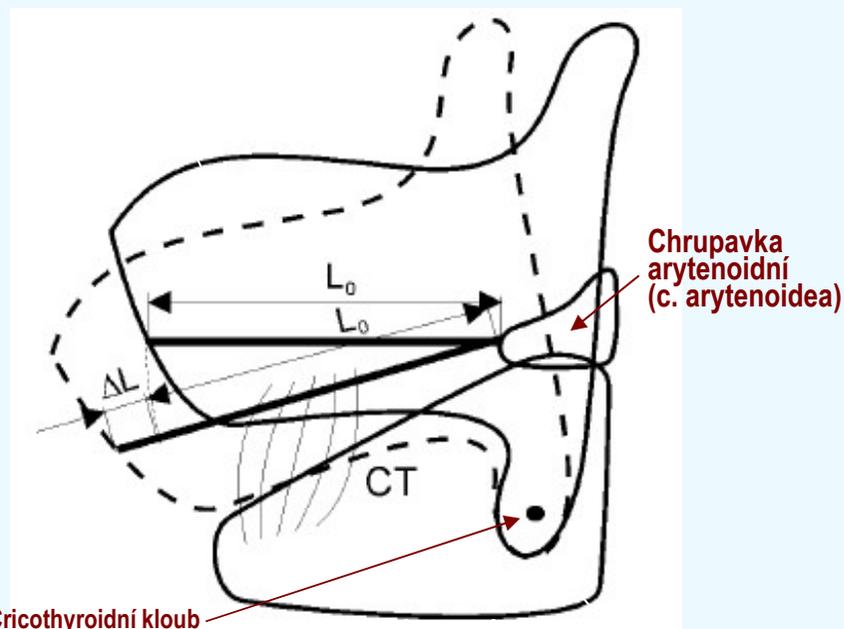
V prvním přiblížení si můžeme hlasivku představit jako strunu. Pro frekvenci struny F_0 platí známý Taylorův vztah, který můžeme aplikovat též na hlasivky:

$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

kde L je délka hlasivek, σ je podélné napětí hlasivek, ρ je hustota tkáně hlasivek.

Hustota hlasivek byla zjištěna zhruba konstantní přes všechny vrstvy hlasivek, v rozmezí 1.02 - 1.04 g/cm³ (Perlman & Titze, 1988).

Délka hlasivek při dýchání je různá u mužů a žen, poměr délek je přibližně 1.6 : 1. To zapříčiňuje vyšší frekvenci hlasu u žen.



Obr. 1.15. Rotace chrupavky štítné vůči prstencové díky kontrakci CT svalu. Hlasivky se prodlužují z původní délky L_0 na délku $L = L_0 + \Delta L$, zvyšuje se pasivní napětí hlasivek.

Control of vocal fold fundamental frequency

In the first approximation, the vocal fold can be compared to a string. For a string, the fundamental frequency F_0 can be calculated using the Taylor's formula:

$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

where L is vocal fold length, σ is longitudinal vocal fold stress, ρ tissue density.

Vocal fold tissue density was found approximately constant over all the layers: 1.02 - 1.04 g/cm³ (Perlman & Titze, 1988).

Vocal fold length is different in men and women, the length ratio is about 1.6 : 1. This causes higher frequency in women than in men.

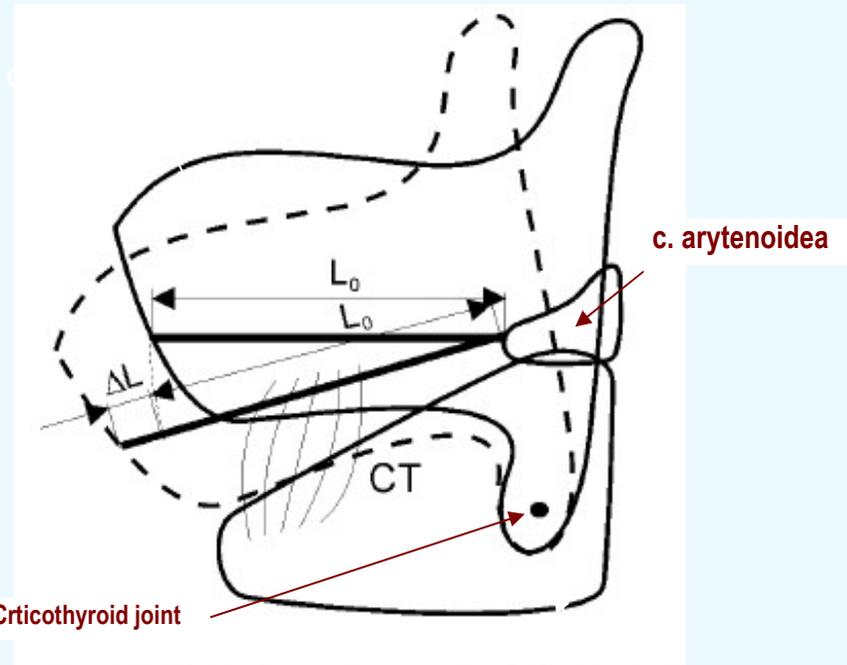


Fig. 1.15: Rotation of the thyroid cartilage against the cricoid cartilage due to CT muscle contraction. Vocal folds elongate from L_0 to $L=L_0+\Delta L$, this increases passive tension in the vocal folds.

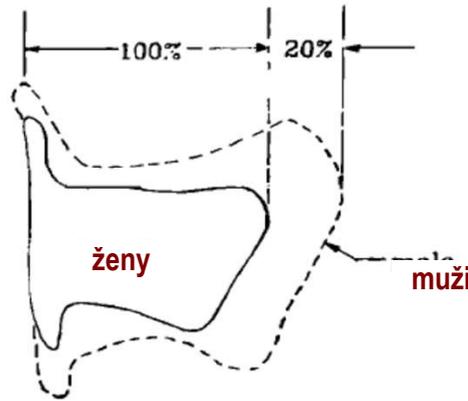
From: Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

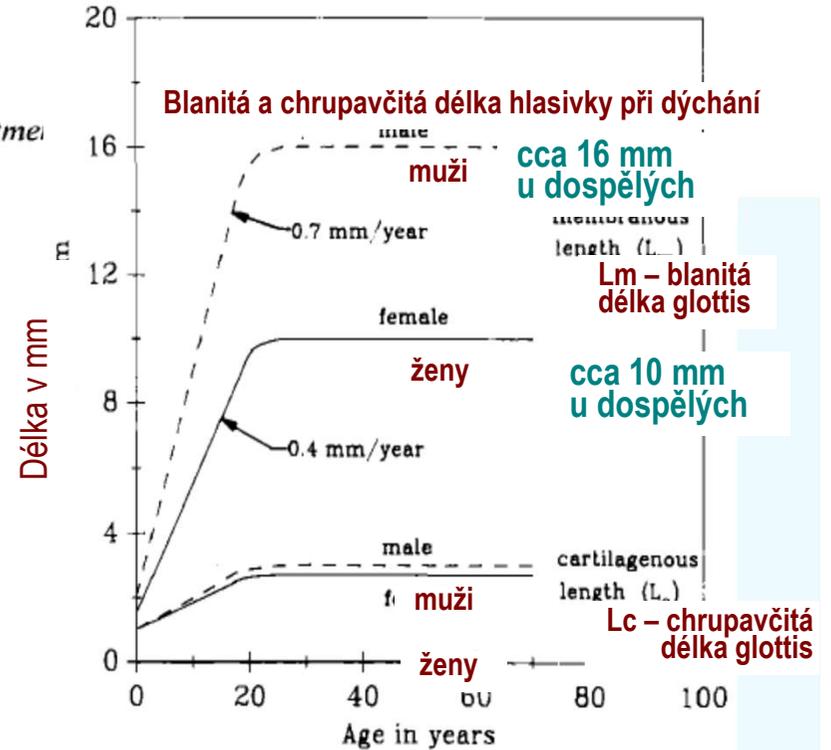
J. Acoust. Soc. Am. 85 (4), April 1989

Ingo R. Titze

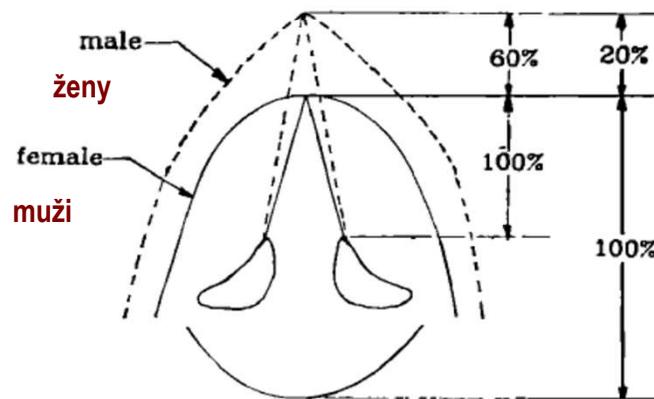
Voice Acoustics and Biomechanics Laboratory, Department of Physics and Astronomy, University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242



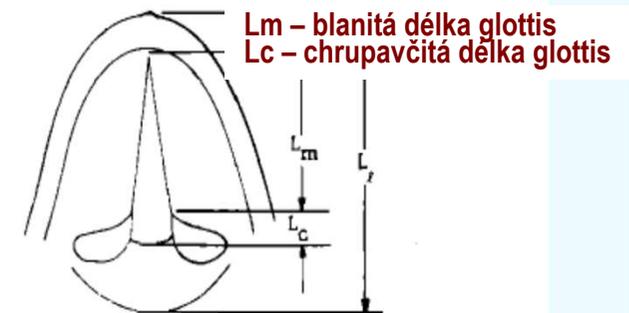
(a) Sagittal View



Věk v letech



(b) Horizontal Section



(b)

I.R. Titze



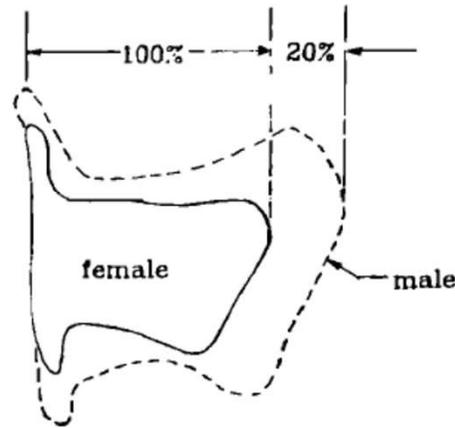
Pohlavní rozdíly jsou výrazně větší v délce blanité části hlasivek (60% rozdíl) než v rozměrech chrupavek (20% rozdíl).

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

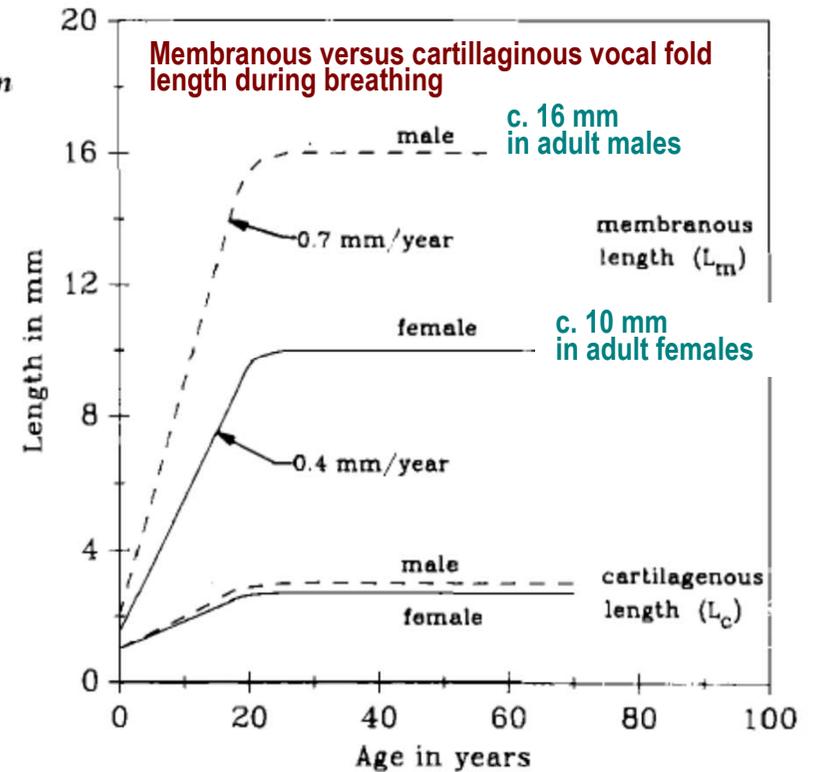
J. Acoust. Soc. Am. 85 (4), April 1989

Ingo R. Titze

Voice Acoustics and Biomechanics Laboratory, Department
University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242

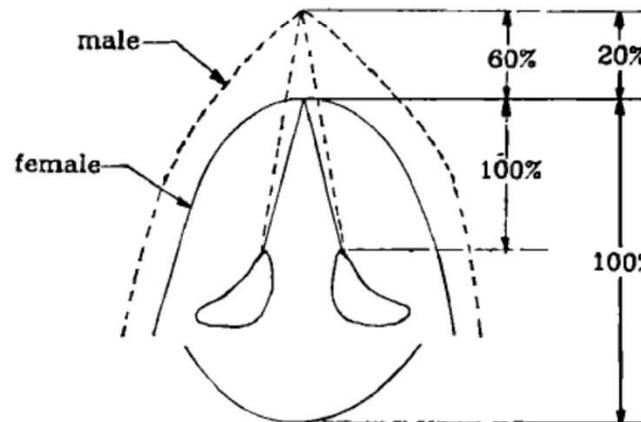


(a) Sagittal View

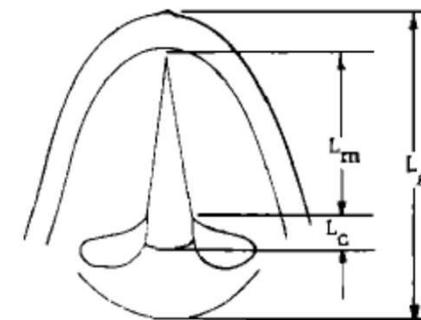


(a)

L_m - membranous glottis
 L_c - cartilaginous glottis



(b) Horizontal Section



(b)

I.R. Titze



Sex differences are remarkably greater in membranous glottis (60% difference) than in cartilage sizes (20% difference).

Kontrola frekvence hlasivek

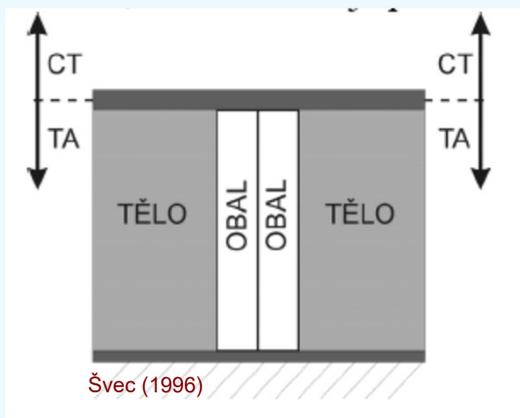
Délka hlasivek a napětí hlasivek jsou při fonaci variabilní. Jsou ovládány zejména činností dvou hrtanových svalů - *m. cricothyroideus* (CT) a *m. thyroarytenoideus* (TA). Každý z těchto svalů přitom přispívá ke změně délky a napětí jiným způsobem.

PASIVNÍ VERSUS AKTIVNÍ NAPĚTÍ HLASIVEK:

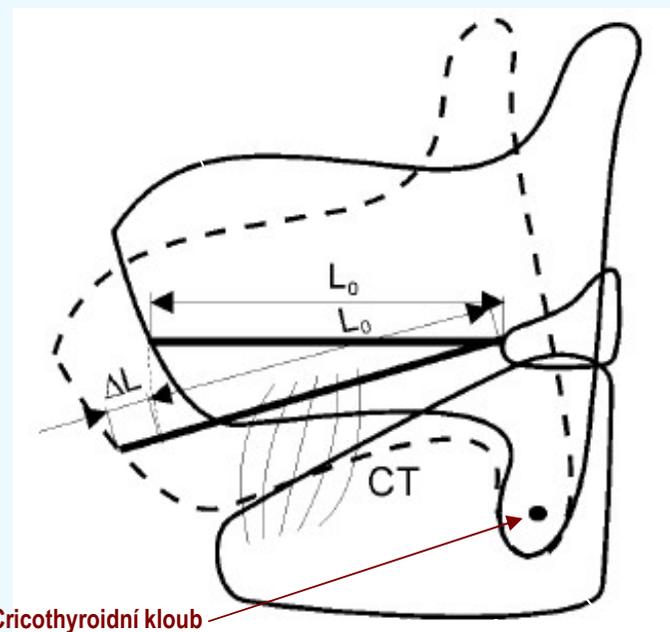
Pasivní napětí hlasivek – prodloužení hlasivek, bez aktivity TA svalu (Obr.1.15). Prodlužování způsobeno rotací chrupavky štítné vůči chrupavce prstencové kolem cricothyroidního kloubu vlivem aktivity CT svalu. Zvyšuje napětí těla i obalu hlasivky.

Aktivní napětí hlasivek – způsobeno aktivním napětím hlasivkového (TA) svalu. *Zvyšuje aktivní napětí těla hlasivky, ale snižuje pasivní napětí obalu hlasivky (tendence ke zkracování hlasivky).*

Běžně dochází ke kombinaci pasivního a aktivního napětí hlasivek.



Švec (1996)



Cricothyroidní kloub

Obr. 1.15. Rotace chrupavky štítné vůči prstencové díky kontrakci CT svalu. Hlasivky se prodlužují z původní délky L_0 na délku $L=L_0+\Delta L$, zvyšuje se pasivní napětí hlasivek.

Zdroj: Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.

Vocal fold frequency control

Vocal fold length and vocal fold tension vary during phonation to change the voice fundamental frequency. They are controlled mainly by two laryngeal muscles – *CT* and *TA*. Each of these contributes to the length and tension changes in a different way.

PASSIVE VERSUS ACTIVE TENSION:

Passive vocal fold tension – vocal fold elongation without *TA* activity (Fig.1.15). Elongation is caused by the *CT* muscle. Elongation happens through rotating thyroid cartilage with respect to the cricoid cartilage around the *CT* joint. It increases tension in both the cover and body of the vocal fold.

Active vocal fold tension – caused by the activity of the *TA* muscle. It increases active tension of the vocal fold body but decreases passive tension of the cover (tendency to shorten the vocal fold).

Usually, the passive and active tensions are occurring together.

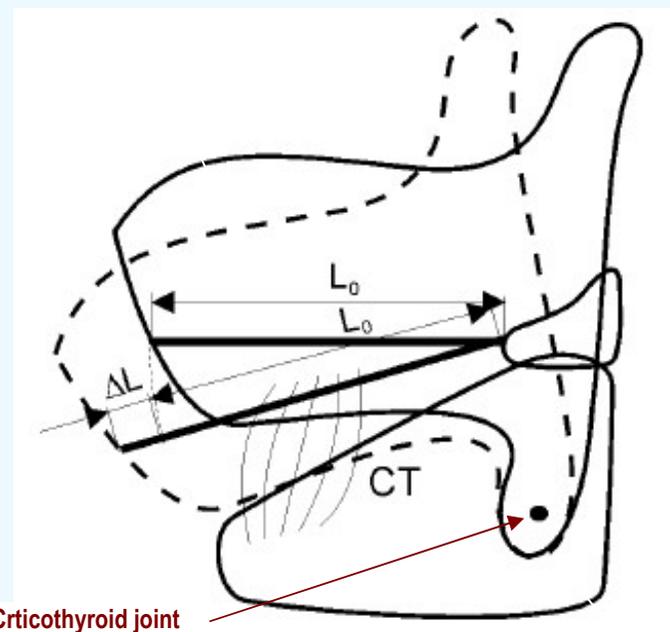
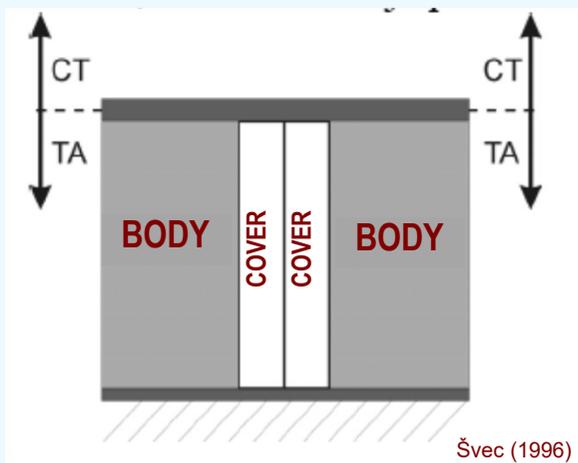
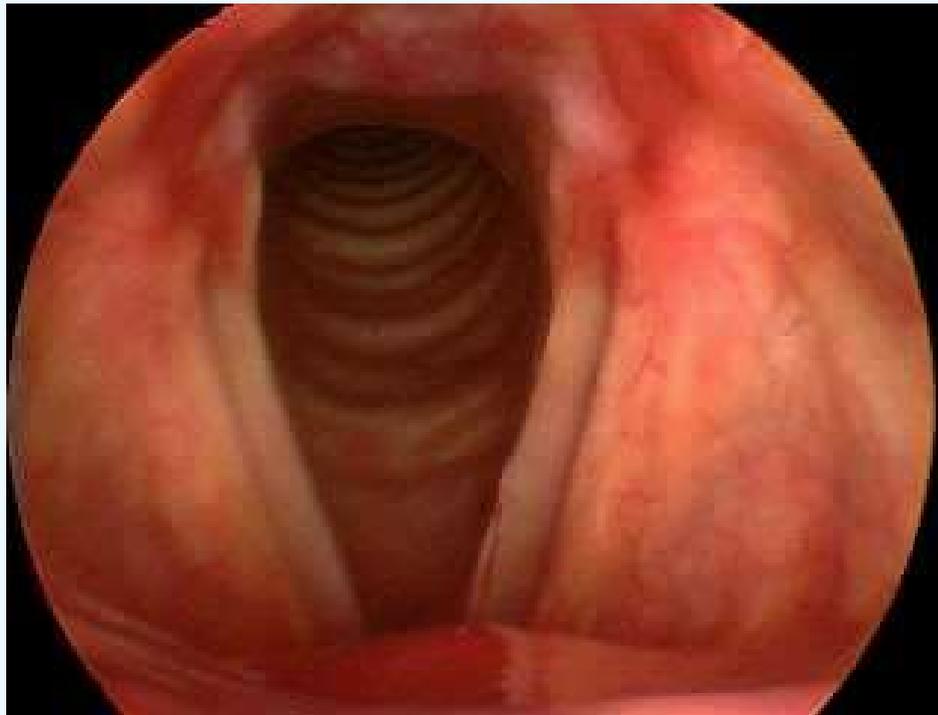


Fig. 1.15: Rotation of the thyroid cartilage against the cricoid cartilage due to *CT* muscle contraction. Vocal folds elongate from L_0 to $L = L_0 + \Delta L$, this increases passive tension in the vocal folds.

From: Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / laryngoscopy



Změna výšky hlasu / Change of voice pitch

Recording made by the National Center for Voice and Speech, Denver, CO, USA

Kontrola frekvence hlasivek

Pasivní napínání hlasivek vede k rozdílnému napětí v různých vrstvách hlasivky – způsobeno jejich různými Youngovými moduly pružnosti E.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Toto napětí vede (zjednodušeně) k tendenci různé frekvence různých vrstev hlasivek.

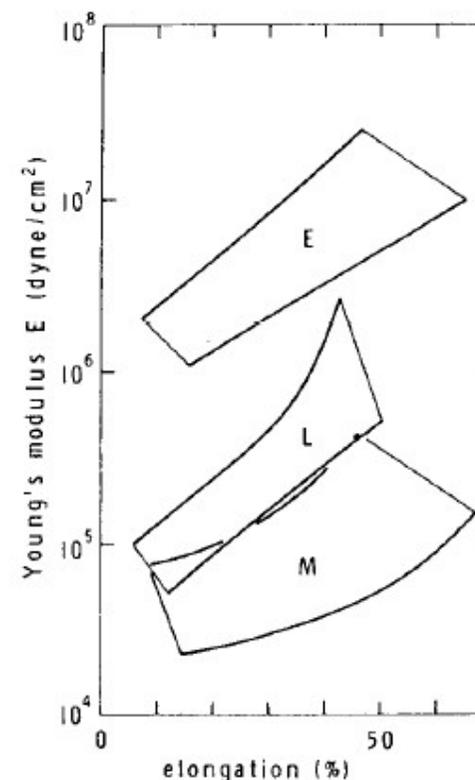
Otázka k zamyšlení – která vrstva má při pasivním napětí tendenci kmitat s nejvyšší frekvencí?

$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

Aktivní napětí hlasivek je schopno redukovat rozdíly mezi tělem a obalem hlasivky. (Je zde spojitost s tzv. hlasovými rejstříky – přílišná rozdílnost napětí mezi tělem a obalem může způsobovat přeskokování hlasu - nelineární děje, tzv. bifurkace, viz. teorie nelineární dynamiky).

(Figure from Kakita Y, Hirano M and Ohmaru K. Physical properties of the vocal fold tissue: measurements on excised larynges. In: Vocal Fold Physiology, edited by Stevens KN and Hirano M. Tokyo: University of Tokyo Press, 1981.)

1 dyn = 10^{-5} N = 1 g·cm/s²
(CGS soustava – předchůdce SI)



Obr. 1.14. Elastické vlastnosti různých vrstev hlasivek. Youngův modul pružnosti v závislosti na prodloužení hlasivek. E - epitel; L - ligament (vaz); M - TA sval (Kakita, Hirano, & Ohmaru, 1981).

Vocal fold frequency control

Passive vocal fold elongation causes different tension in different vocal fold layers – due to the different Young's moduli E .

$$\sigma = E\varepsilon$$

The different tensions cause (in a simplistic view) the different layers to have the tendency to vibrate at different frequencies.

Question to think about – which layer tends to vibrate with the highest frequency when the vocal folds are passively elongated?

$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

Active vocal fold tension can reduce the differences between the body and cover. (This is related to the problem of voice registers – too much difference between the cover and body layers can cause frequency jumps and breaks of voice – nonlinear phenomena, more can be found from the theory of nonlinear dynamics).

1 dyn = 10^{-5} N \equiv 1 g·cm/s²
(CGS system – predecessor of SI)

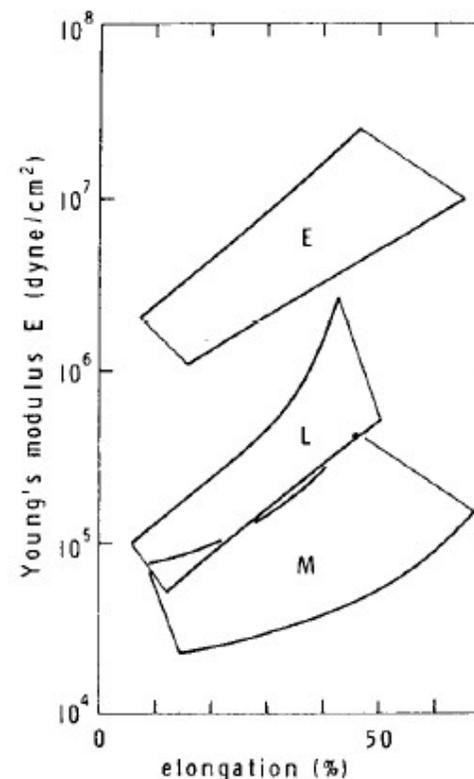


Fig. 1.14: Elastic properties of different vocal fold tissue layers. Young's modulus versus vocal fold elongation. E-epithelium, L – ligament, M – TA muscle.

Kontrola frekvence hlasivek

Požadovanou frekvenci hlasivek lze dosáhnout různými kombinacemi aktivního a pasivního napětí hlasivek (tedy různým poměrem aktivit CT a TA svalu - Obr. 1.17).

Změna poměrů aktivního a pasivního hlasivek při stejné frekvenci však vede k různému tvaru kmitání hlasivek a výsledně pak k jiné barvě hlasu.

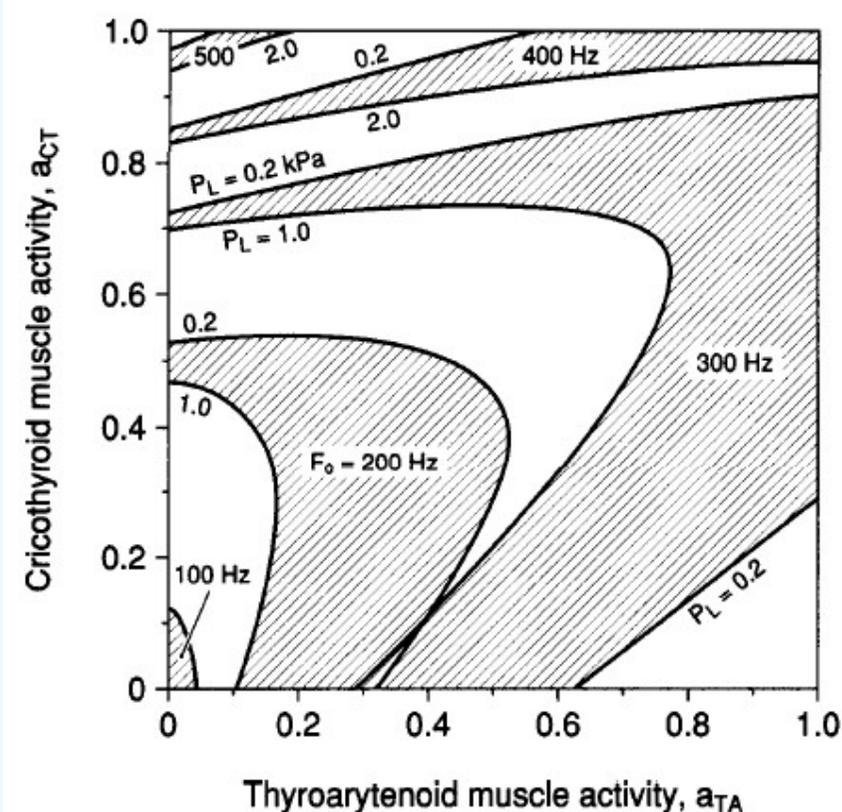
Tento jev je využíván při zpěvu a souvisí s tzv. hlasovými rejstříky.



I.R. Titze

Kromě napětí a délky je frekvence kmitání hlasivek závislá též na tlaku vzduchu v plicích (též na obr. 1.17).

Velice názorný a jednoduchý příklad ovlivňování frekvence plicním tlakem (náhlým zvýšením plicního tlaku důsledkem úderu do hrudníku) popsal van den Berg (1957):



Obr. 1.17. Graf aktivity CT a AT svalů s konstantními oblastmi F_0 pro hlasivkový model tělo-obal pro dvě různé hodnoty tlaku plic P_L . Aktivita svalů je vyjádřena v relativních veličinách: 0 - žádná aktivita, 1 - maximální možná aktivita svalu (Titze, 1994).

Vyzkoušejte si sami, co se stane s frekvencí vašeho hlasu, když se při vyslovování samohlásky [a:] bouchnete do hrudníku.

Vocal fold frequency control

Specific vibrational frequency of the vocal folds can be achieved through different combinations of active and passive tension (i.e., different activity ratios of CT and TA muscles – Fig. 1.17).

Different ratios of active and passive vocal fold tensions at the same vibrational frequencies cause the vibration pattern of the vocal folds to be different, however. This causes different vocal timbres.

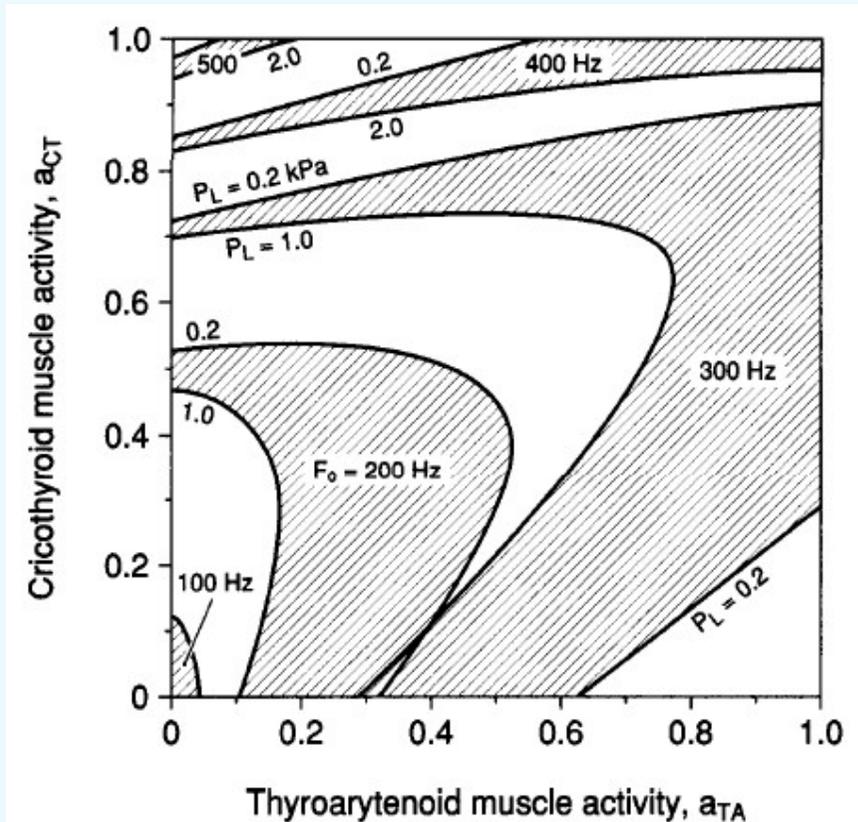
This phenomenon is explored in singing and is related to so called vocal registers.



I.R. Titze

Besides of tension and length, vibrational frequency of the vocal folds is also dependent on lung pressure (also in Fig. 1.17).

A nice example of influence of lung pressure on voice frequency (by hitting the chest during phonation) was described by van den Berg (1957).



Obr. 1.17. Graf aktivity CT a AT svalů s konstantními oblastmi F_0 pro hlasivkový model tělo-obal pro dvě různé hodnoty tlaku plic P_L . Aktivita svalů je vyjádřena v relativních veličinách: 0 - žádná aktivita, 1 - maximální možná aktivita svalu (Titze, 1994).

Try yourself what happens when you hit your chest while producing the vowel [a:].

Video o struktuře a funkci hrtanu

Jw. van den Berg, W. Vennard, D. Burger, and C. C. Shervanian.
Voice production. The vibrating larynx. (Instructional film),
University of Groningen, 1960.

Česká verze, překlad Prof. RNDr. J. Pešák, CSc. a Dagmar Flynt, M.A.

Janwillem van den Berg
Groningen, Nizozemsko
cca 1975



HLAS A ŘEČ:

**Využívají specifické typy zvuku, který vydává
člověk**

CO JE TO ZVUK?

VOICE AND SPEECH

**Make use of specific sounds produced by
humans**

WHAT IS A SOUND?

HLAS :
Základy akustiky

VOICE :
Basics of acoustics

KONEC DÍLU
END OF THE PART

Děkuji za pozornost

Thank you for your attention