



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

HLAS: ANATOMIE AND FYZIOLOGIE



JAN ŠVEC

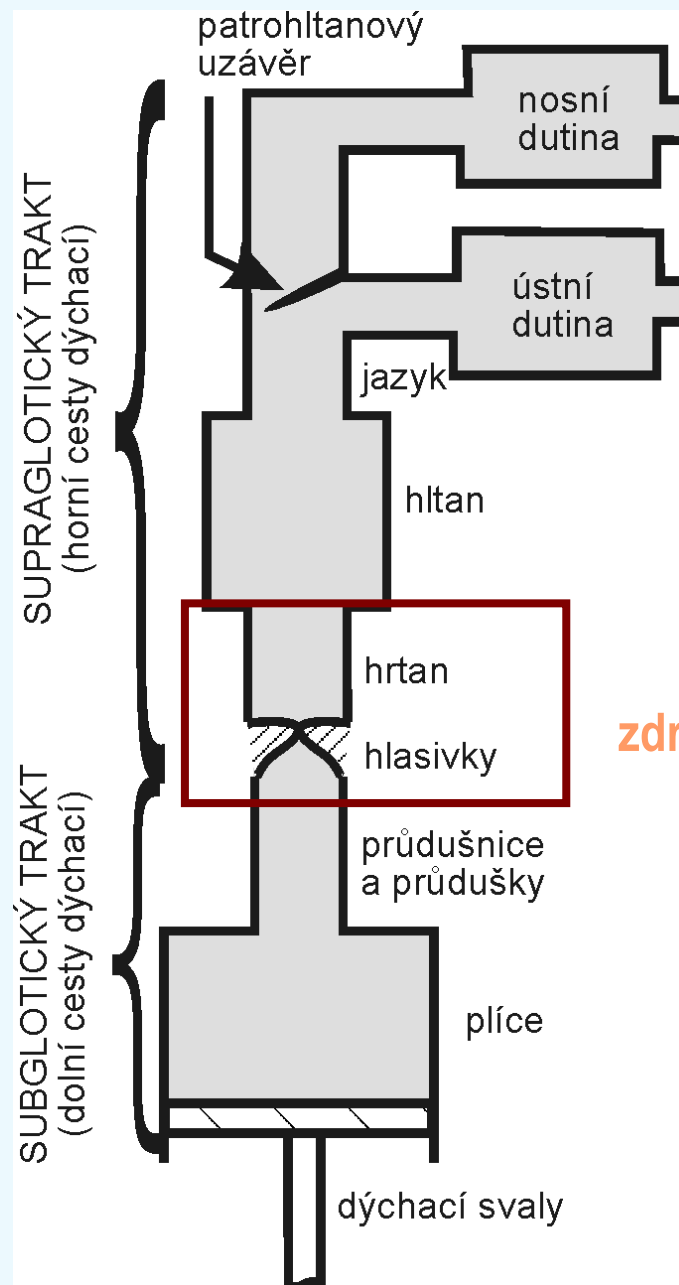


Katedra experimentální fyziky, Př.F., UP v Olomouci

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

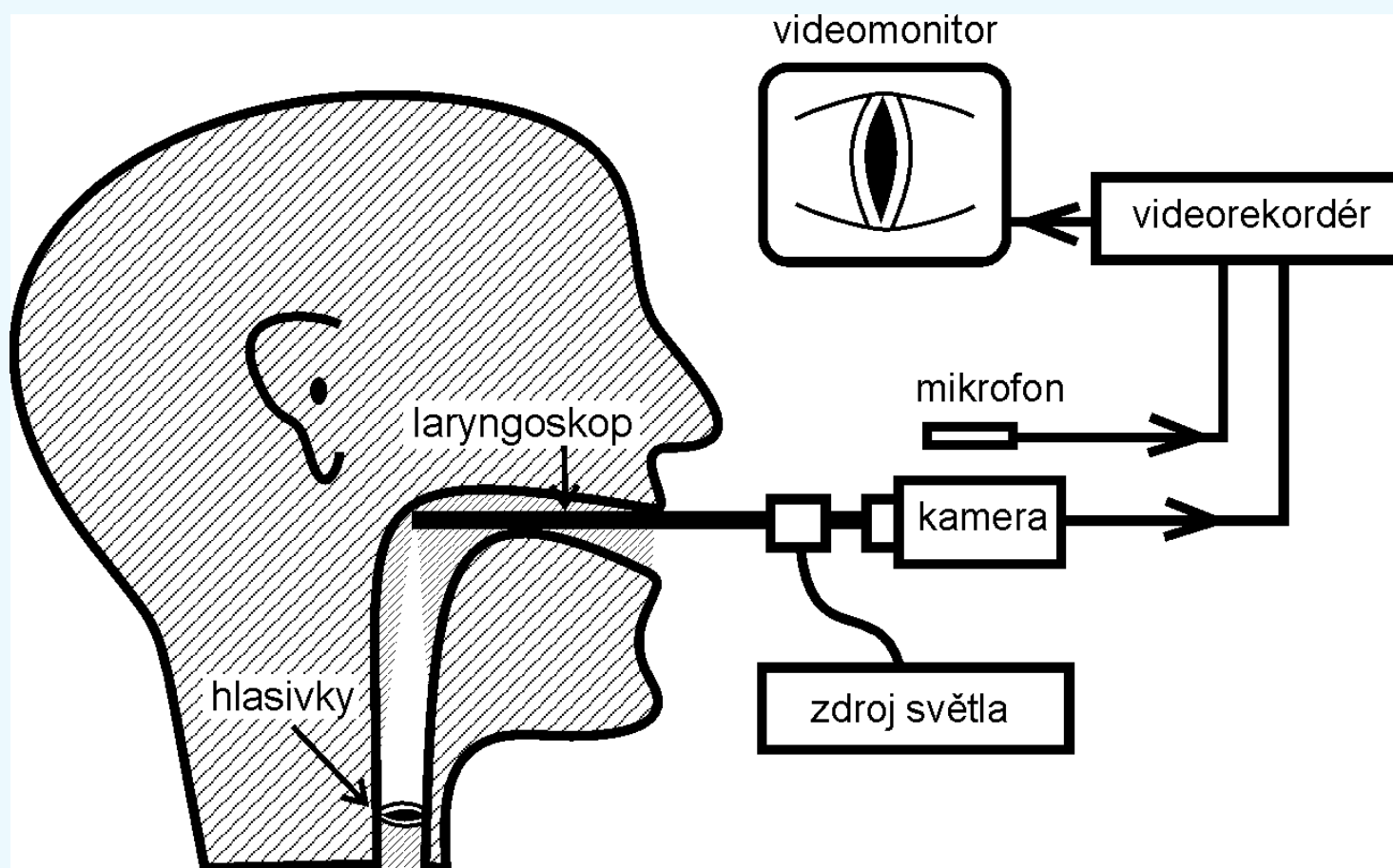
FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)



**Ústrojí
zdroje hlasu**

Laryngoskopie - vizualizace vnitřního hrtanu





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



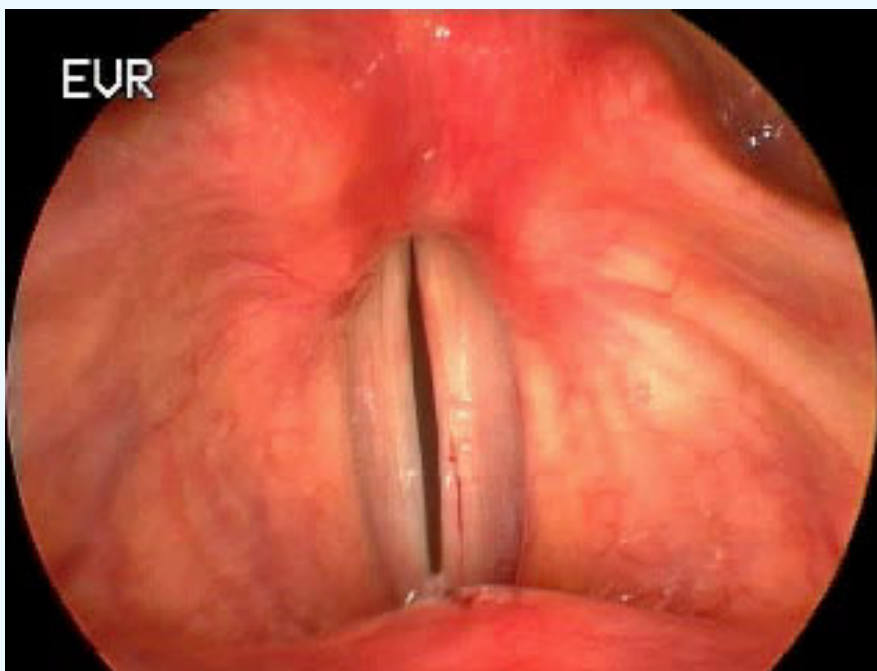
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Vizualizace vnitřního hrtanu: laryngoskopie



DEMONSTRACE laryngoskopie



Fonace a nádech

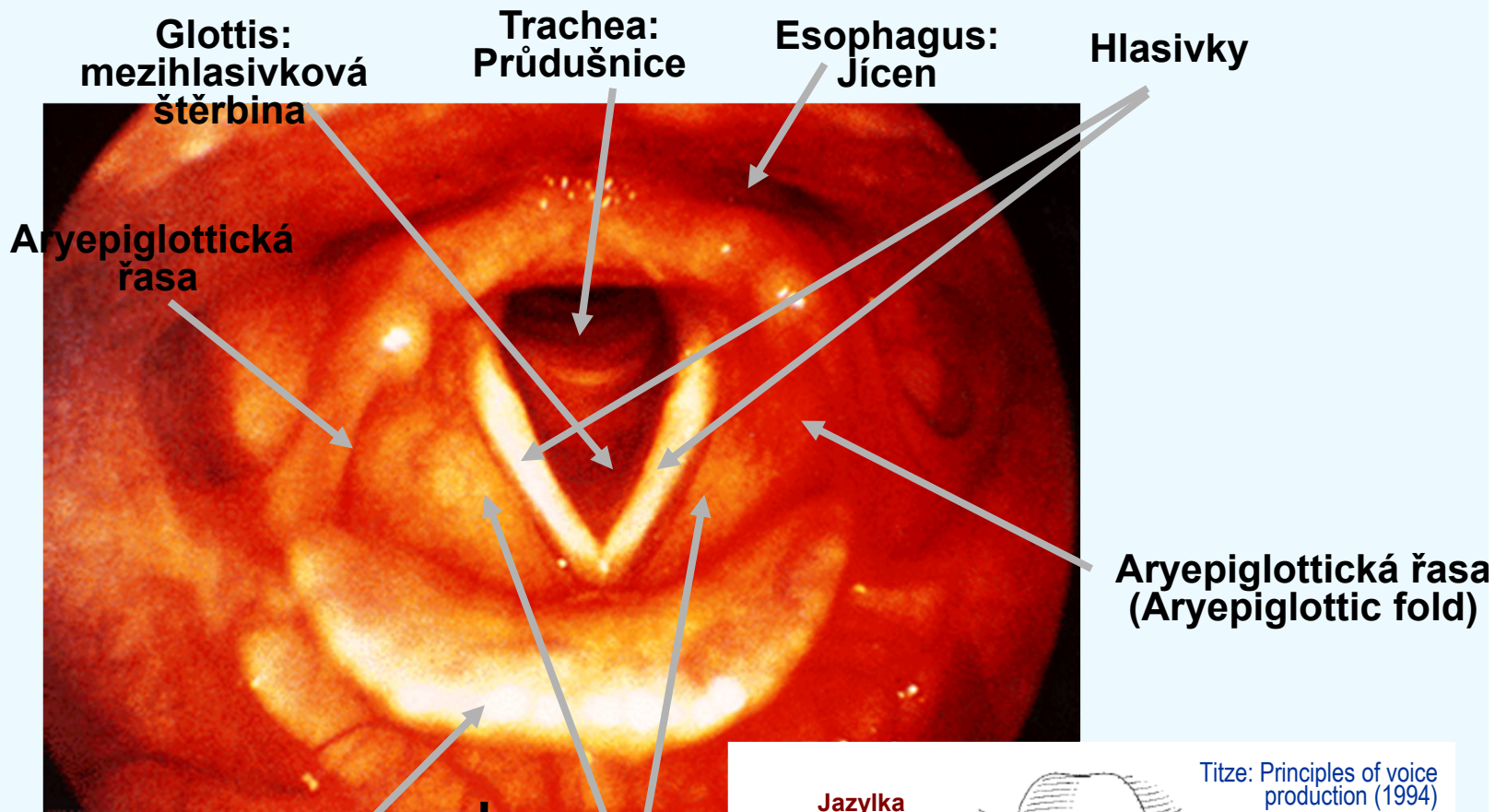


Photo by H.K.Schutte, MD, PhD

Epiglottis:
Hrtanová přiklopka

Ventrikulární řasy
(Ventricular folds)

Směr jazyk, ústa



Koronální řez hrtanem

Anatomie hrtanu



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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*)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



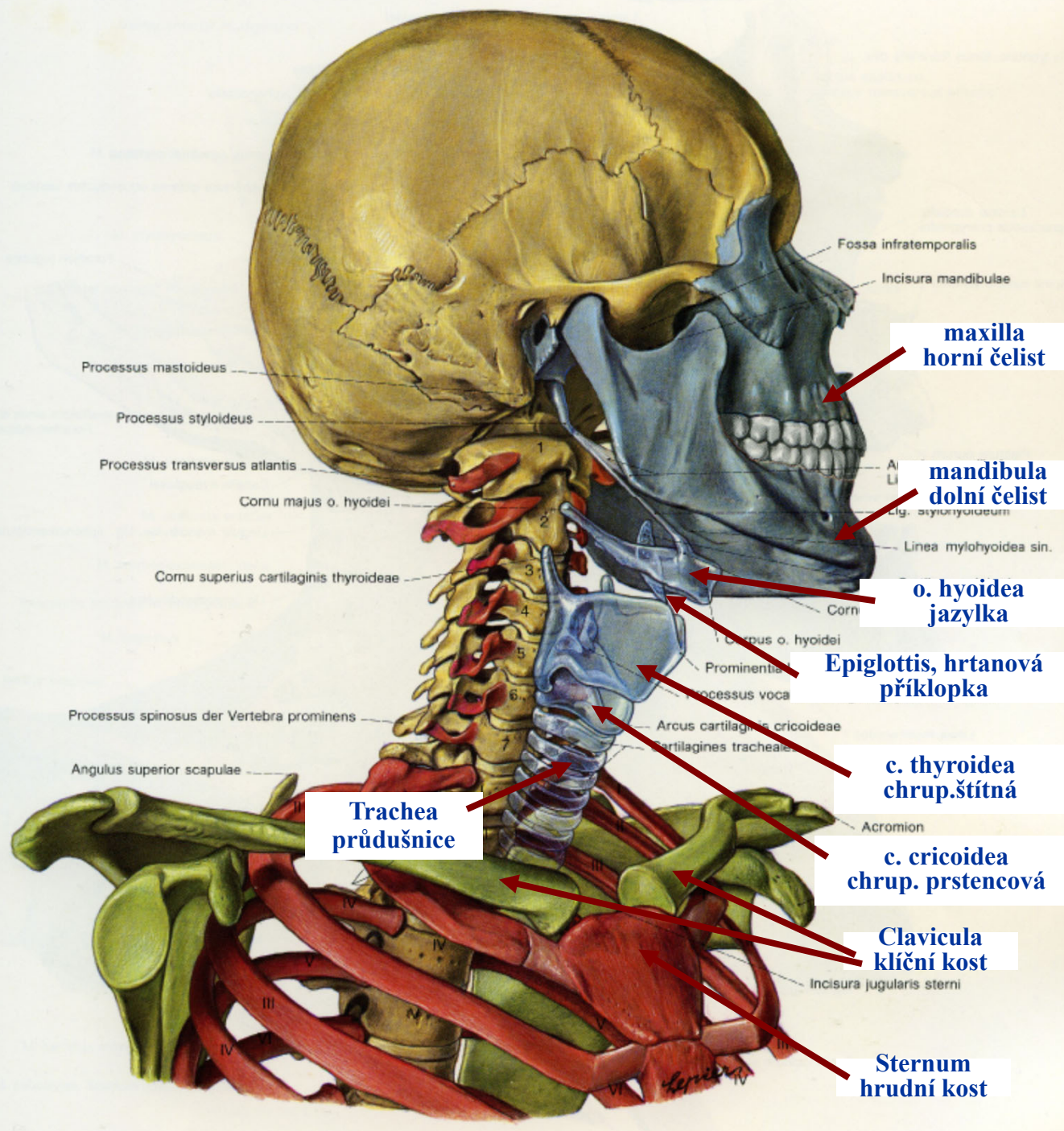
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

KOSTRA HLASOVÉHO A ŘEČOVÉHO ÚSTROJÍ

SKELETON OF THE VOICE AND SPEECH APPARATUS

Pernkopf (1956)





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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)

Chrupavky hlasivkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

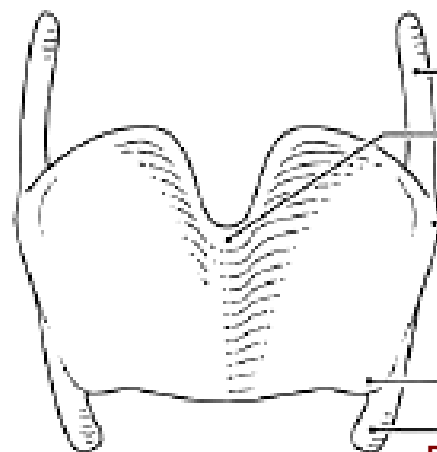


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kostra hrtanu: chrupavka štítná (c. thyroidea)

Přední pohled



(a)

Anterior

Posterior

Boční pohled

Horní roh – upíná se na něj vaz, který vede nahoru k jazyce

Superior cornu

Hrtanový výčnělek (ohryzek)

Laryngeal prominence

(Adam's apple)

Superior tubercle

Oblique line

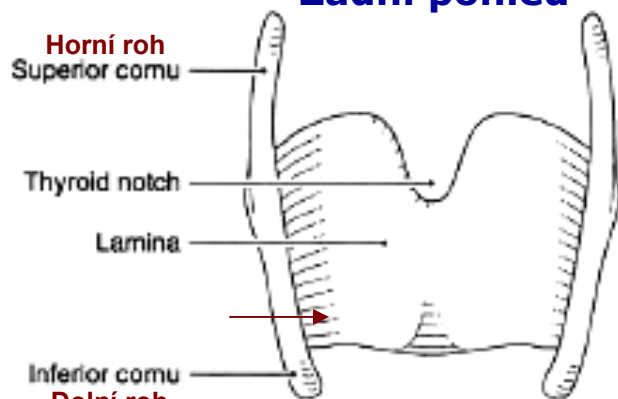
Inferior tubercle

Inferior cornu

Dolní roh – připojuje se k chrupavce prstencové

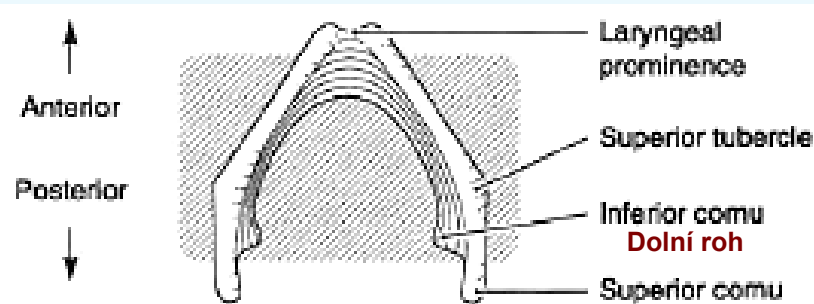
(b)

Zadní pohled



(c)

Horní pohled



(d)

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)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kostra hrtanu: chrupavka prstencová (c. cricoidea)

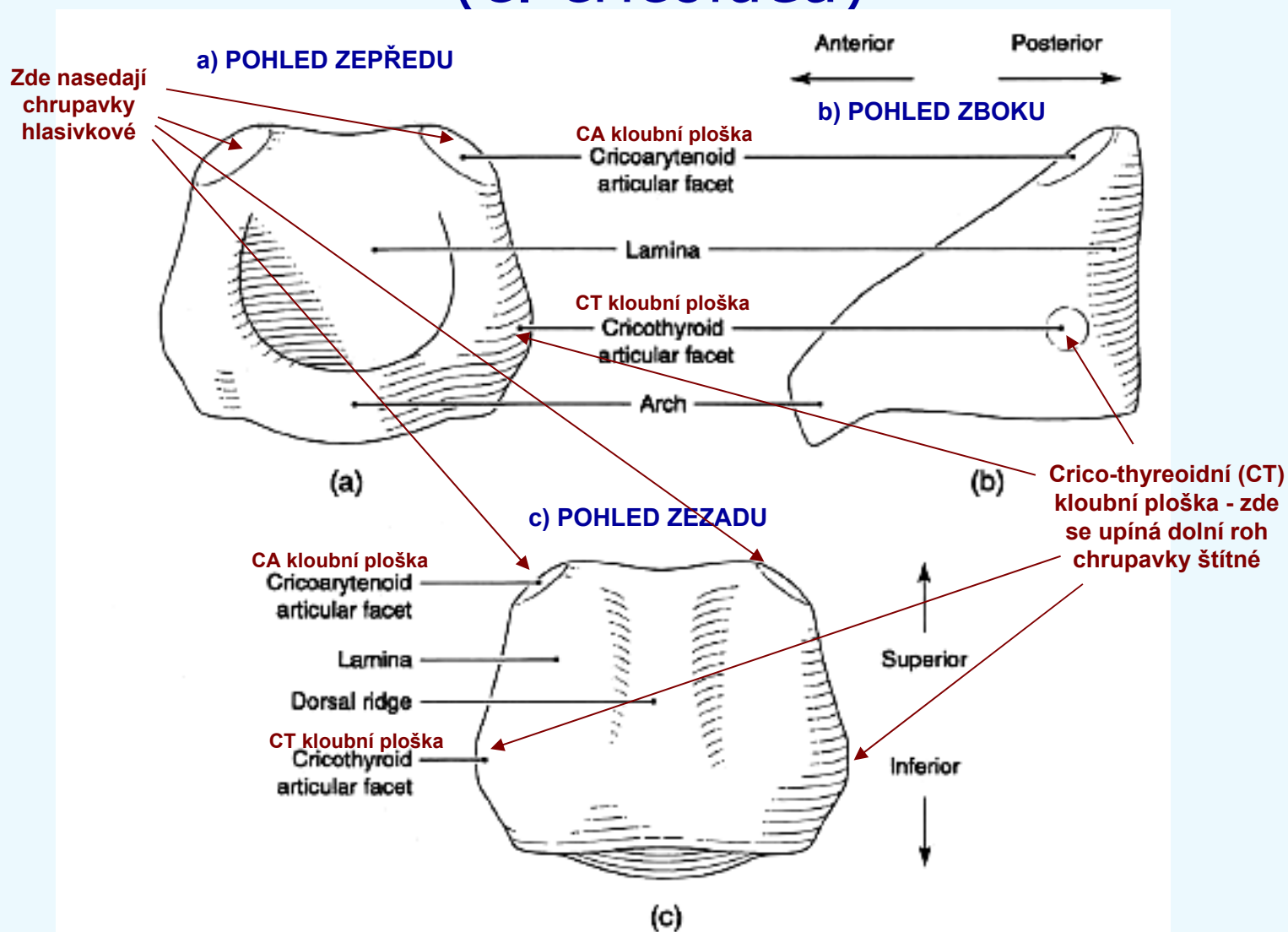


FIGURE 1.5. The cricoid cartilage: (a) anterior view, (b) lateral view, and (c) posterior view.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kostra hrtanu

tvořena chrupavkami

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

je tvořena ze dvou plochých destiček, jež se vpředu 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)

má tvar prstence, který je vzadu vyšší než vpředu. 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)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kostra hrtanu: chrupavky hlasivkové: (cc. arytaenoidee)

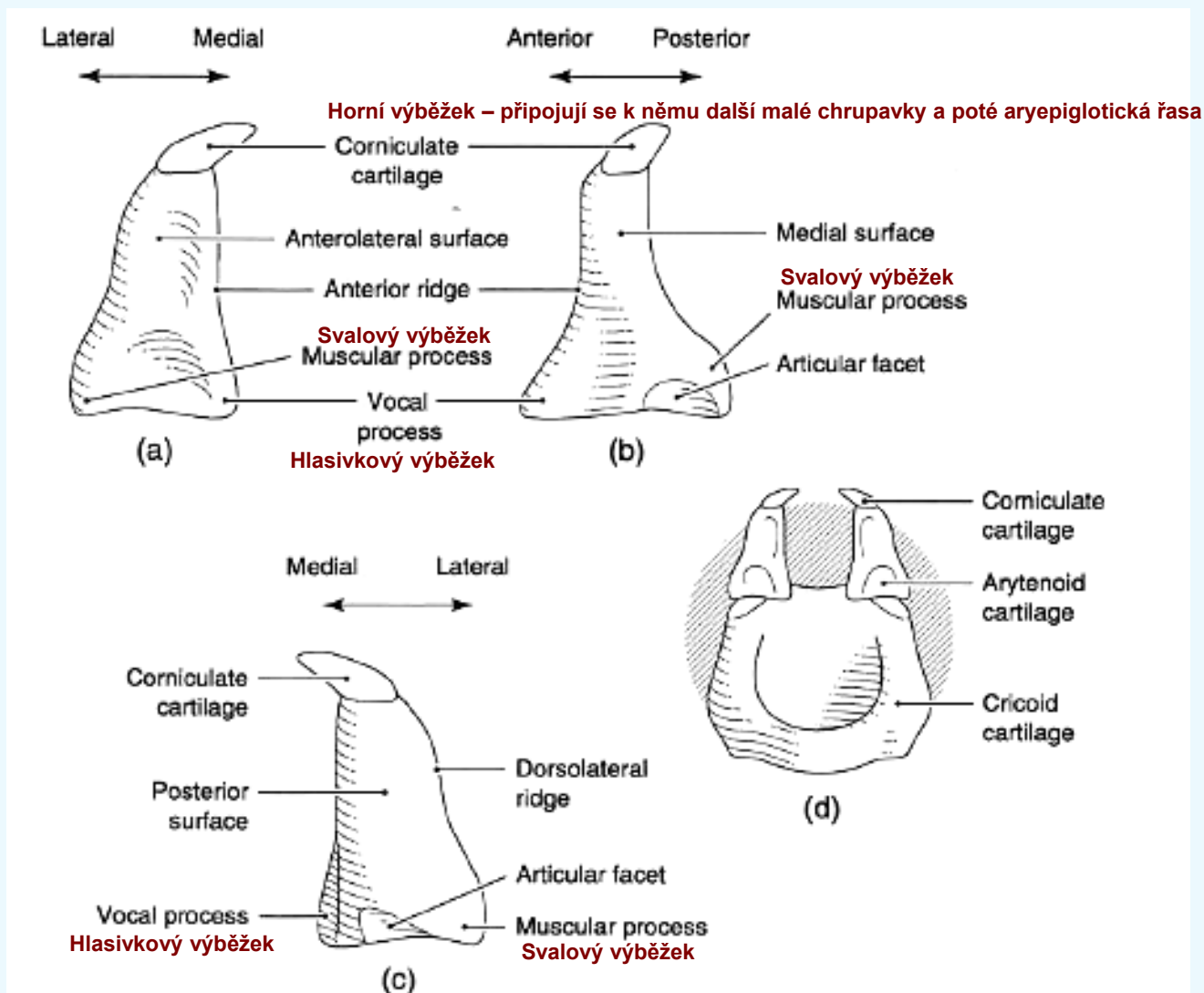


FIGURE 1.6. The arytenoid cartilage: (a) anterior view, (b) lateral view, (c) posterior view, and (d) composite anterior view with cricoid cartilage (compare with posterior view in Figure 1.3).

Titze: Principles of voice
production (1994)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



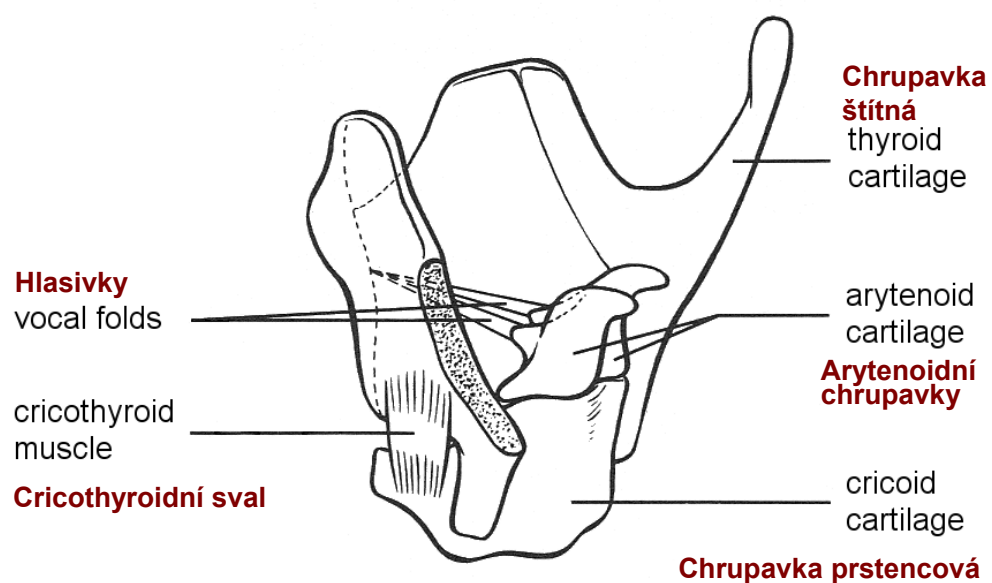
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kostra hrtanu: propojení chrupavky štítné, prstencové a chrupavek hlasivkových



Titze: Principles of voice
production (1994)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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.

Anatomie – kostra hrtanu

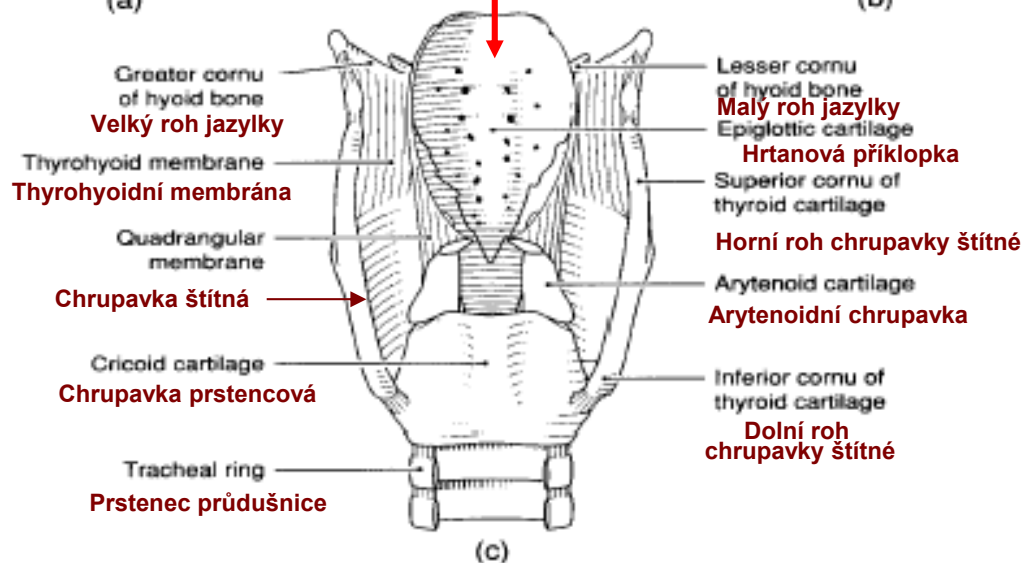
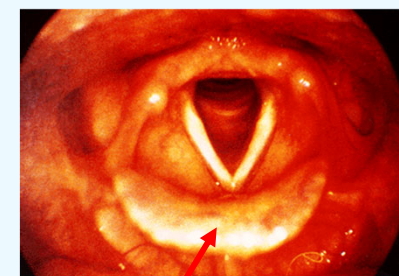


Photo by H.K.Schutte, MD, PhD



epiglottis



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

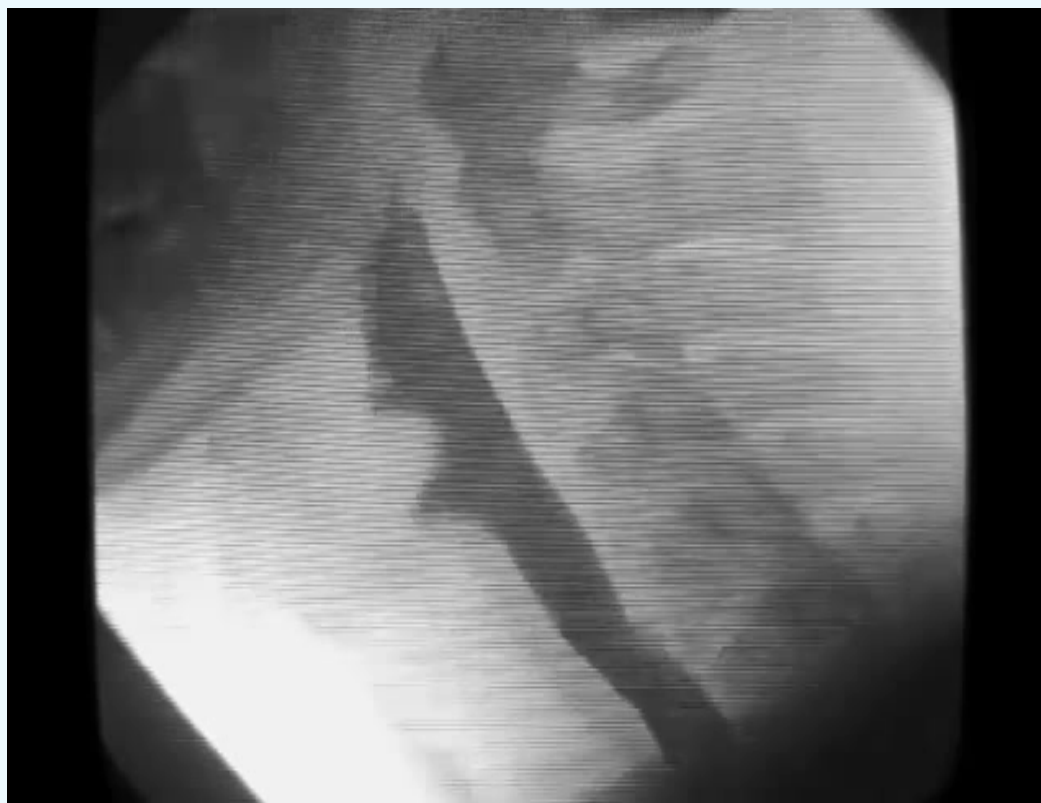


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / 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 vpředu 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 vpředu. 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 hlasíkové (**crico-arytenoidní kloub, CA kloub**).

Chrupavky hlasíkové (lat. cartilagine arytenoidee, značeny A)

Párové chrupavky, které sedí na vrcholcích chrupavky prstencové. Mají tři základní výběžky: **1) výběžek hlasíkový (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 hlasíkových umožňují **addukci** (přibližování se) a **abdukci** (rozevírání) hlasivek.

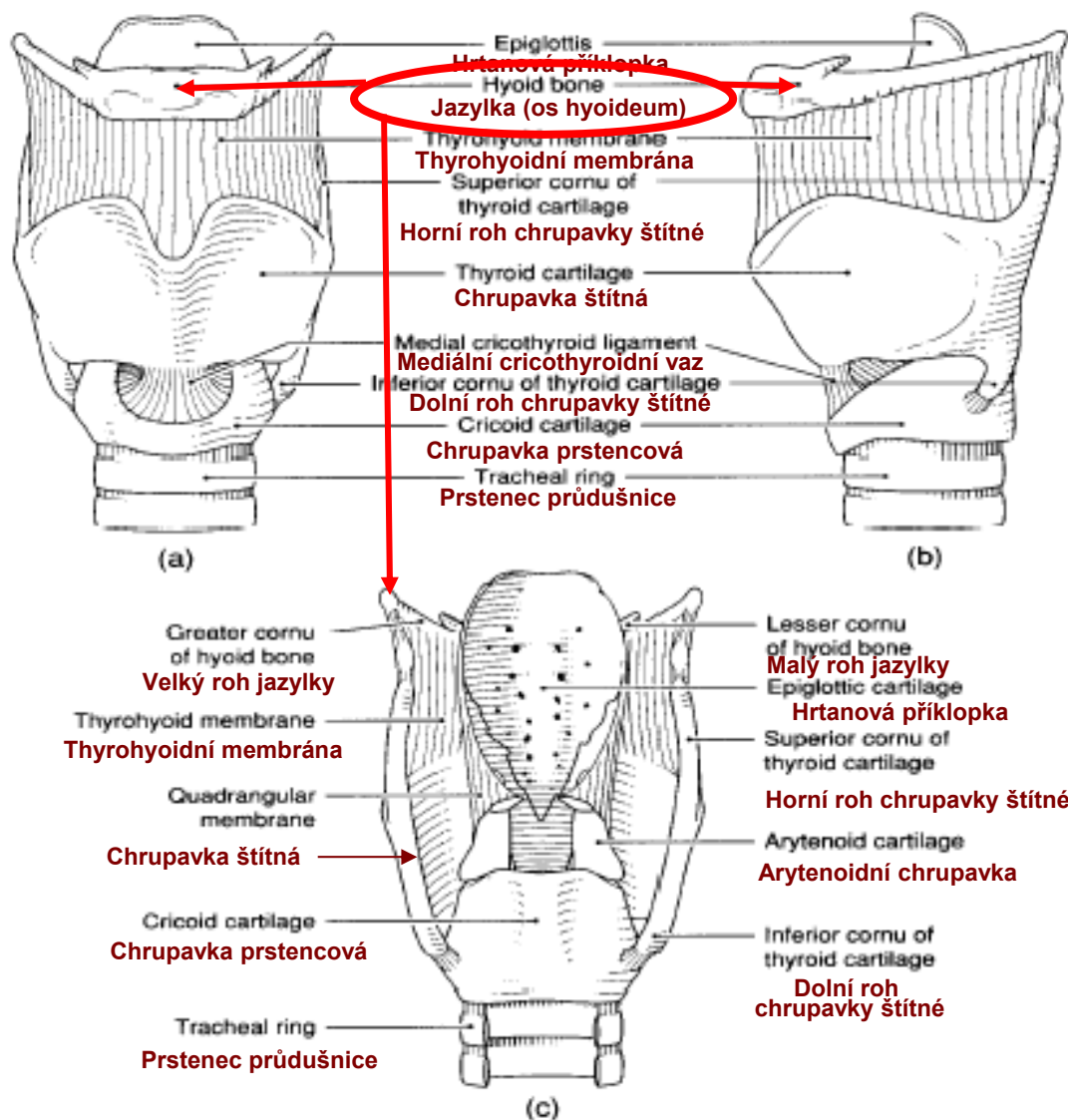
Hrtanová příklopka (lat. Epiglottis, značena E)

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.

Anatomie – kostra hrtanu



Titze: Principles of voice production (1994)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Anatomie – kostra hrtanu

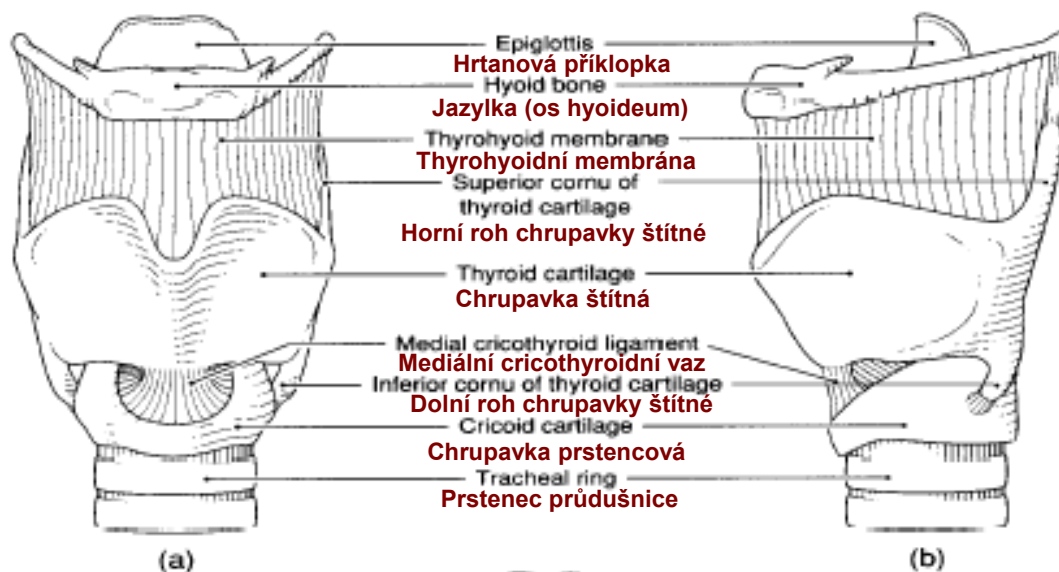
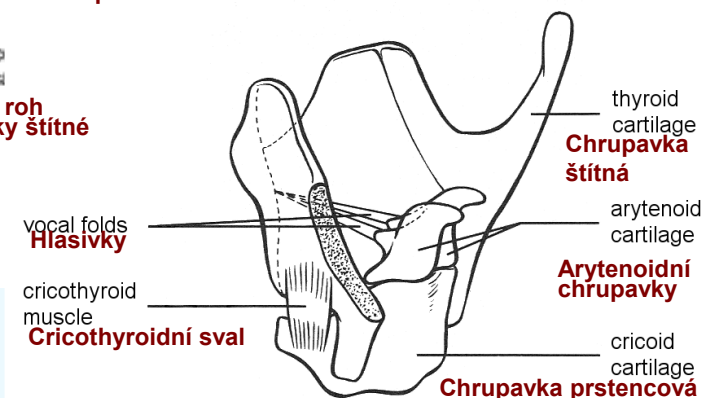
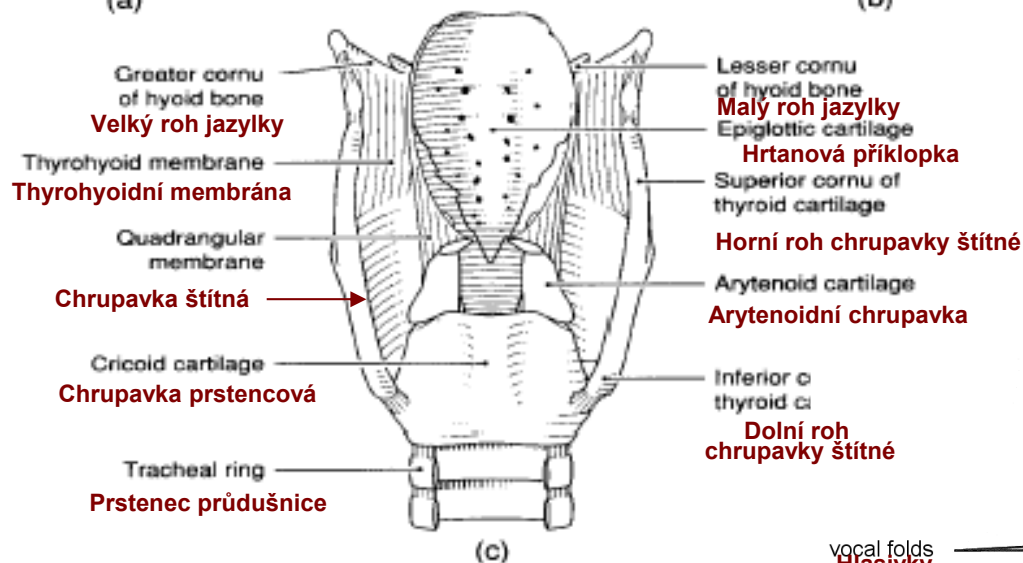
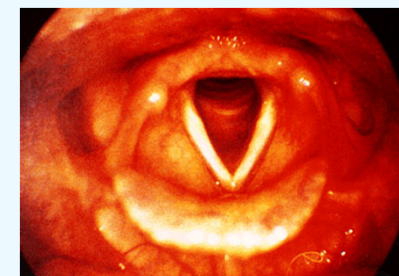


Photo by H.K.Schutte, MD, PhD



Titze: Principles of voice production (1994)

Svalstvo hrtanu

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

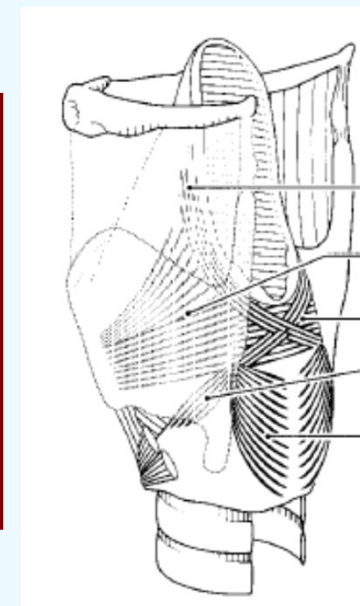
Vnější svalstvo spojuje hrtan s ostatními strukturami – zejména s hrudní kostí (lat. sternum) a jazyčkou (lat. os hyoideum).

[Funkce: např. při polykání způsobí pohyb hrtanu vzhůru a uzavření hrtanové příklopky. Při operním zpěvu umožňuje posun hrtanu dolů]

Dělíme na:

Zvedače (elevátory) hrtanu

Snižovače (depresory) hrtanu



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

Vnitřní svalstvo propojuje navzájem chrupavky hrtanu a je rozhodující pro fonační (a respirační) funkci.

Dělíme na adduktory a abduktory.

Adduktory způsobují uzavírání hlasové štěrbinu, neboli addukci,

Abduktory otevírají, abdukují, hlasovou štěrbinu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



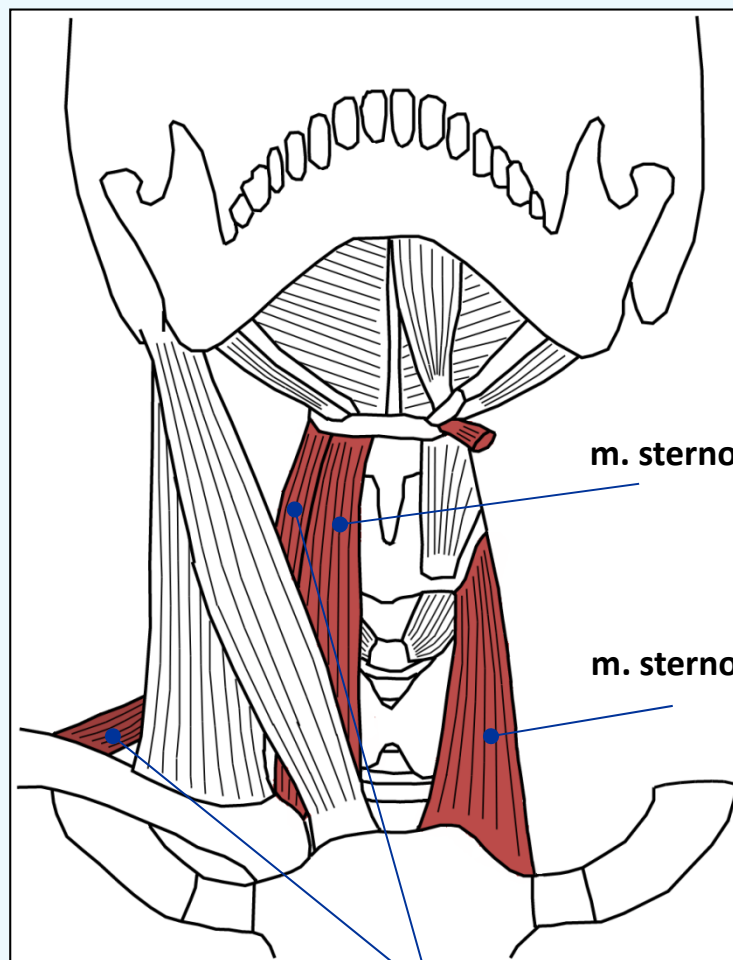
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



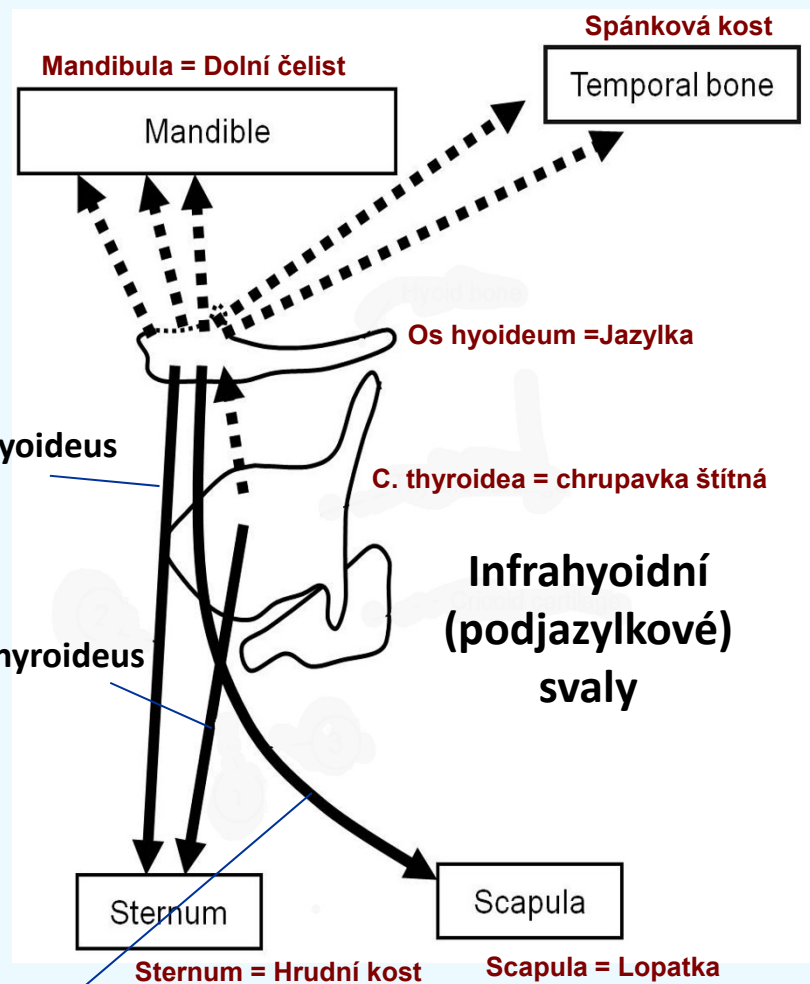
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Vnější svaly hrtanu - snižovače (depresory) hrtanu a jazyky



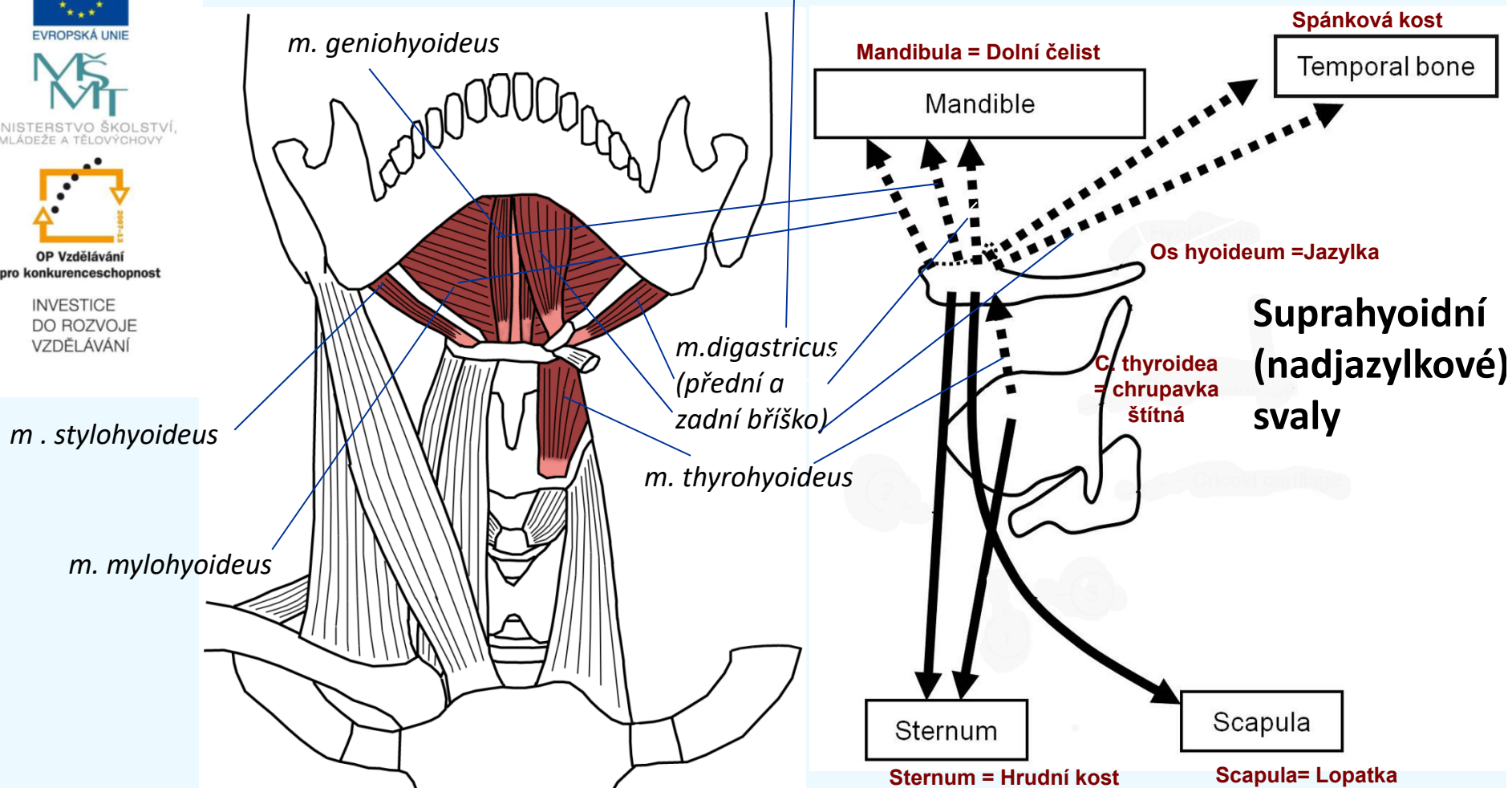
m. omohyoideus



Source: RNDr. V. Lungová

Vnější svaly hrtanu - Zvedáče (elevátory) hrtanu a jazyky

(podvlečen pod šlachou upevněnou k jazylce)



Pozn: všechny tyto svaly jsou párové – na obou stranách, zde ukázány jen jednostranně, pro pohled na ostatní svaly

Podklady: RNDr. V. Lungová

Svalstvo hrtanu

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

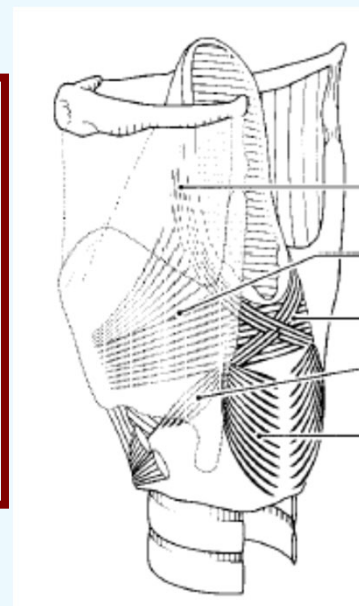
Vnější svalstvo spojuje hrtan s ostatními strukturami – zejména s hrudní kostí (lat. sternum) a jazyčkou (lat. os hyoideum).

[Funkce: např. při polykání způsobí pohyb hrtanu vzhůru a uzavření hrtanové příklopky. Při operním zpěvu umožňuje posun hrtanu dolů]

Dělíme na:

Zvedáče (elevátory) hrtanu

Snižovače (depresory) hrtanu



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

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

Dělíme na adduktory a abduktory.

Adduktory způsobují uzavírání hlasové štěrbiny, neboli addukci,

Abduktory otevírají, abdukují, hlasovou štěrbinu.

Svalstvo hrtanu

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

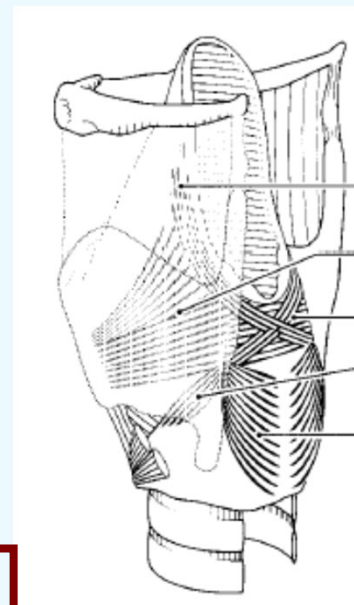
Vnější svalstvo spojuje hrtan s ostatními strukturami – zejména s hrudní kostí (lat. sternum) a jazyčkou (lat. os hyoideum).

[Funkce: např. při polykání způsobí pohyb hrtanu vzhůru a uzavření hrtanové příklopky. Při operním zpěvu umožňuje posun hrtanu dolů]

Dělíme na:

Zvedáče (elevátory) hrtanu

Snižovače (depresory) hrtanu



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

Vnitřní svalstvo propojuje navzájem chrupavky hrtanu a je rozhodující pro fonační (a respirační) funkci.

Dělíme na adduktory a abduktory.

Adduktory způsobují uzavírání hlasové štěrbiny, neboli addukci,

Abduktory otvírají, abdukují, hlasovou štěrbinu.

Vnitřní svalstvo hrtanu

Obr. 1.10. Schematické znázornění chrupavek hrtanu a vnitřního svalstvo 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**

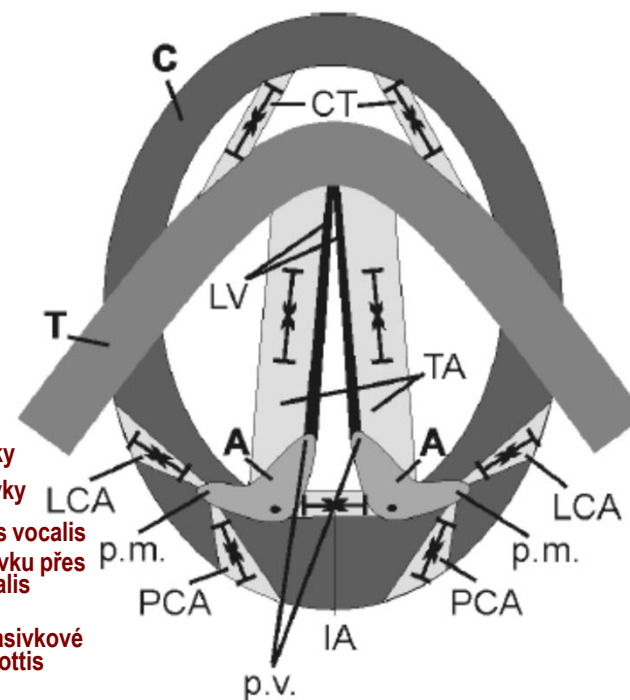
PCA - m. cricoarytenoideus posterior (m. posticus); **Abdukuje hlasivku přes processus vocalis**

IA - m. arytenoideus transversus (interarytenoid muscle)

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

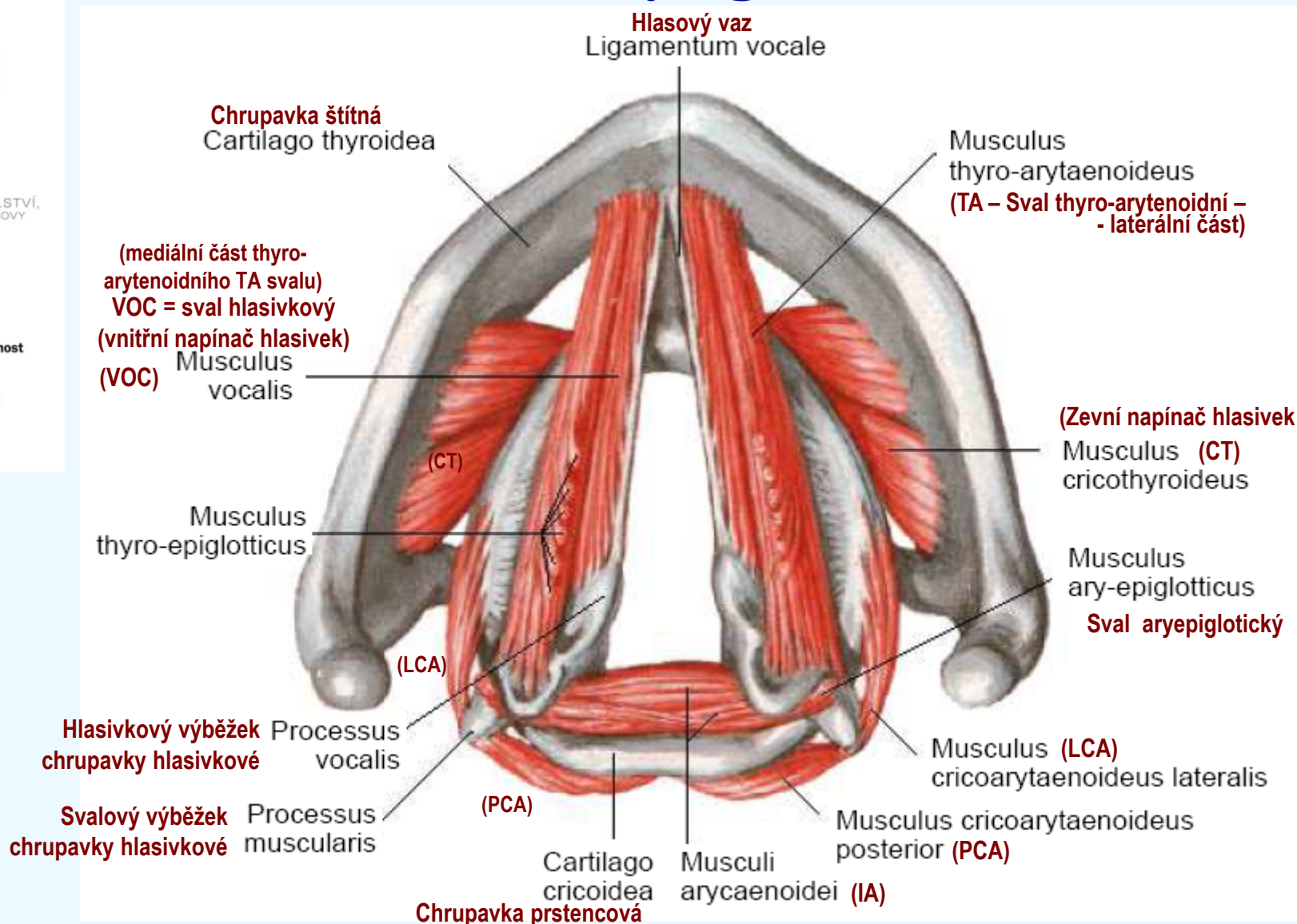
Vazy:

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

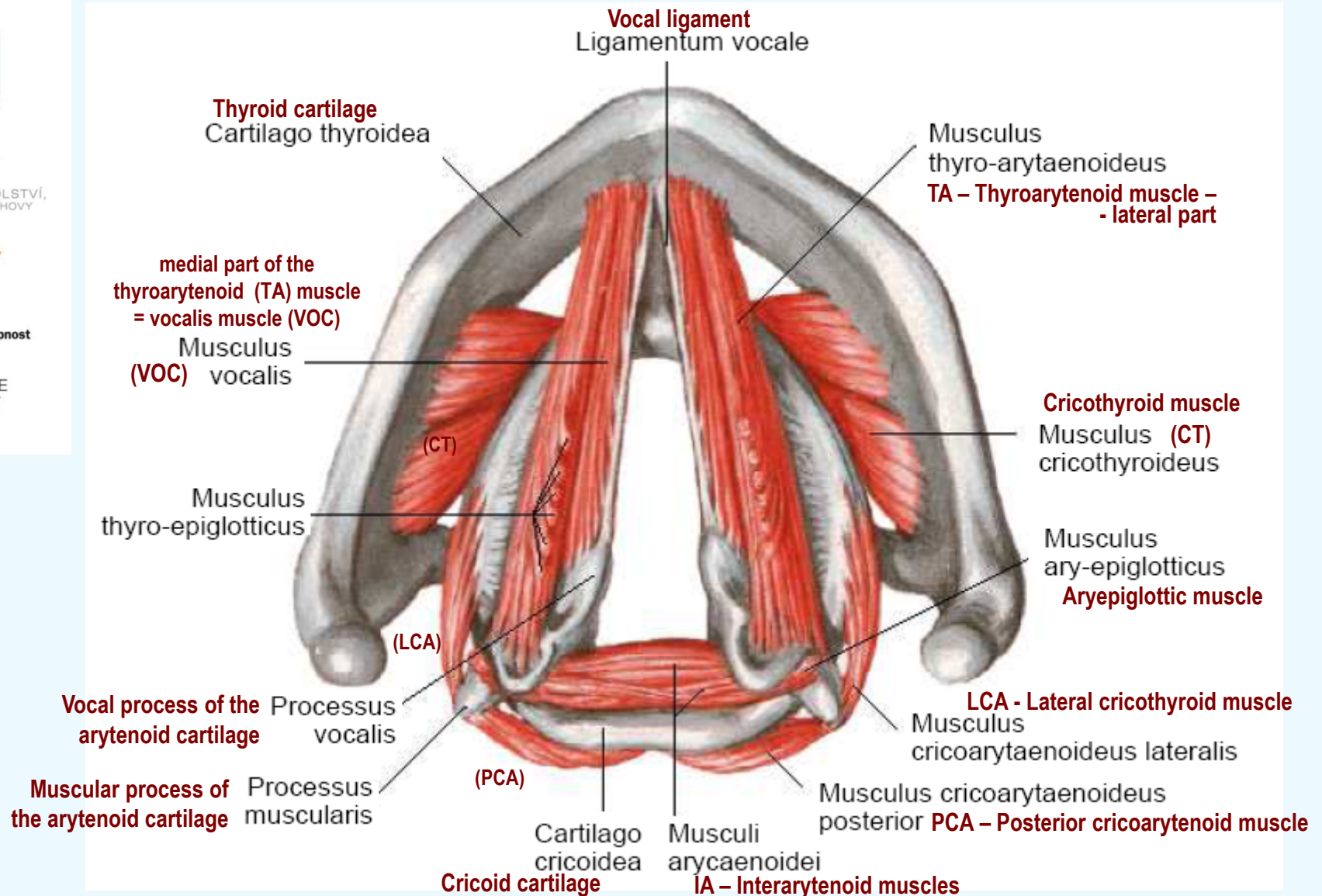


Otázka: je hlasivkový sval (TA) adduktorem či abduktorem?

Vnitřní svalstvo hrtanu – Internal laryngeal muscles



Internal laryngeal muscles





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

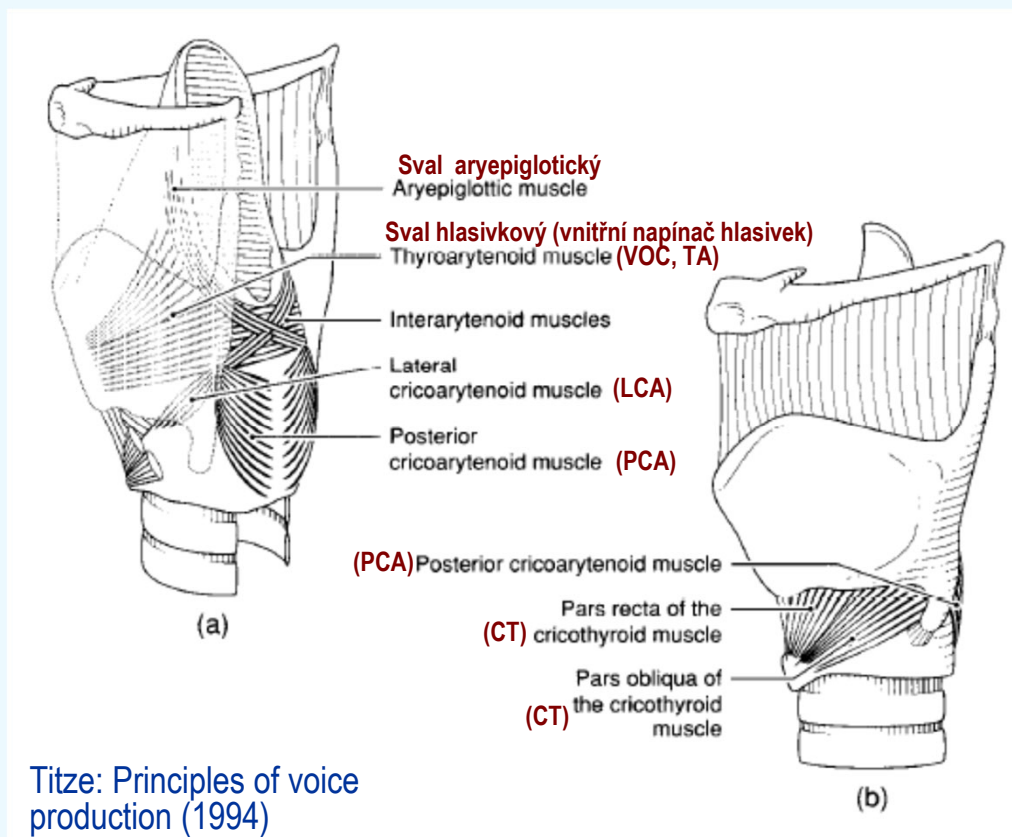


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Vnitřní svalstvo hrtanu

Internal laryngeal muscles



Titze: Principles of voice
production (1994)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

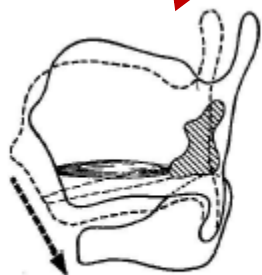


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

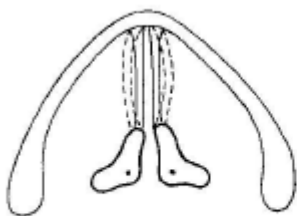
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Činnost vnitřních svalů hrtanu

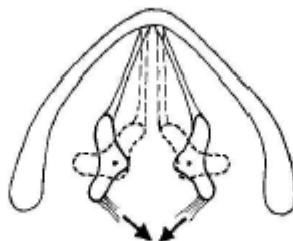
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky
(důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)



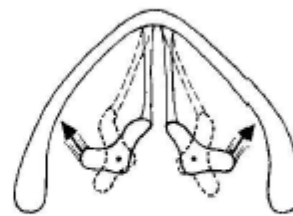
(CT)



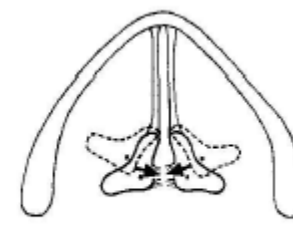
(VOC, TA)



(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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



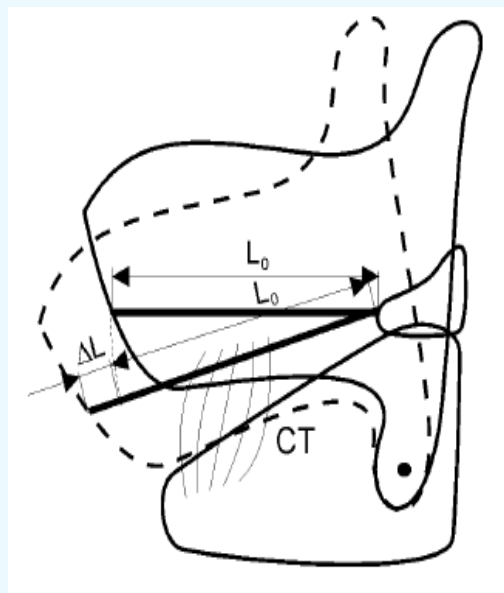
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

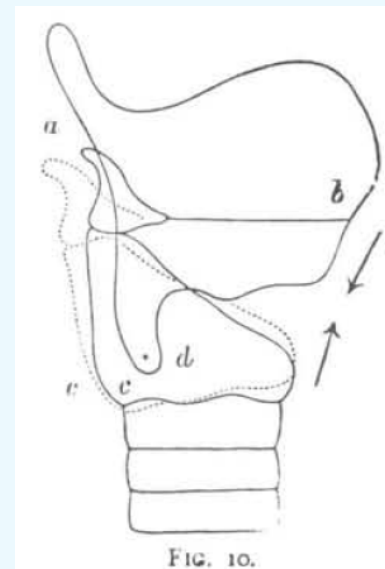
Činnost vnitřních svalů hrtanu

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:



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



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

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

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

Reálně lze očekávat kombinace obou pohybů.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



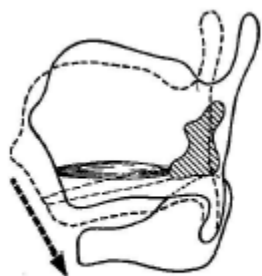
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

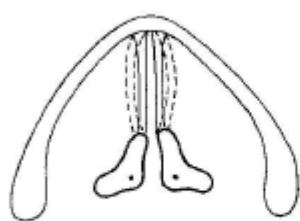
Činnost vnitřních svalů hrtanu

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

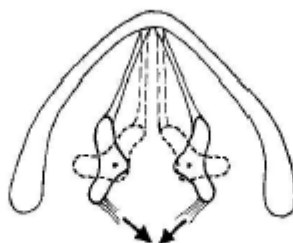
VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky



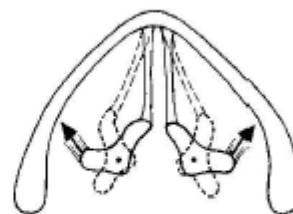
(CT)



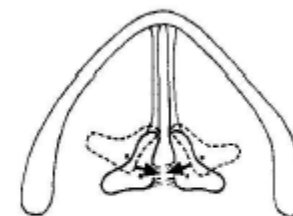
(VOC, TA)



(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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

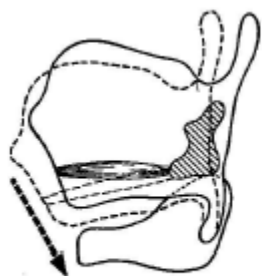
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Činnost vnitřních svalů hrtanu

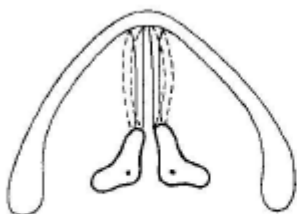
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

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

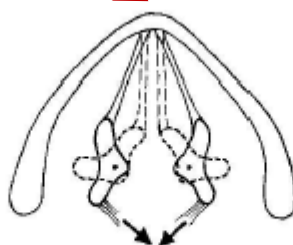
PCA – tahá svalový výběžek zezadu do středu, tím rozevívá hlasivky – způsobuje **ABDUKCI** (důležité pro volné dýchání)



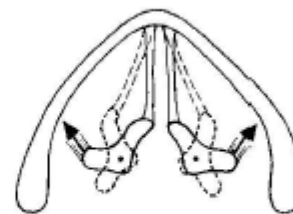
(CT)



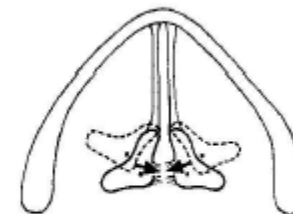
(VOC, TA)



(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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

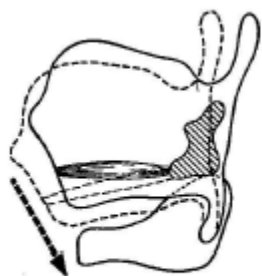
Činnost vnitřních svalů hrtanu

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

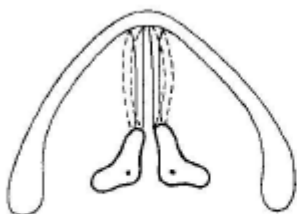
VOC, TA - aktivně zvyšuje vnitřní napětí hlasivek (důležité např. pro zvyšování hlasitosti a pro fonaci v tzv. hrudním rejstříku), tendence zkracovat a ztlušťovat hlasivky

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

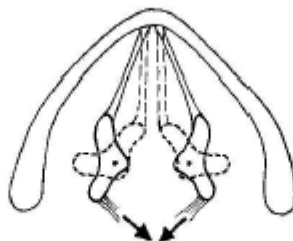
LCA – tahá svalový výběžek zepředu, uzavírá hlasivky – způsobuje **ADDUKCI** (důležité pro umožnění fonace), antagonistka k PCA



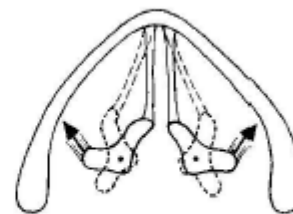
(CT)



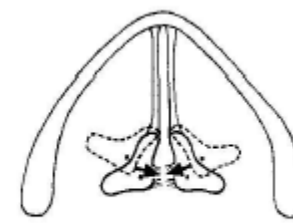
(VOC, TA)



(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.

Činnost vnitřních svalů hrtanu

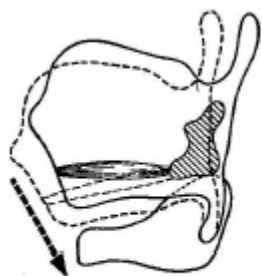
CT – přitahuje k sobě chrupavku štítnou a prstencovou, tím prodlužuje a napíná hlasivky (důležité pro zvyšování frekvence hlasu, zpěv, intonace při řeči)

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

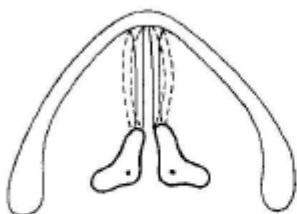
PCA – tahá svalový výběžek zezadu do středu, tím rozevívá hlasivky – způsobuje **ABDUKCI** (důležité pro volné dýchání)

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

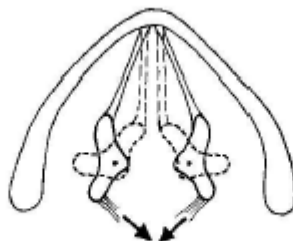
IA – tahá boční a zadní část chrupavek hlasivkových k sobě – uzavírá chrupavčitou část glottis – způsobuje **ADDUKCI** (důležité např. pro kontrolu fonace a barvy hlasu)



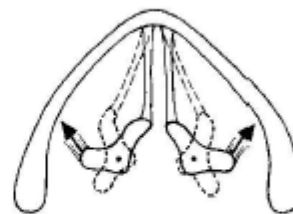
(CT)



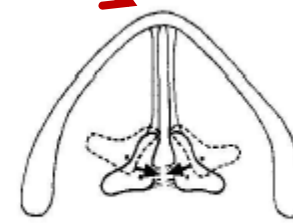
(VOC, TA)



(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.

Jednostranná stimulace nervu

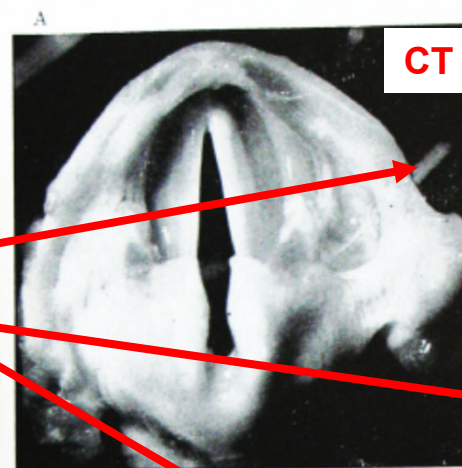


Minoru Hirano, 1970s

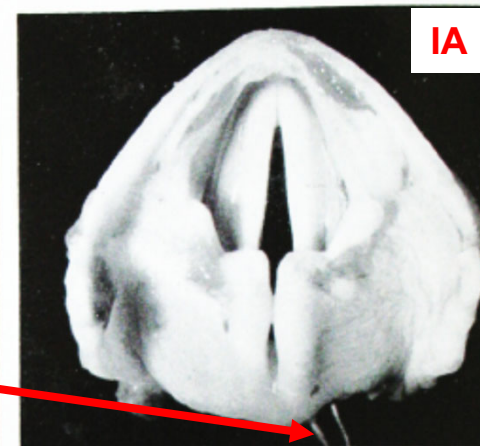
M. Hirano. Phonosurgery: basic and clinical
investigations. Otologia (Fukuoka)
21(suppl.1):239-442, 1975.

Stimulační
elektroda

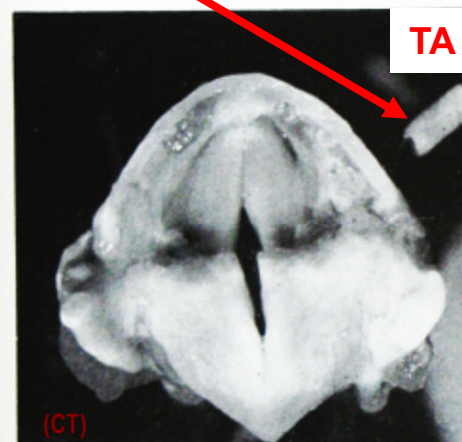
**Efekt aktivace
jednotlivých svalů
hrtanu na
konfiguraci glottis**



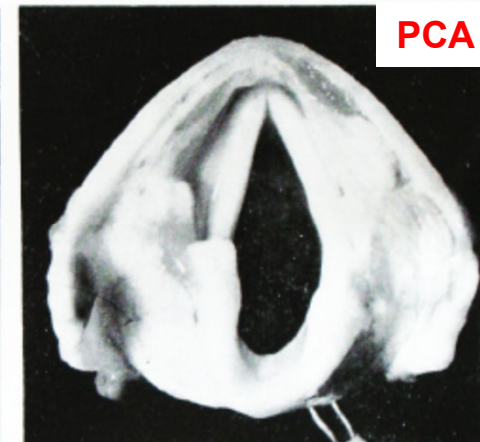
CT



IA



TA



PCA



LCA

Fig. 21. Changes in the position and shape of the vocal cord caused by electrical stimulation of laryngeal muscles. View from above. A: single muscle stimulated. B: two muscles stimulated simultaneously on the right.

CT: cricothyroid, TA: thyroarytenoid, LCA: lateral cricoarytenoid, IA: arytenoid, PCA: posterior cricoarytenoid

Stimulační
elektroda



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



Minoru Hirano,
1970s

**Efekt aktivace
jednotlivých svalů
hrtanu na pozici a
tvar průřezu
hlasivky**

Jednostranná stimulace nervu

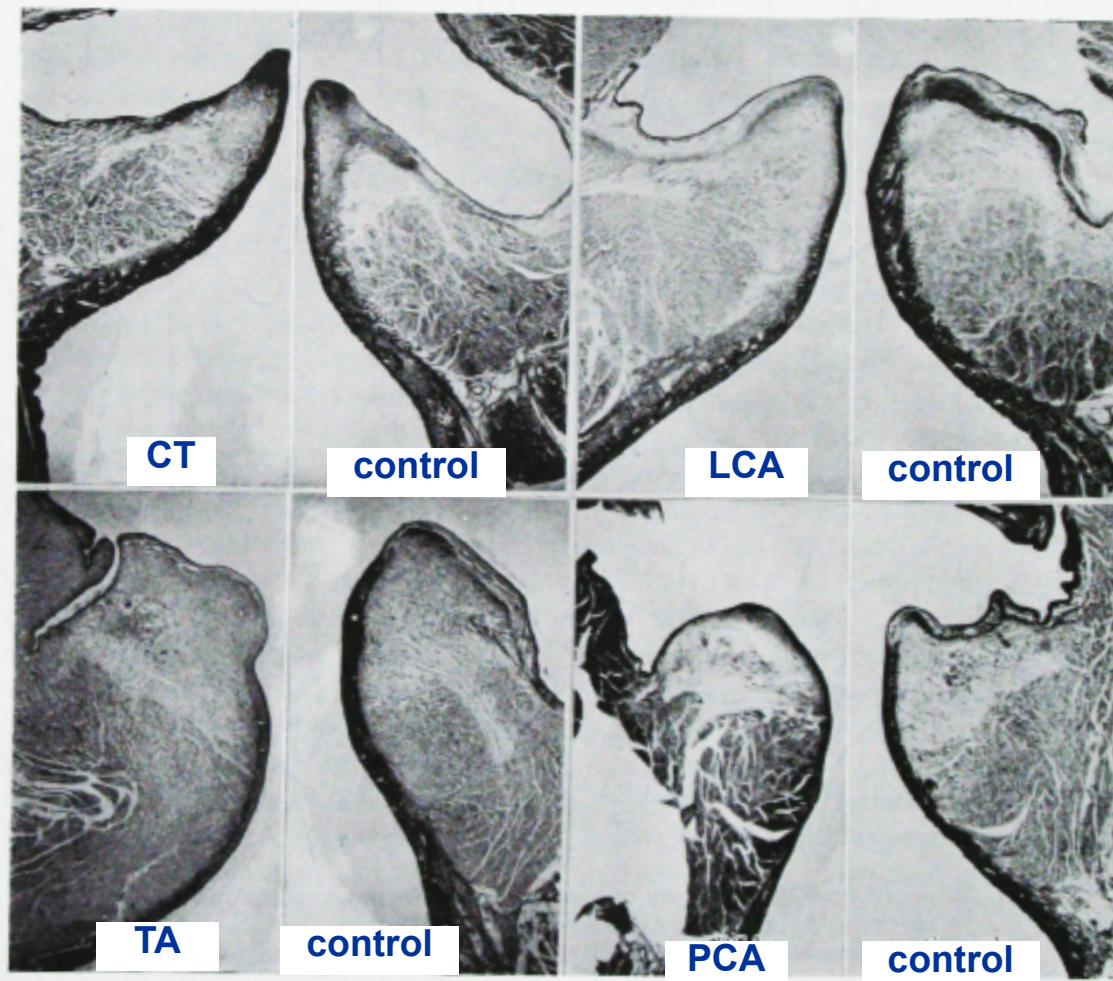


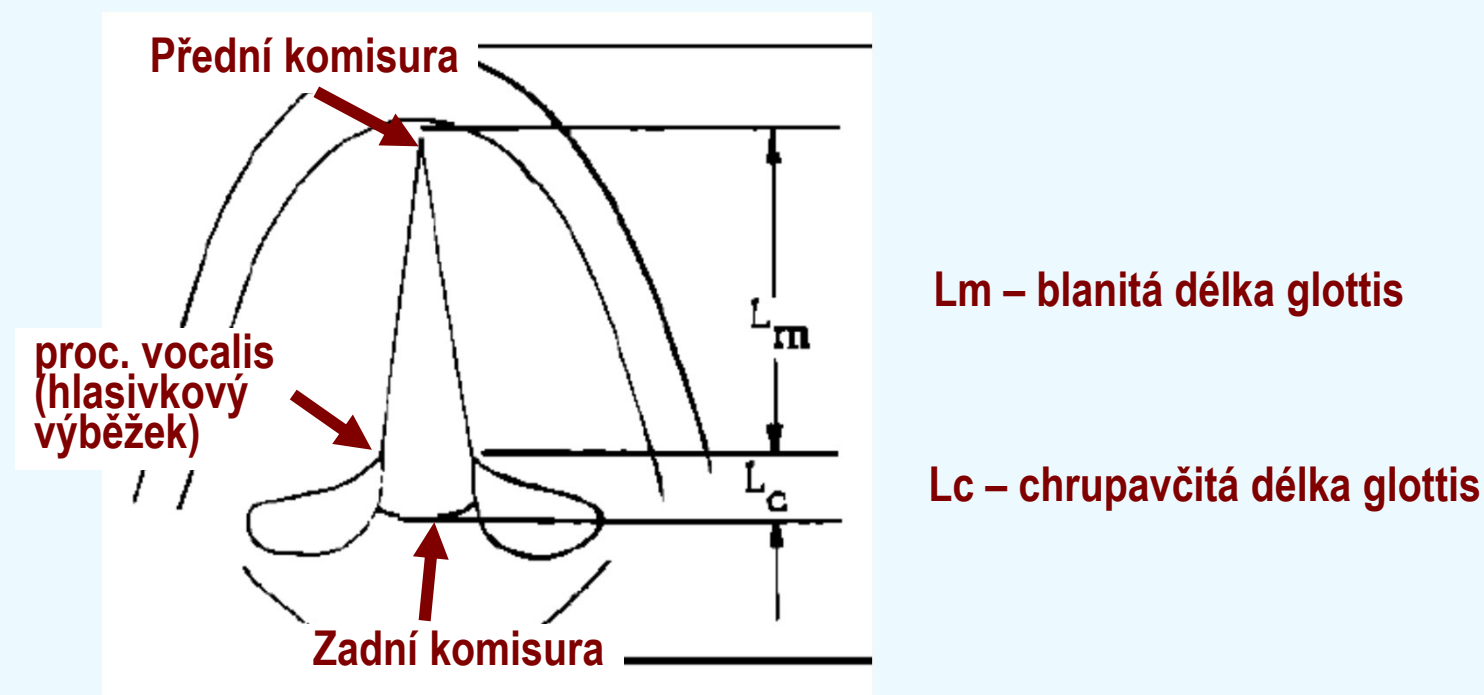
Fig. 23. Histological presentation of structural changes in the vocal cord caused by electrical stimulation of laryngeal muscles.

M. Hirano. Phonosurgery: basic and clinical investigations. Otologia (Fukuoka) 21(suppl.1):239-442, 1975.

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 (prstencová 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).



Chrupavčitá vs. blanitá část glottis

Rozdíly muži vs. ženy:

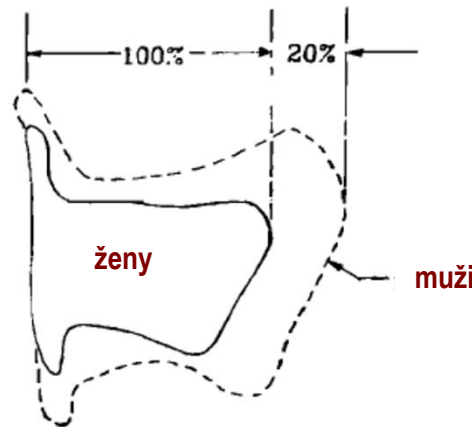
Pohlavní rozdíly jsou výrazně větší v délce blanité části hlasivek než v rozměrech chrupavek (60% versus 20% rozdíl, Titze 1989).

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

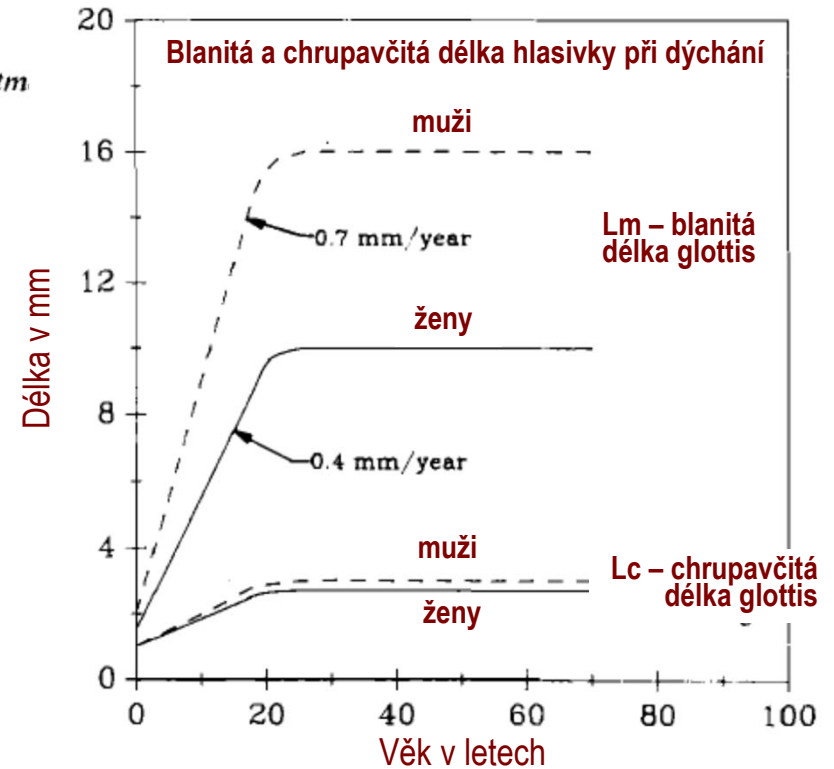
J. Acoust. Soc. Am. **85** (4), April 1989

Ingo R. Titze

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

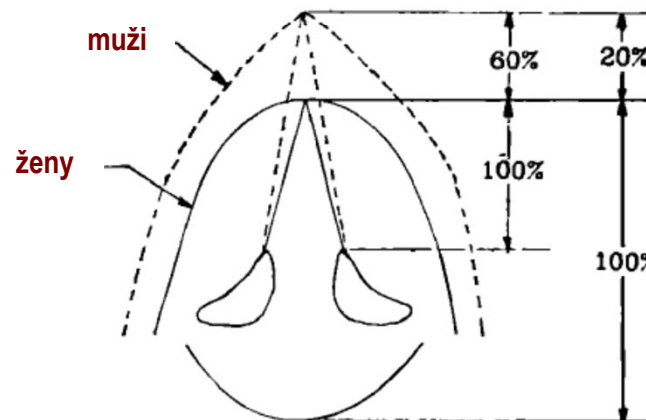


(a) Sagittal View

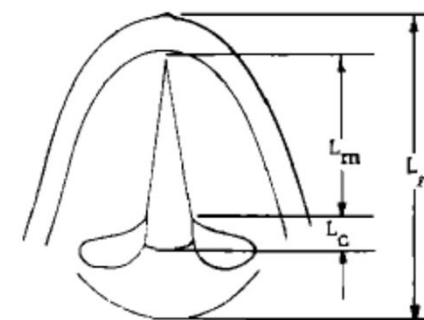


(a)

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).

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) – senzorická inervace sliznice hrtanu nad hlasivkami (podráždění vede k nekontrolovatelnému kašli)

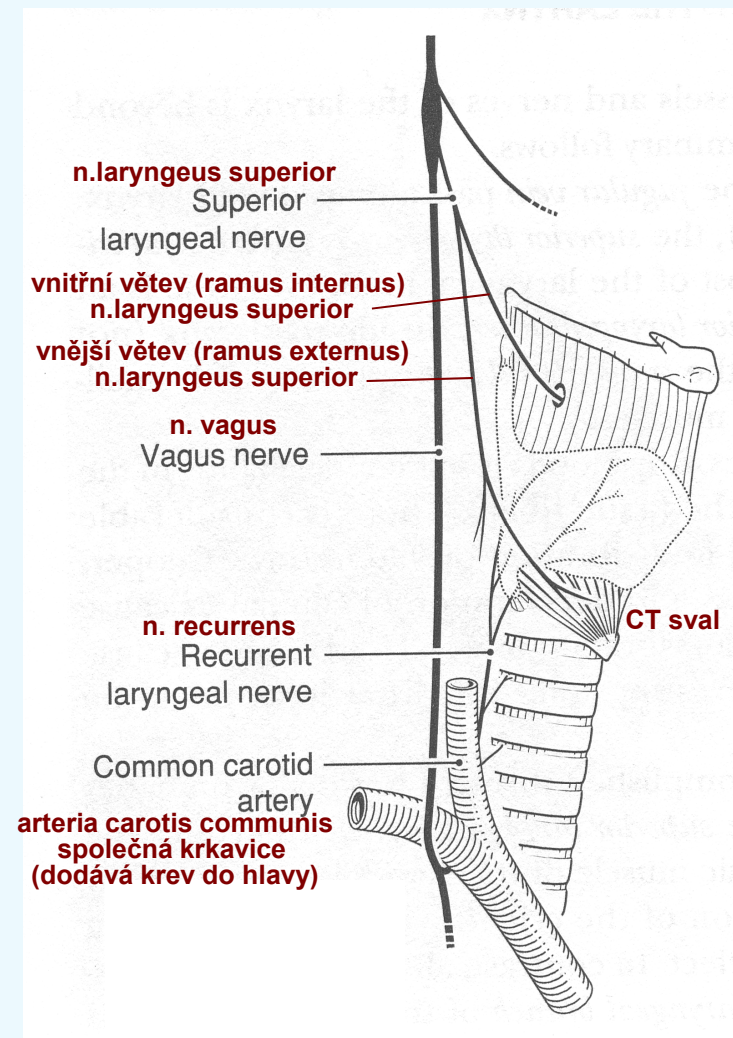
b) Vnější větev (ramus externus) - inervuje CT sval (tento sval proto nebývá některými autory považován za vnitřní sval hrtanu ale za sval vnější)

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 senzorickou inervaci hrtanu pod hlasivkami.

Náchylný na poškození při operacích štítné žlázy.



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.

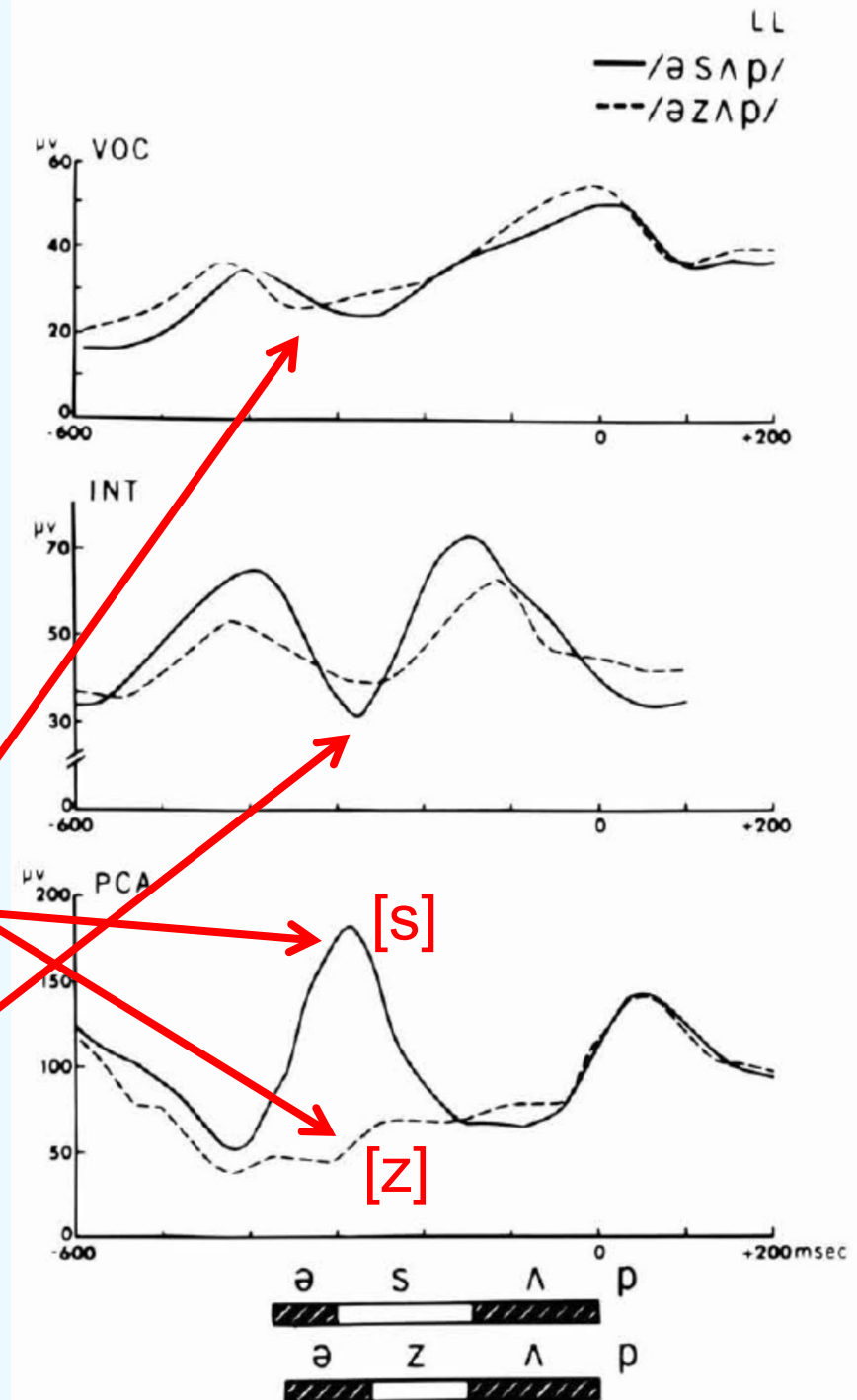
Sval hlasivkový (VOC) nevykazuje výrazné rozdíly.

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





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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.

<https://www.youtube.com/watch?v=204cBDG4fhU>

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

Janwillem van den Berg
Groningen, Nizozemsko
cca 1975



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.

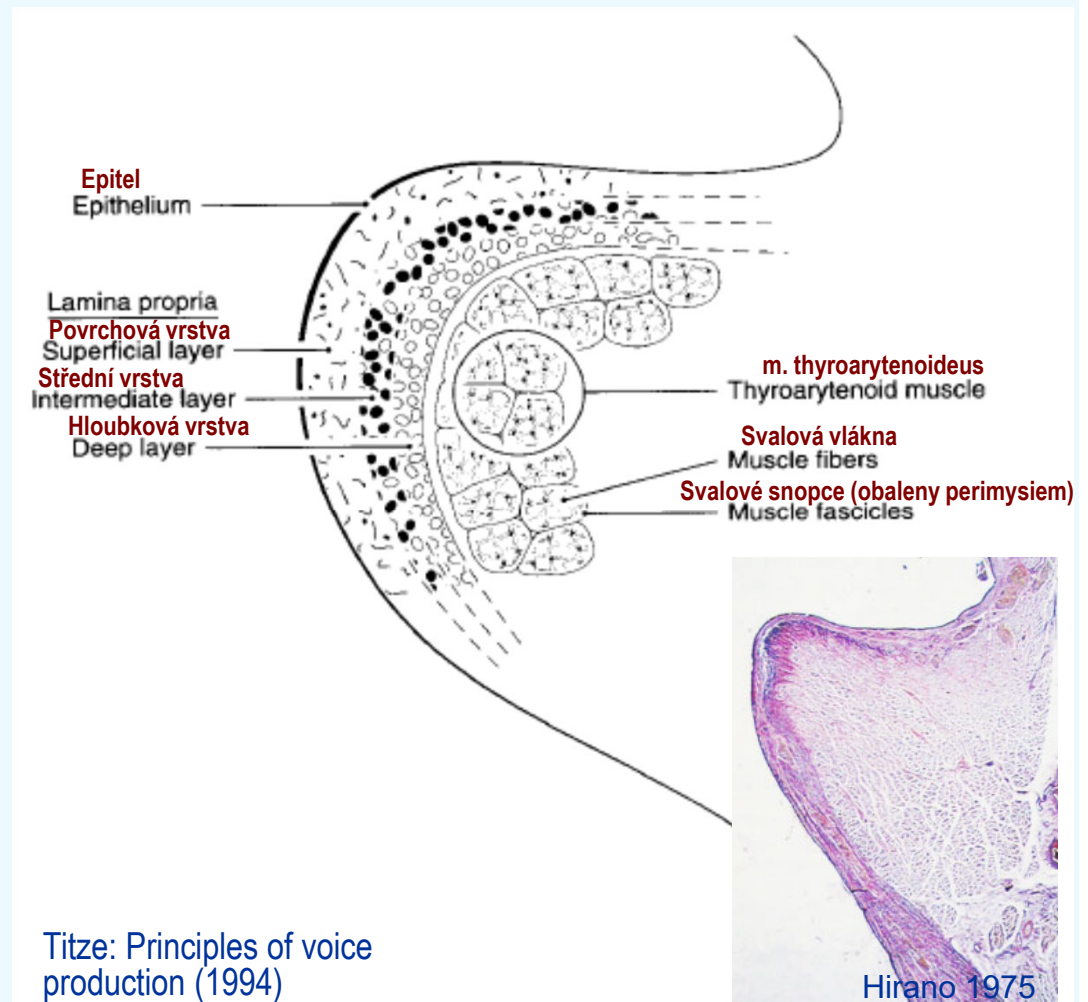
Mezi svaem a epitelem je uložen nesvalový vrstevnatý systém, který se nazývá lamina propria. Obvykle se rozděluje na tři vrstvy: povrchovou, střední a hloubkovou.

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.



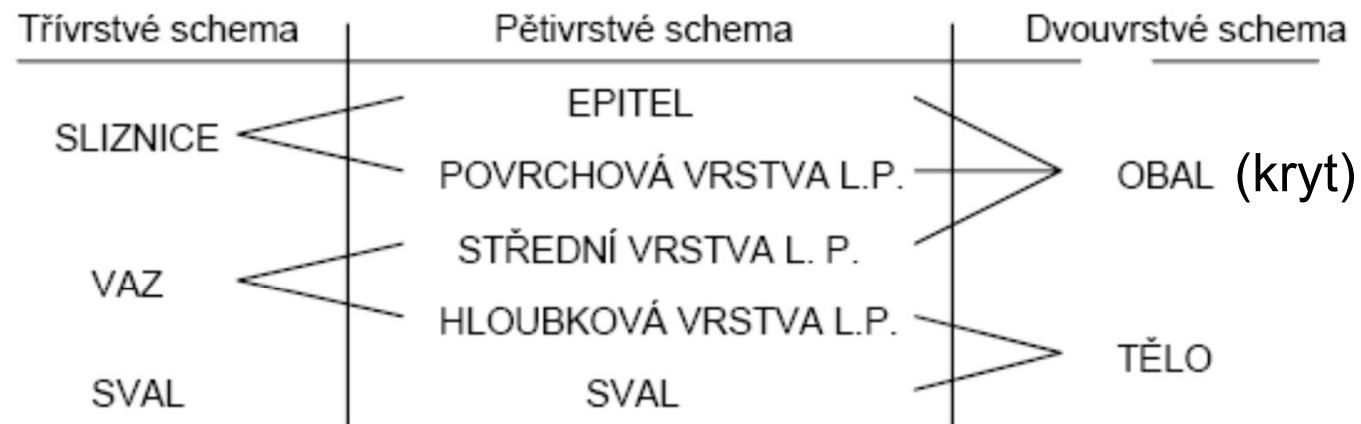
Titze: Principles of voice production (1994)

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).

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).

Elastické vlastnosti hlasivek

Hrají důležitou roli pro určování frekvence hlasivek.

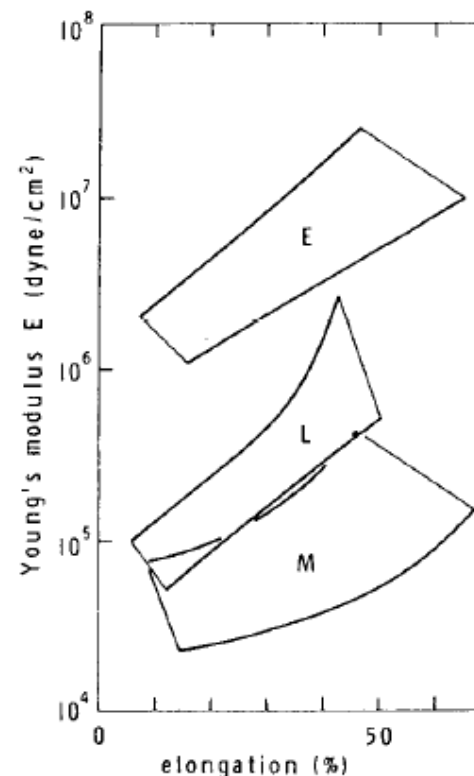
Lze je charakterizovat, podobně jako ostatní materiály, pomocí tzv. Youngova modulu pružnosti.

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).

Ovládání frekvence hlasivek

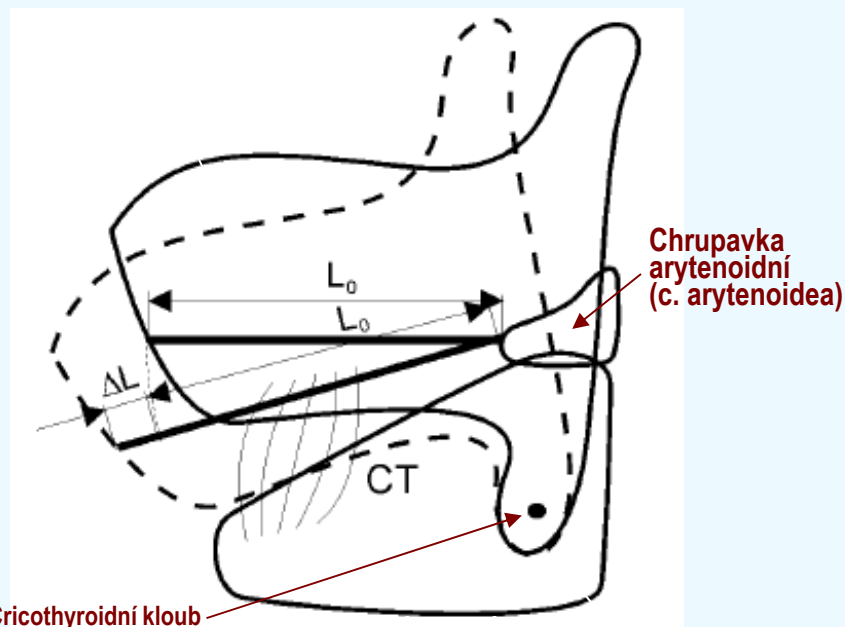
V prvním přiblížení si můžeme hlasivku představit jako strunu. Pro frekvenci struny F_0 platí známý Taylorův vztah, který můžeme aplikovat též na hlasivky:

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

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.



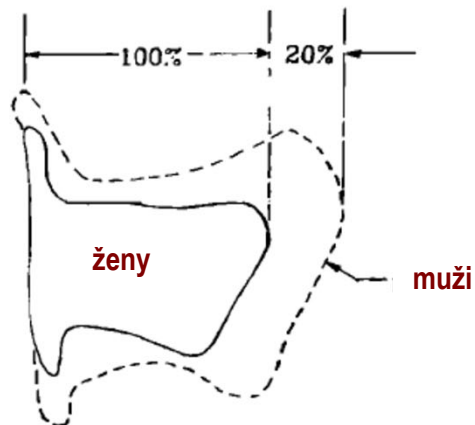
Obr. 1.15. Rotace chrupavky štítné vůči prstencové díky kontrakci CT svalu. Hlasivky se prodlužují z původní délky L_0 na délku $L = L_0 + \Delta L$, zvyšuje se pasivní napětí hlasivek.

Physiologic and acoustic differences between male and female voices

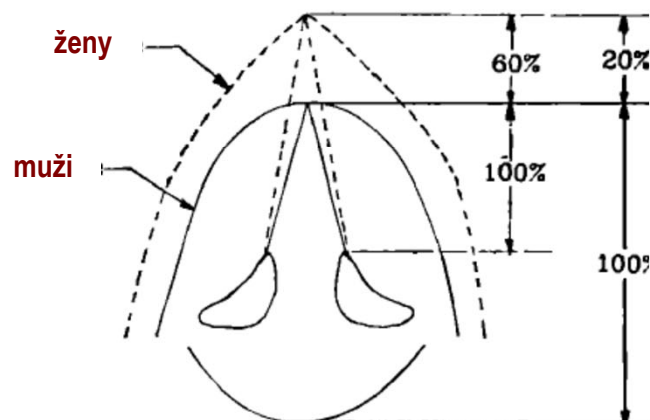
J. Acoust. Soc. Am. 85 (4), April 1989

Ingo R. Titze

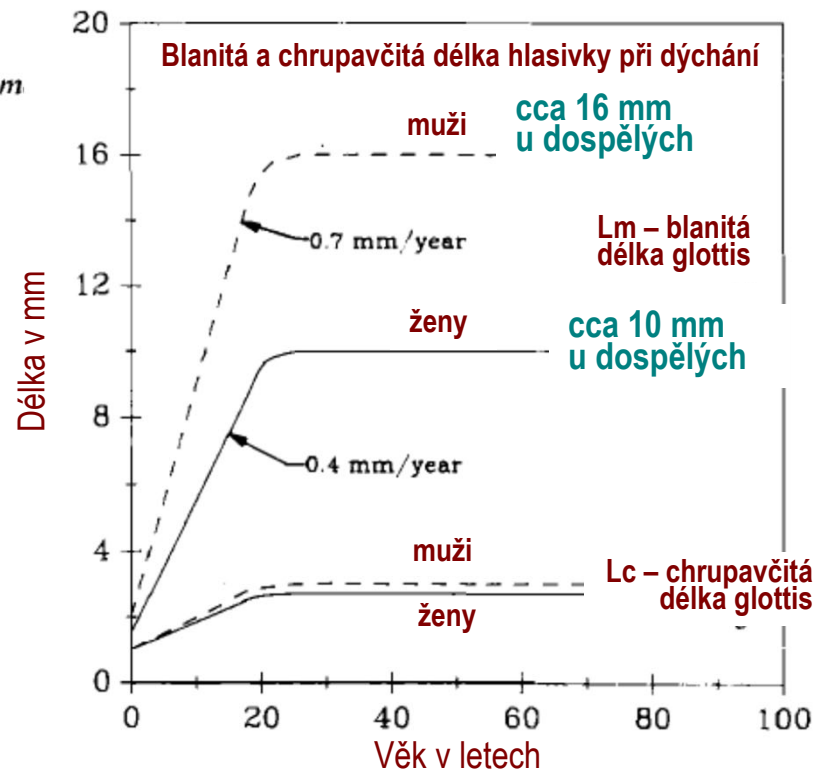
Voice Acoustics and Biomechanics Laboratory, Department
University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242



(a) Sagittal View

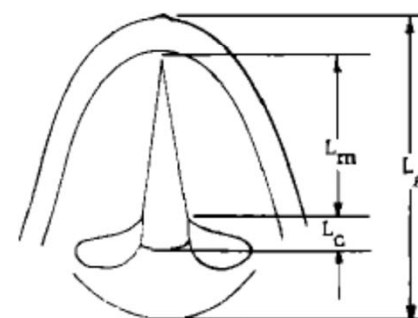


(b) Horizontal Section



(a)

Lm – blanitá délka glottis
Lc – chrupavčitá délka glottis



(b)

I.R. Titze



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

Ovládání frekvence hlasivek

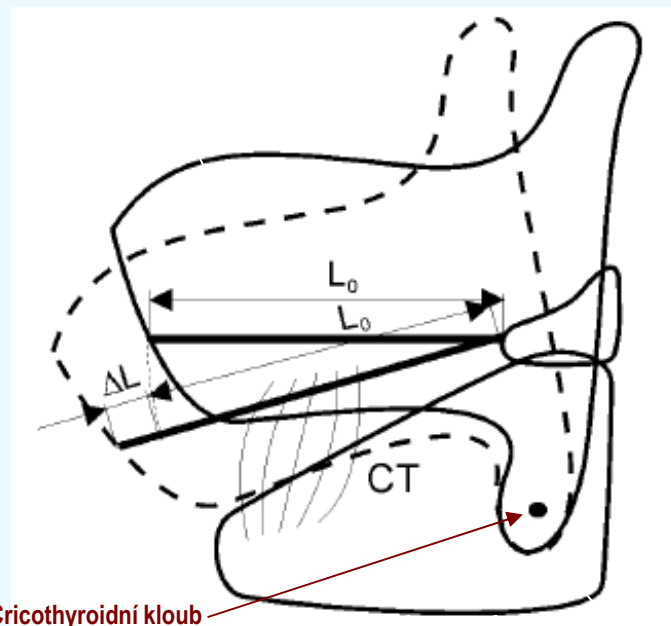
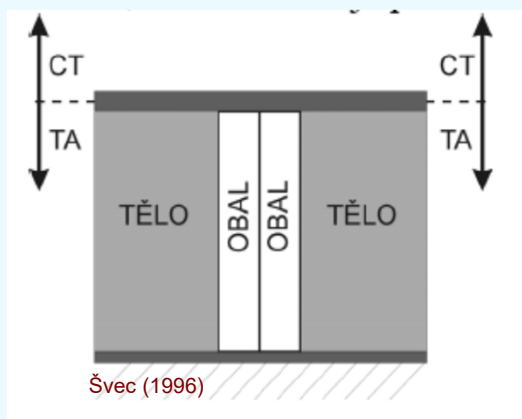
Délka hlasivek a napětí hlasivek jsou při fonaci variabilní. Jsou ovládány zejména činností dvou hrtanových svalů - *m. cricothyroideus* (CT) a *m. thyroarytenoideus* (TA). Každý z těchto svalů přitom přispívá ke změně délky a napětí jiným způsobem.

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.

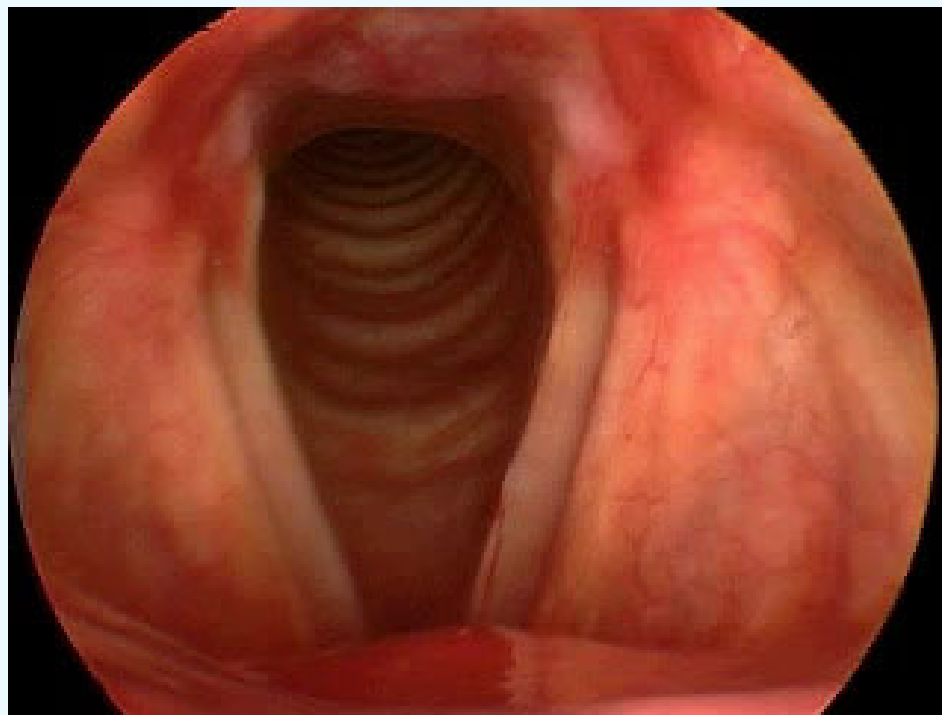


Obr. 1.15. Rotace chrupavky štítné vůči prstencové díky kontrakci CT svalu. Hlasivky se prodlužují z původní délky L_0 na délku $L=L_0+\Delta L$, zvyšuje se pasivní napětí hlasivek.

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

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / laryngoscopy



Změna výšky hlasu / Change of voice pitch

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

Ovládání 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.

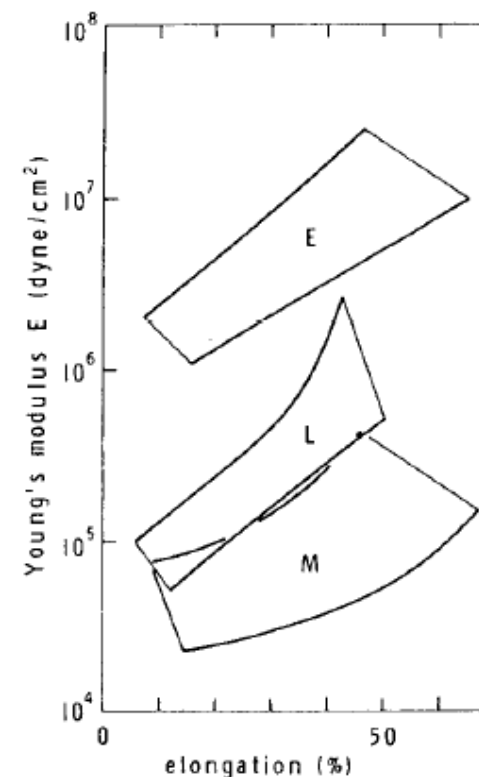
Otázka k zamyšlení – která vrstva má při pasivním napětí tendenci kmitat s nejvyšší frekvencí?

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

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 přeskakování 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).

Ovládání 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.

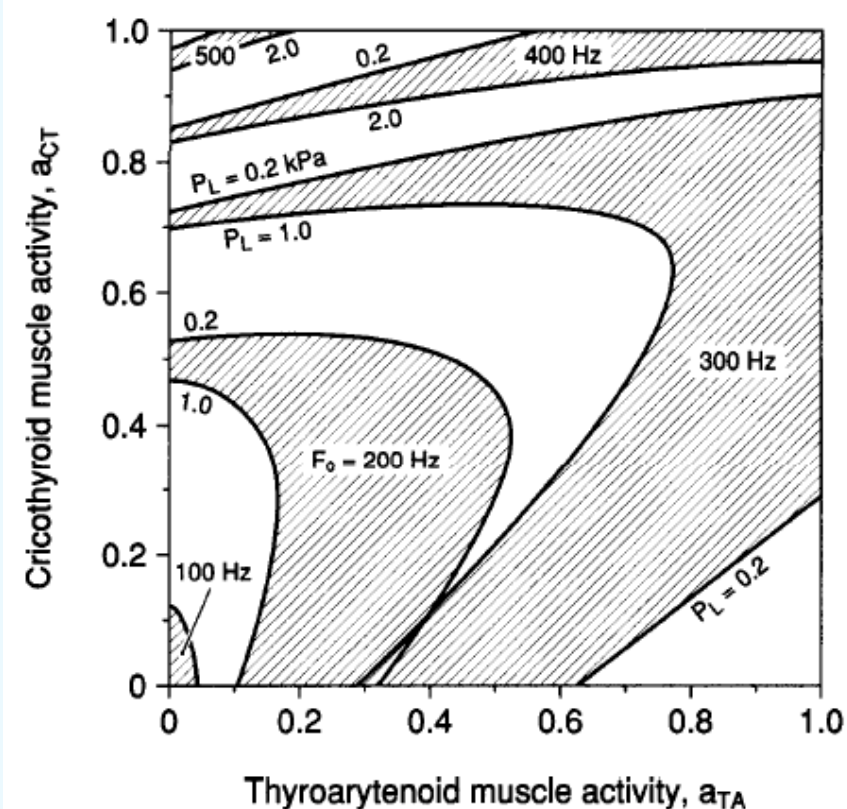
Tento jev je využíván při zpěvu a souvisí s tzv. hlasovými rejstříky.



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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

KONEC DÍLU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Děkuji za pozornost