

# Přednáška 12

## Dýchací systém

- Funkce
- Epitelová výstelka
- Dutina nosní
- Hltan
- Hrtan
- Trachea
- Plíce + Bronchiální strom
- Bariéra krev-vzduch
- Vývoj dýchacího systému
- Regenerace plic

**Brno, září 2019**

# Dýchací systém – Funkce

## Dýchací funkce

supply of O<sub>2</sub> + elimination of CO<sub>2</sub>

Respiration = overall exchange of gasses between atmosphere and cells

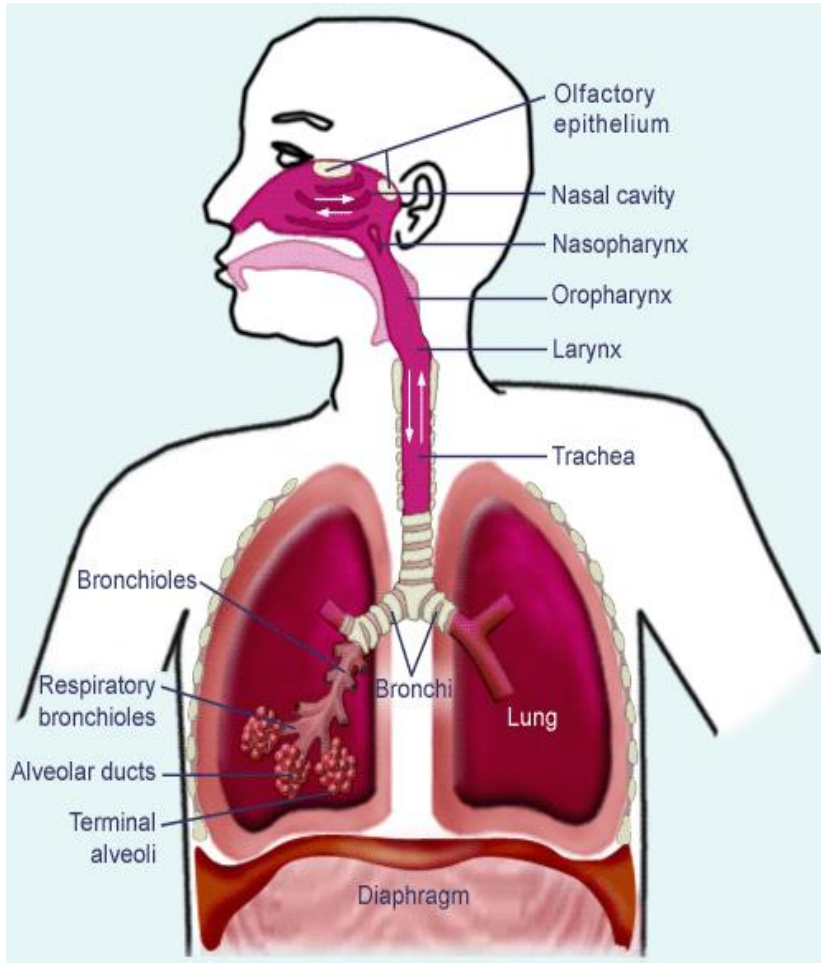
*Involves:*

- pulmonary ventilation
- gas exchange: External + Internal respiration
- gas transport

## Další funkce:

- synthesis, activation and inactivation of vasoactive substances, hormones, neuropeptides, eicosanoids, lipoprotein complexes
- hemostatic functions (thromboplastin, heparin)
- lung defense: complement activation, leucocyte recruitment, cytokines, and growth factors
- speech, vomiting, defecation, childbirth

# Dýchací systém – Celková stavba



Anatomické

Funkční

## Horní dýchací cesty

- nosní dutina
- *vedlejší nosní (paranasální) dutiny*
- nasopharynx (nosohltan)
- oropharynx (hrdlo)

## Dolní dýchací cesty

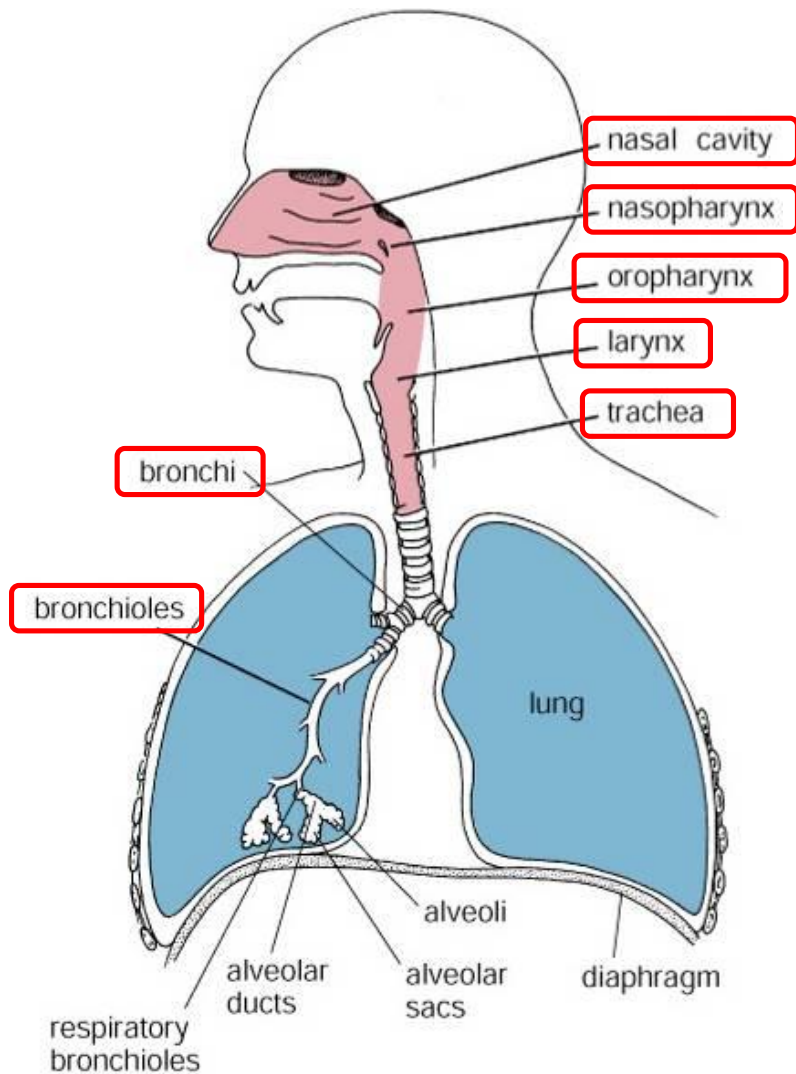
- hrtan
- průdušnice (trachea)
- průdušky (bronchy (extra- + intrapulmonární))
- průdušinky (bronchioly) primární a terminální

## Dýchací cesty

## Respirační oddíl

- respirační bronchioly
- alveolární chodbičky (ductus alveolares)
- alveolární váčky (sacculi alveolares)
- plicní sklípky (alveoly)

# Dýchací cesty – Obecné znaky



## Funkce

- Transport
- Moistening
- Filtering
- Warming

## Stavba

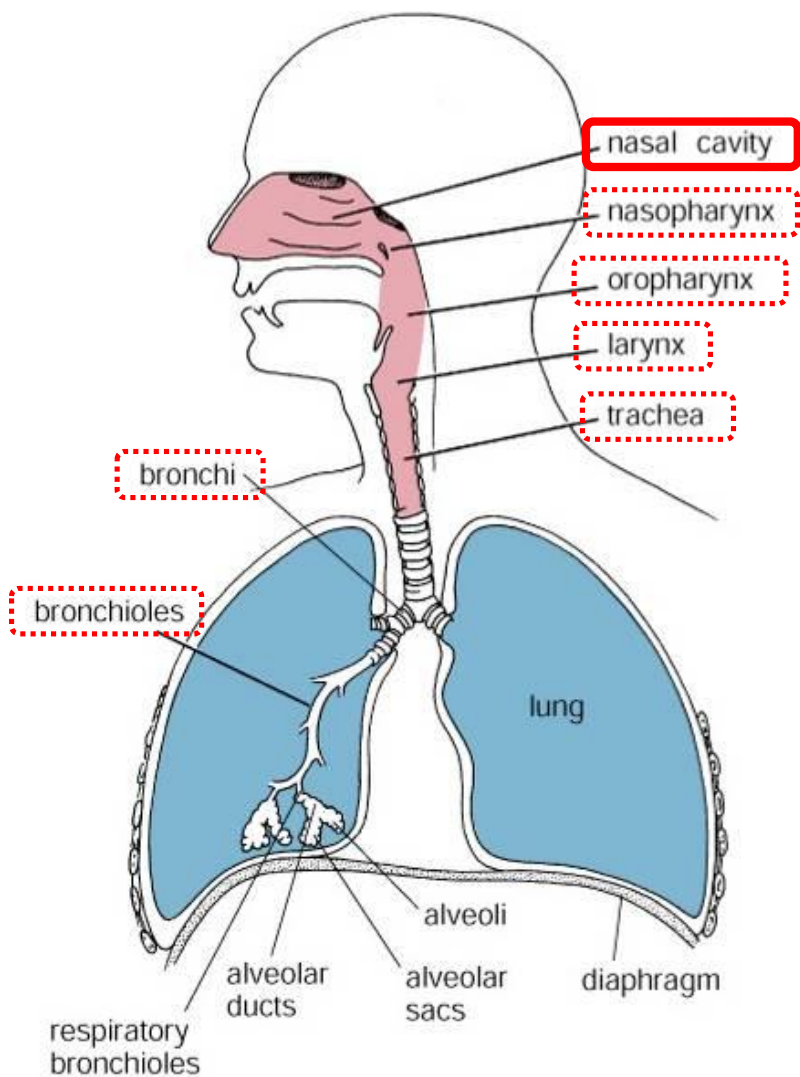
**Bone and/or cartilage**  
(mechanical support)

## Sliznice

- Epitel
- Lamina propria

Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.

# Dýchací cesty – Nosní dutina + Paranasální dutiny



## Levostranná + Pravostranná nosní dutina (separated by osseous/cartilaginous nasal septum)

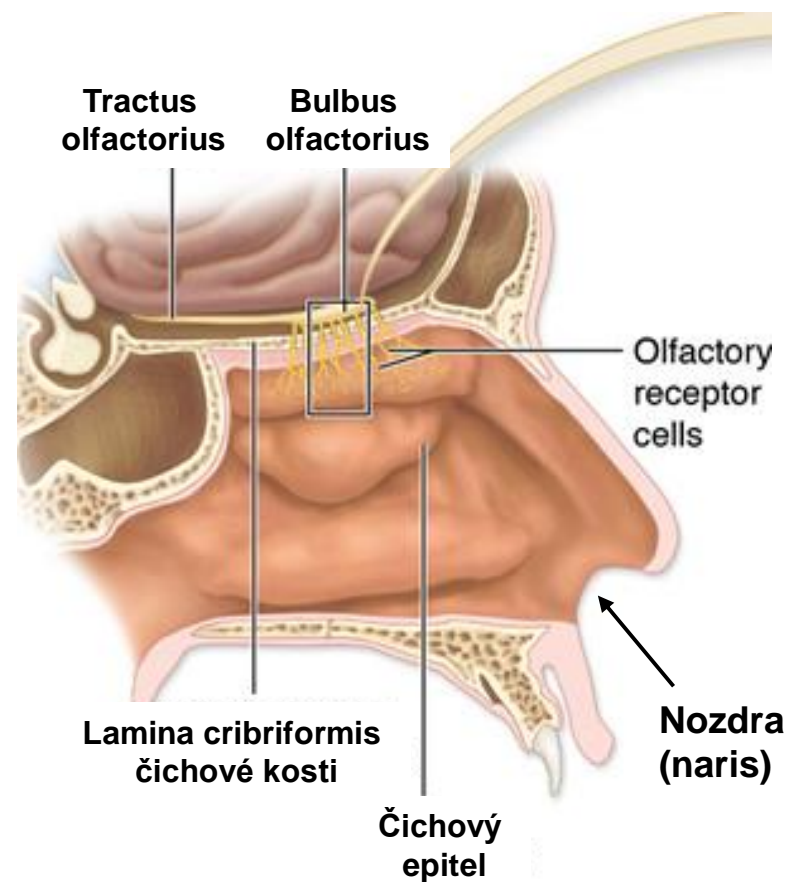
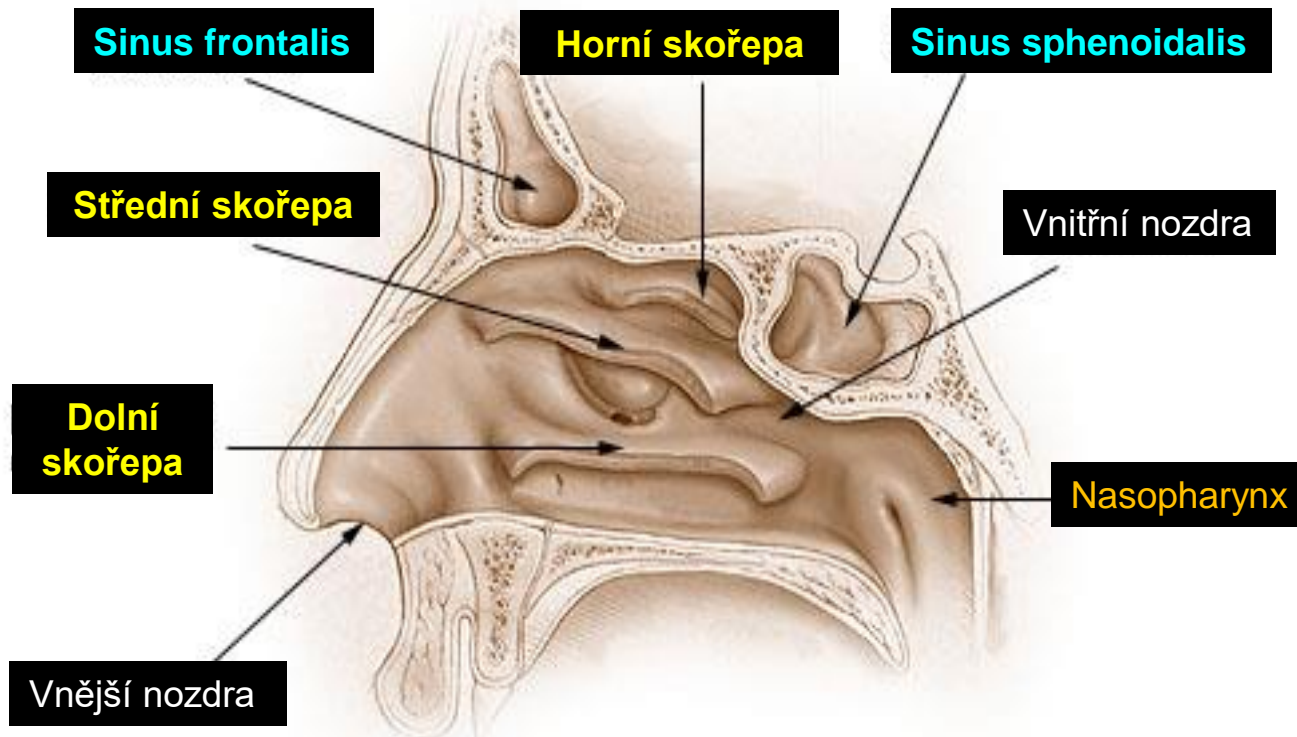


Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.

# Dýchací cesty – Nosní dutina + Paranasální dutiny



## Výstelka nosní dutiny

Strop +  
Horní skořepa

Nozdrý +  
Předsíň

Ostatní povrchy

Čichový epitel

Kůže

Sliznice dých. cest  
„respirační“

**Olfactory region**

- keratinizující vrstevnatý epitel
- chlupy
- potní + mazové žlázy
- v předsíni přechod v ep. dých. cest

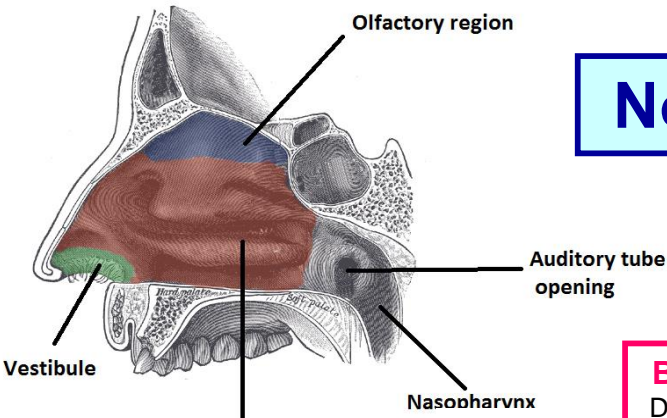
**Respiratory region**

Podklad: kost / chrupavka

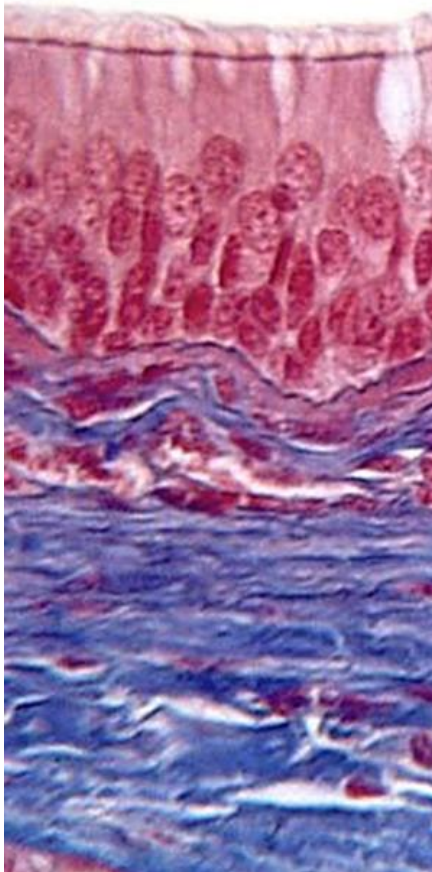
Žádné podslizniční/ podkožní vazivo

# Nosní dutina– Sliznice dýchacích cest

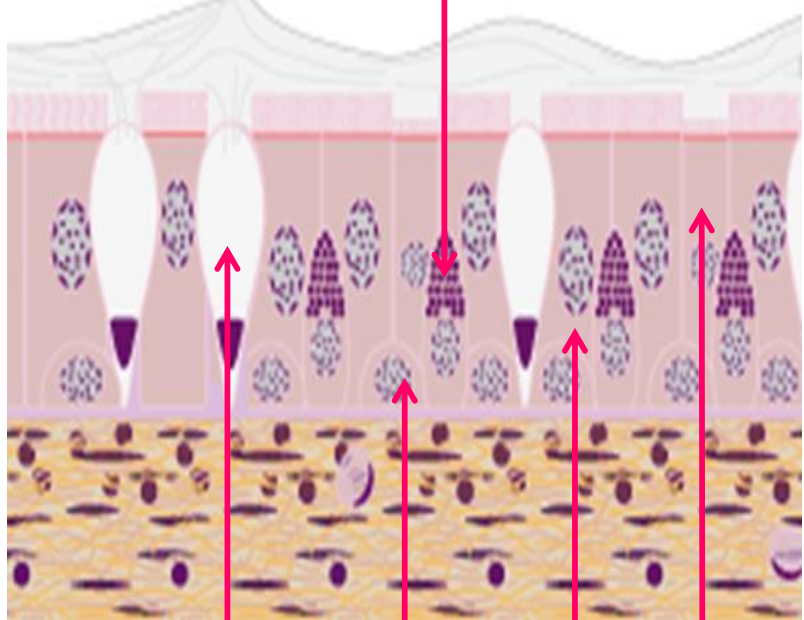
= respiratory mucosa – lines most of the conducting portion of the respiratory system



**Respiratory region**



**B. s malými granuly** (Kulčického)  
DNES – diffuse neuroendocrine system



Mucous layer

**Víceřadý cylindrický epitel s řasinkami**  
(5 typů buněk)

**Lamina propria mucosae**

- řídké vazivo
- arteriální a venózní pleteně
- hojné smíšené seromucinózní žlázy
- hojné lymfoidní elementy (uzlíky, žírné b., plazmatické b.)

**Pohárkové b.**  
(mucin)

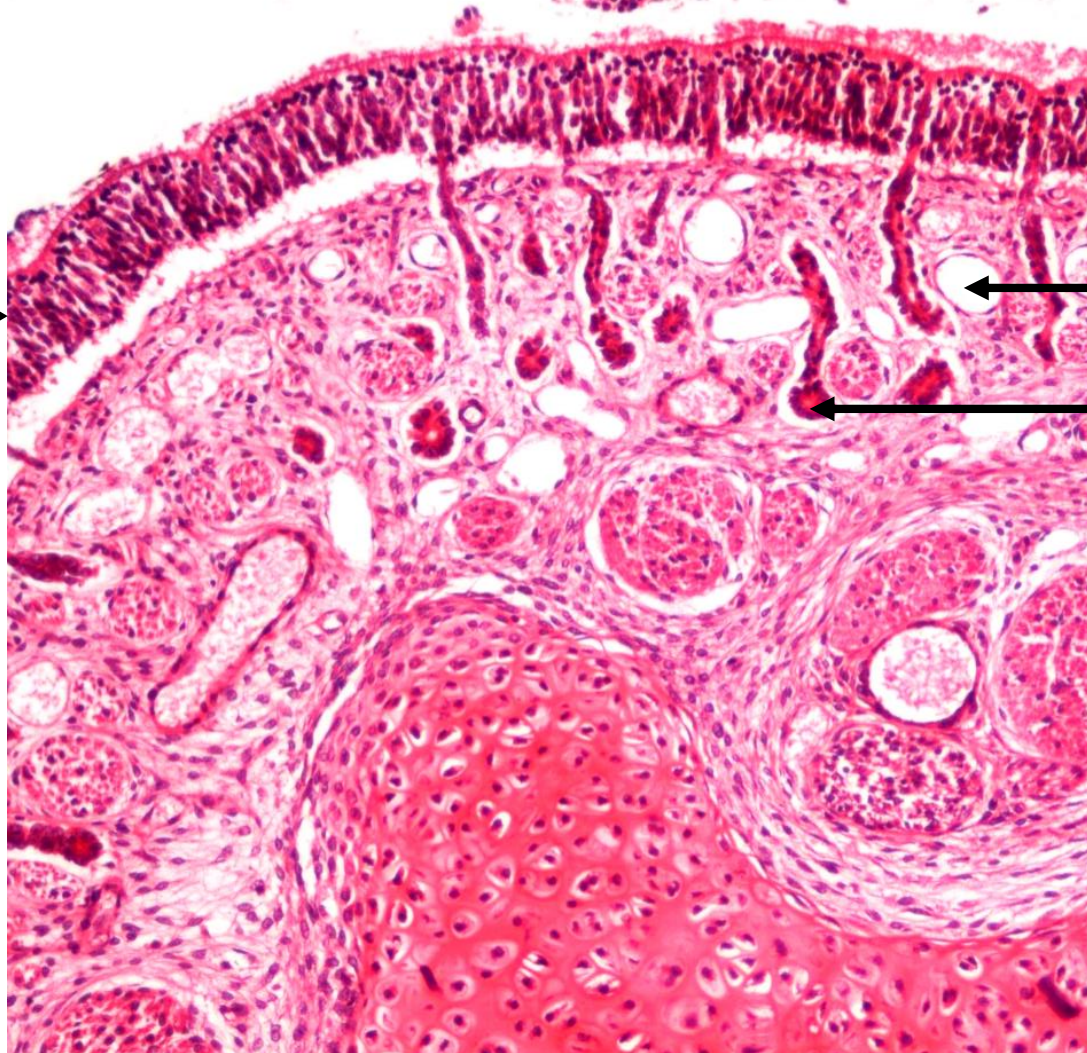
**Bazální b.**  
(stem cells)

**Kartáčové b.**  
(chemosensory)  
(similar to cells of taste buds)

**Řasinkové b.**  
(most abundant)

# Sliznice dýchacích cest

Víceřadý  
epitel →



→ Žíla

→ Žláзка

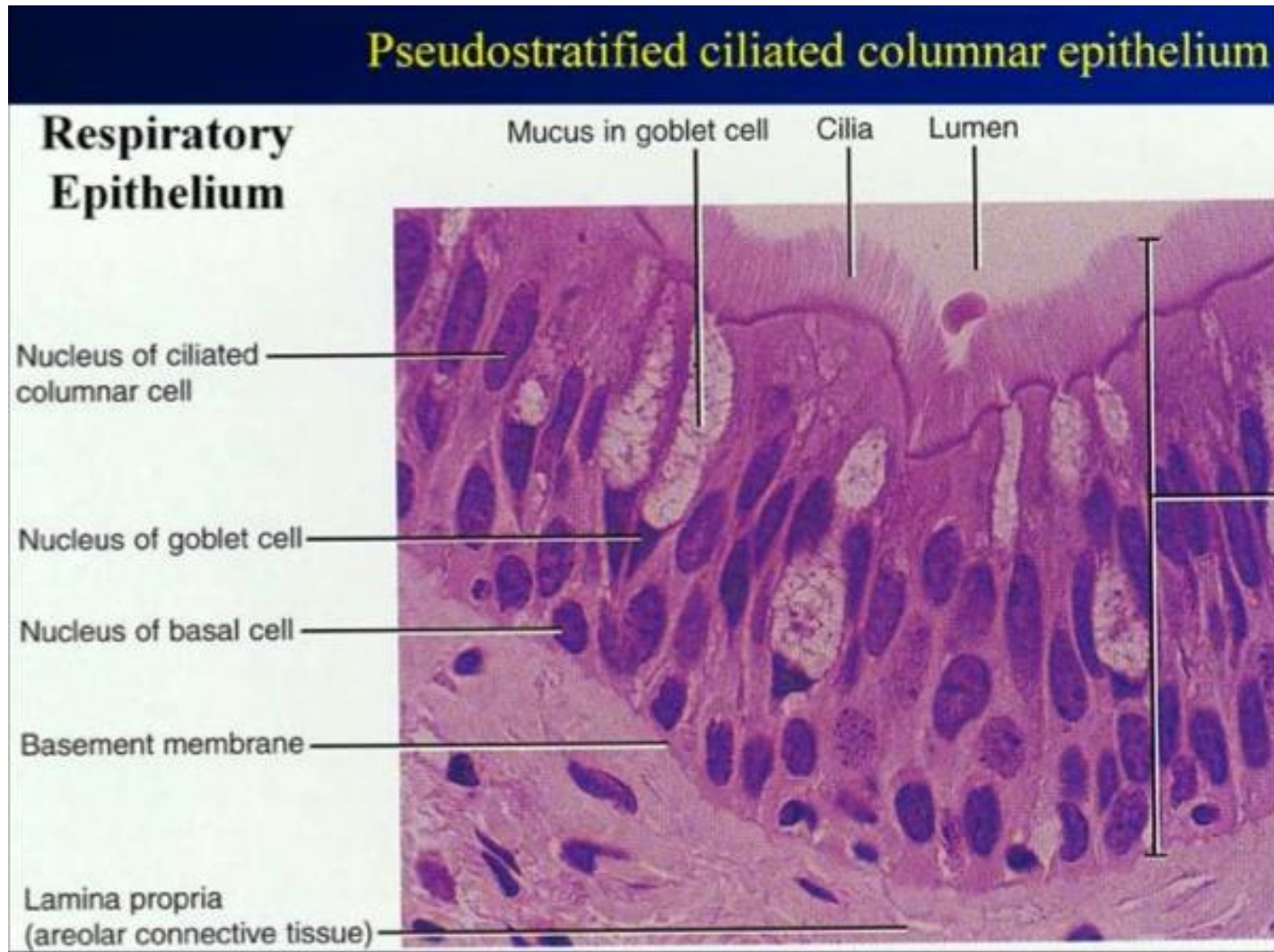


## Sliznice dýchacích cest – Nosní skořepa (Concha nasi)



**Kisselbachova pleteň** (krvácení z nosu)

# Sliznice dýchacích cest - Epitel

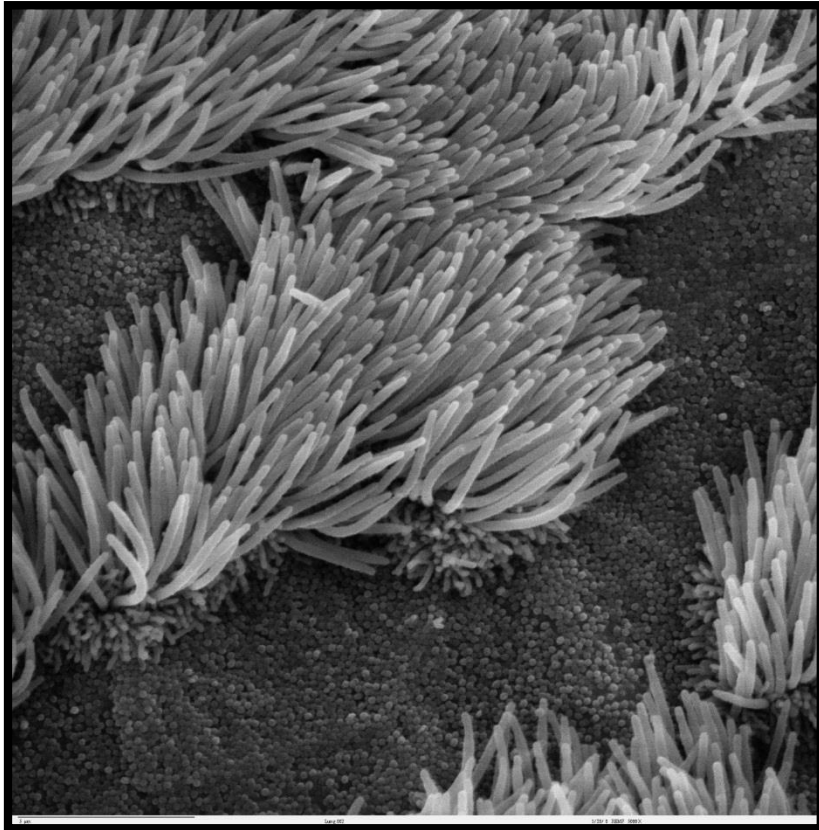


Exposure to toxic compounds

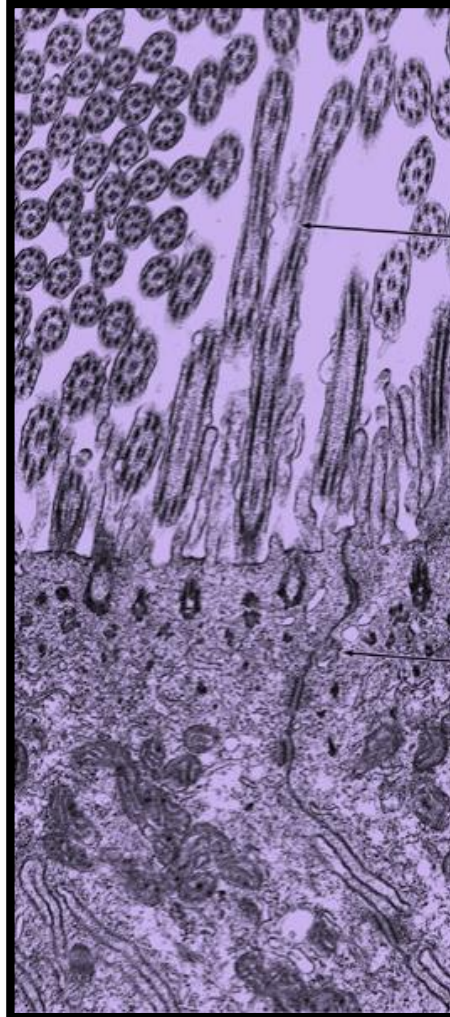
## Dlaždicová metaplazie epitelu

- Víceřadý cylindrický epitel s řasinkami se mění ve vrstevnatý dlaždicový epitel
- may develop into cell dysplasia (precancerous)

# Sliznice dýchacích cest - Epitel



Buňky s řasinkami

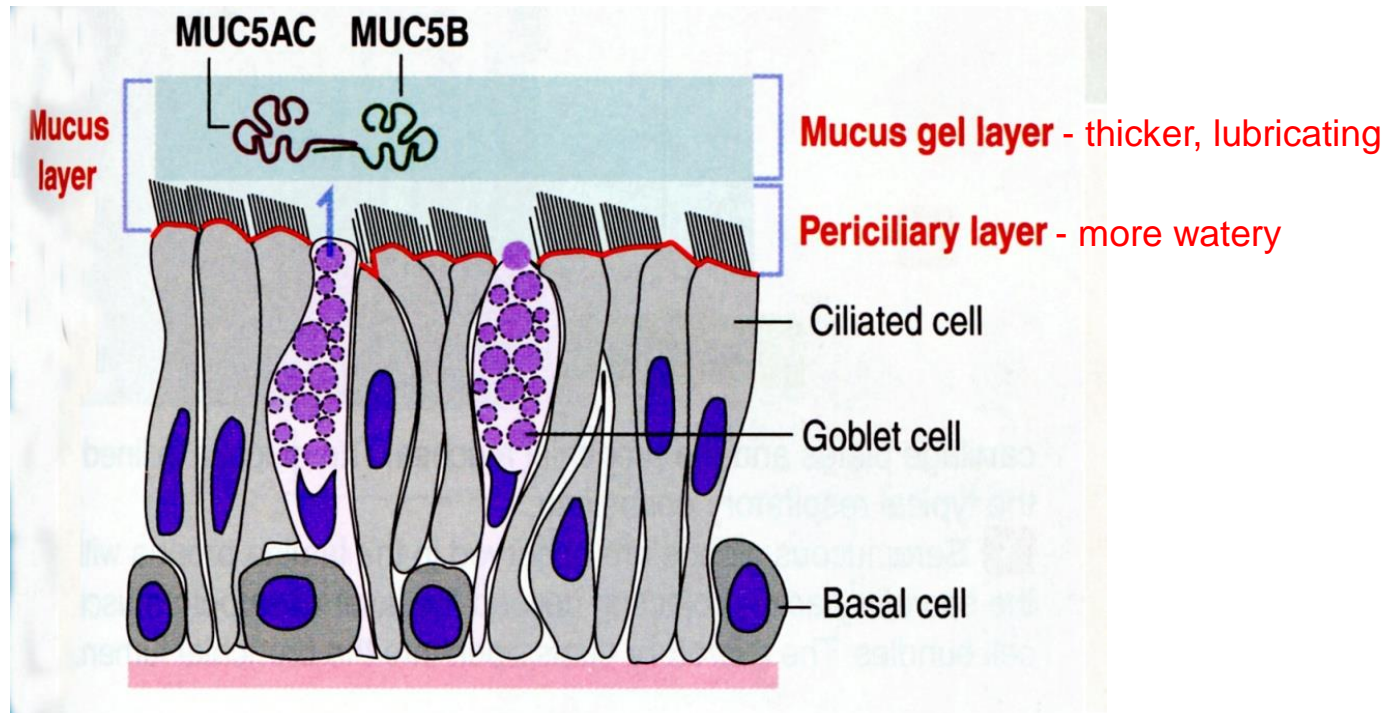
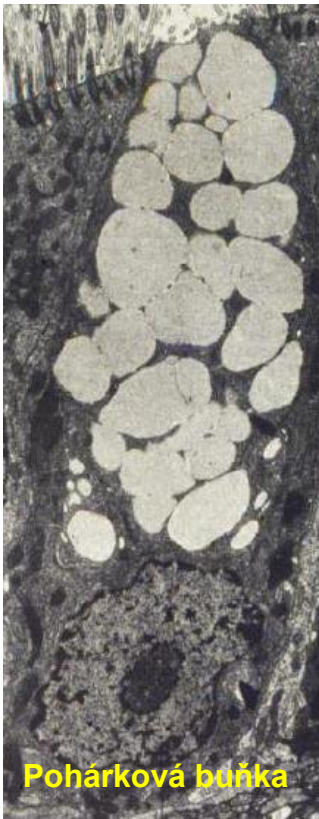


Pohárkové buňky

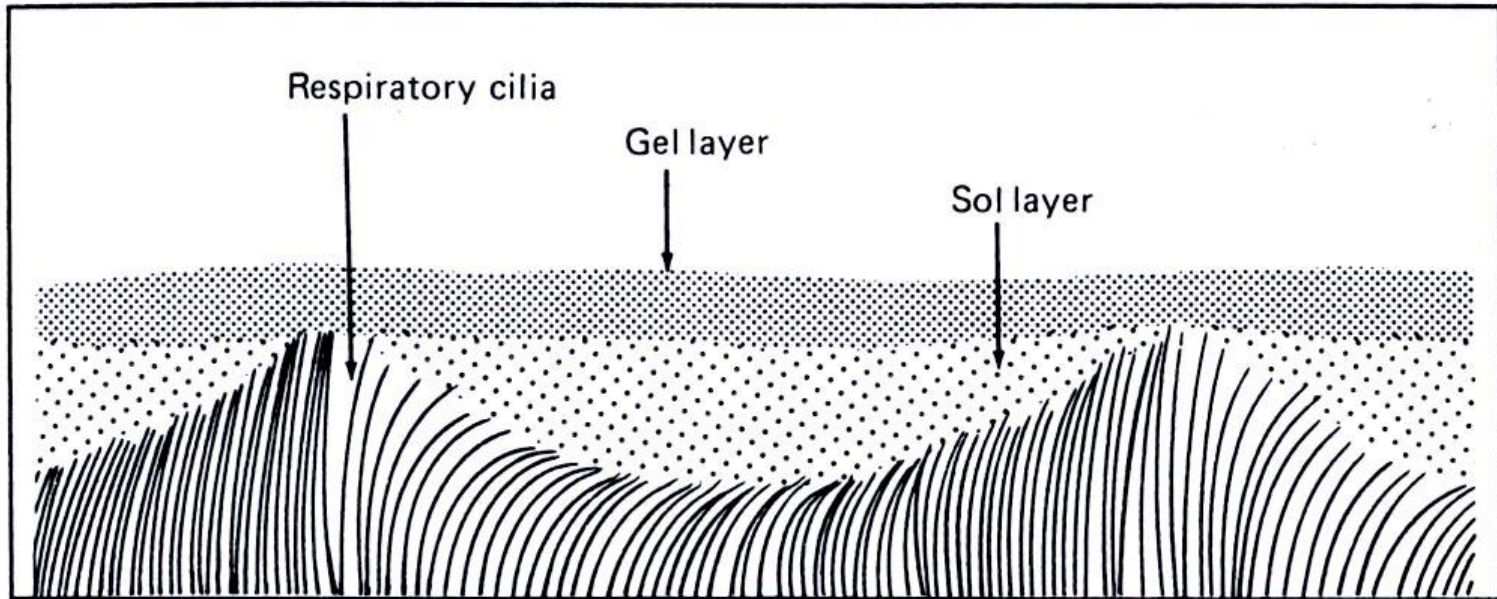
# Sliznice dýchacích cest – Hlen (Mucus)

## Mucus

- mainly glycoproteins in water
- ensures moistening of mucosa and air
- contains IgA immunoglobulins (mucosal immunity)
- traps airborne particles (dust etc.)
- helps selfcleaning of the airways

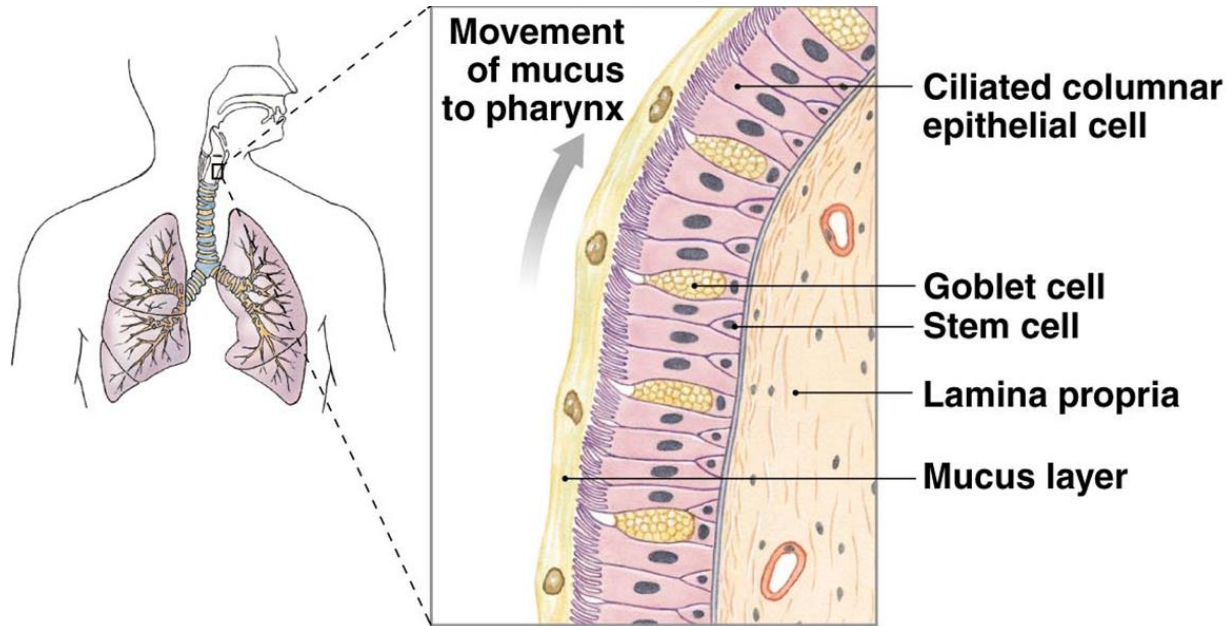


## Sliznice dýchacích cest – Hlen (Mucus)



Respiratory cilia are bathed in the sol portion of the mucus layer above them. Their power strokes allow mucus movement by contacting the viscous gel layer, always in the same direction. (From Martin DE and Youtsey JW: Respiratory anatomy and physiology, St Louis, 1988, The CV Mosby Co.)

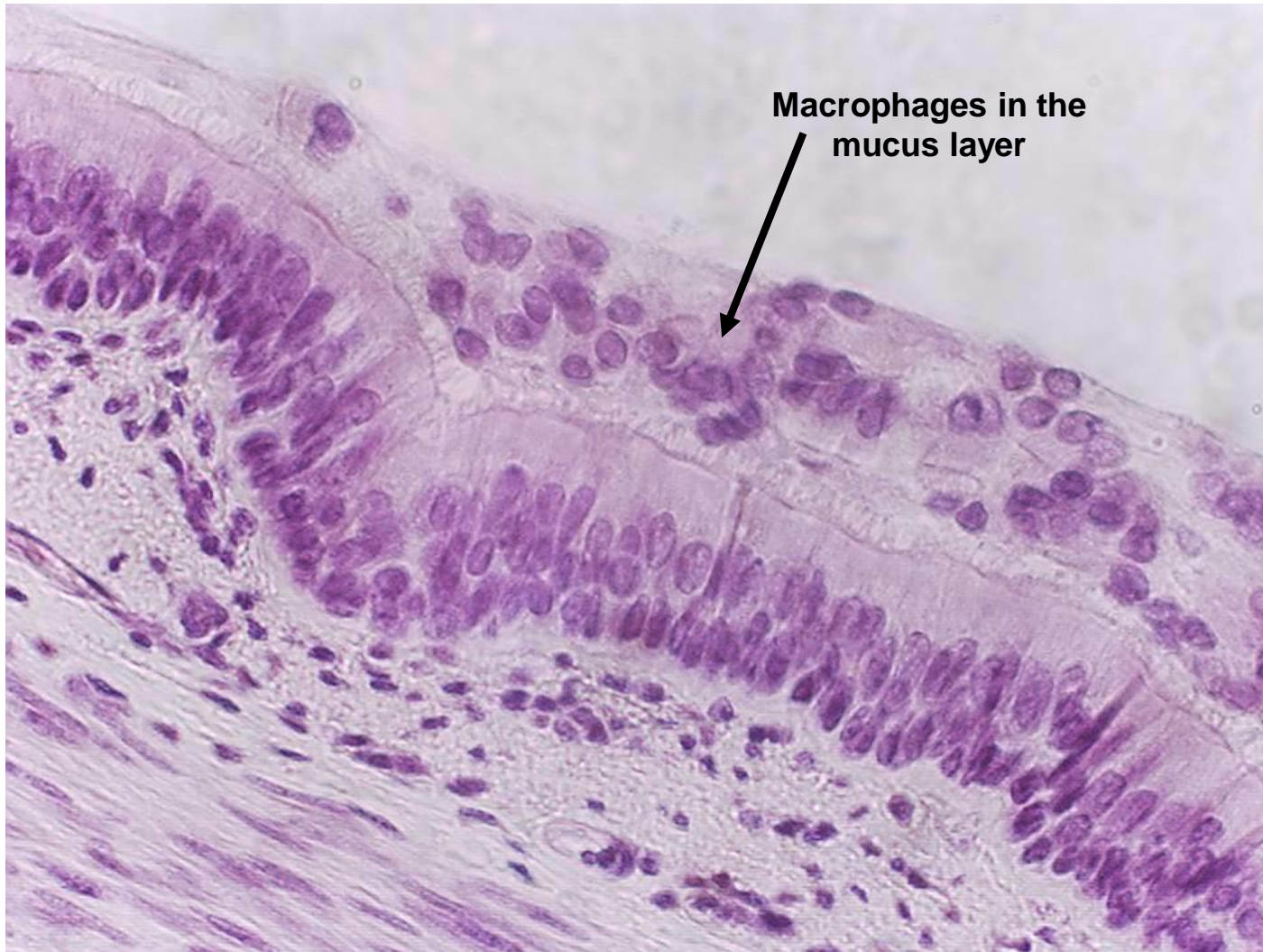
## Sliznice dýchacích cest – Hlen (Mucus)



**Cilia movement drives mucus towards pharynx.**

**Speed of mucocilliary transport - 5 mm / minute.**

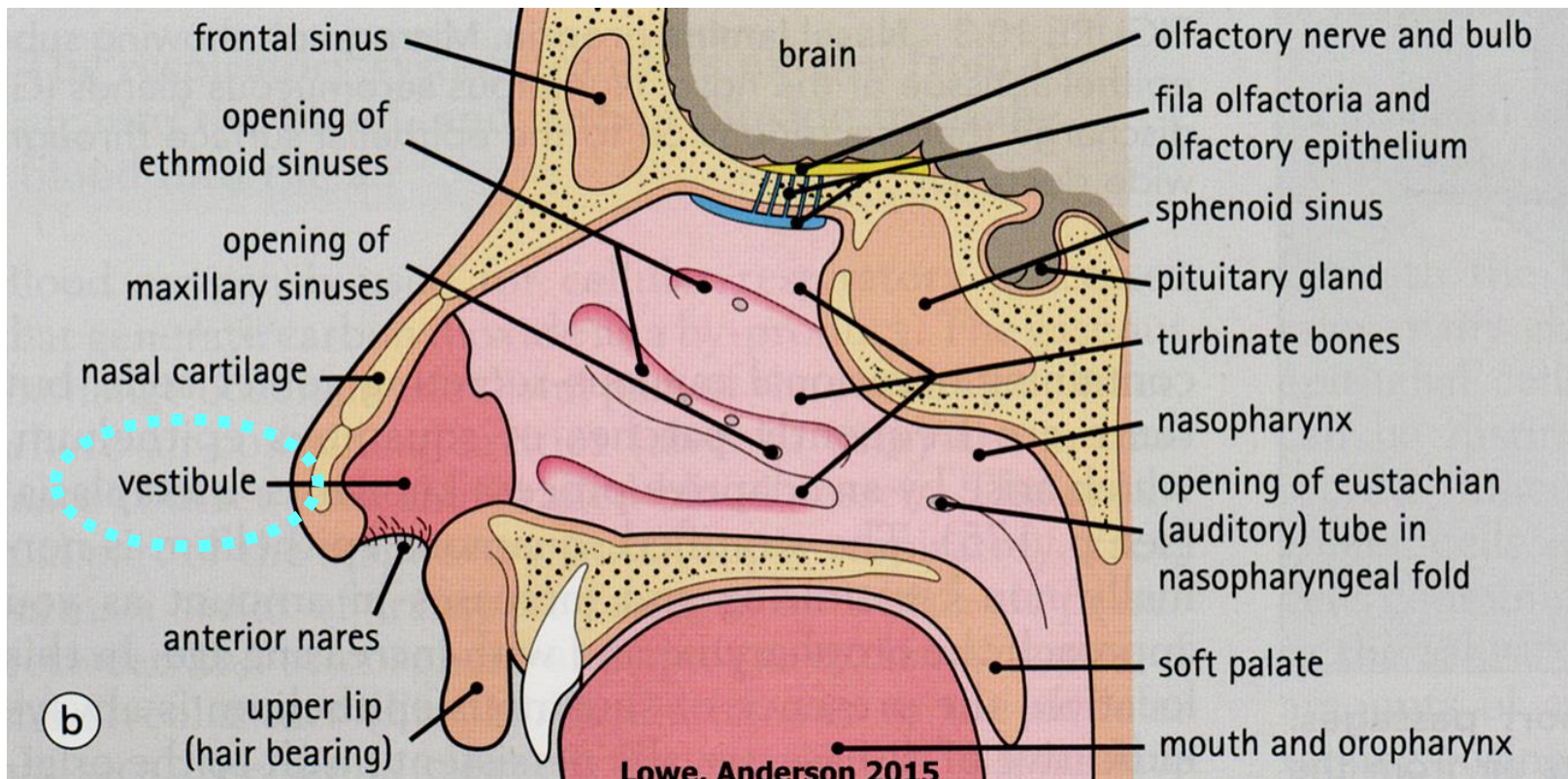
## Sliznice dýchacích cest – Hlen (Mucus)



# Nosní dutina – Předšíň (Vestibulum nasi)

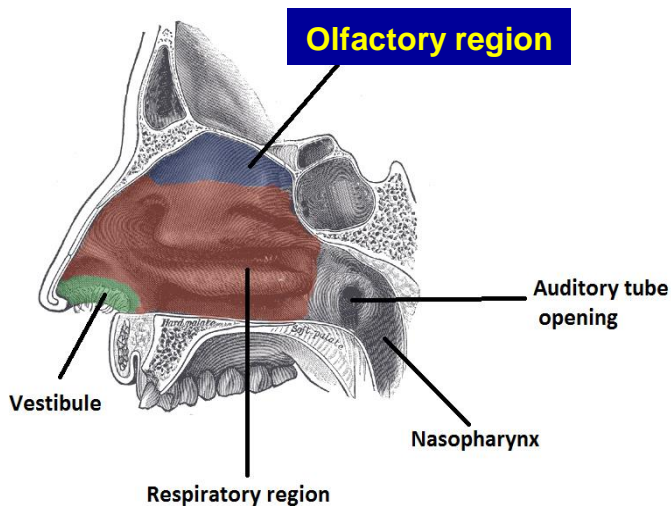
**Location:** 5 – 6 mm wide zone at the edge of nostrils

**Lining:** transition of dermis to respiratory mucosa – hairs with sebaceous glands





# Nosní dutina – Čichový epitel

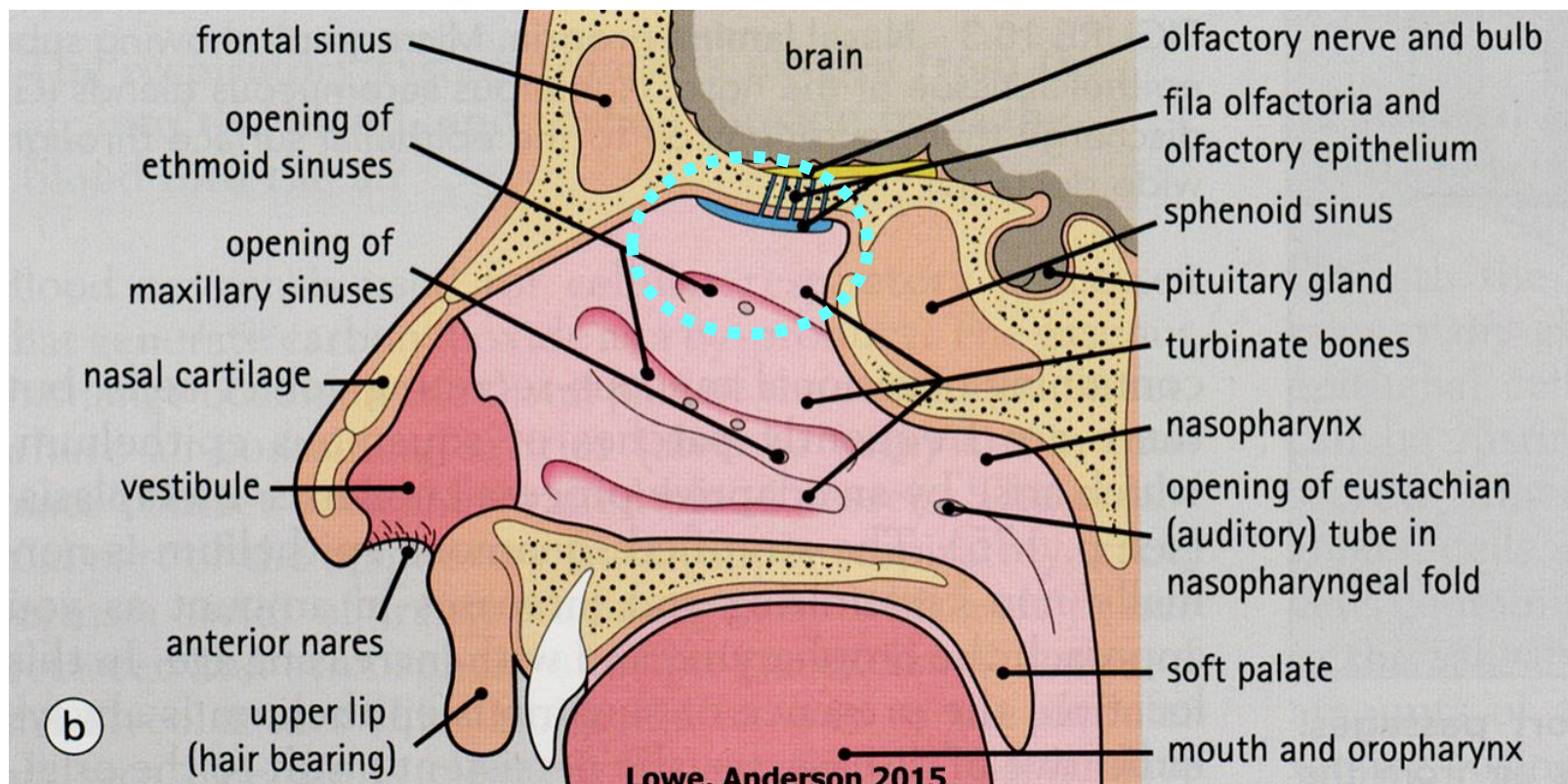


## Lokalizace:

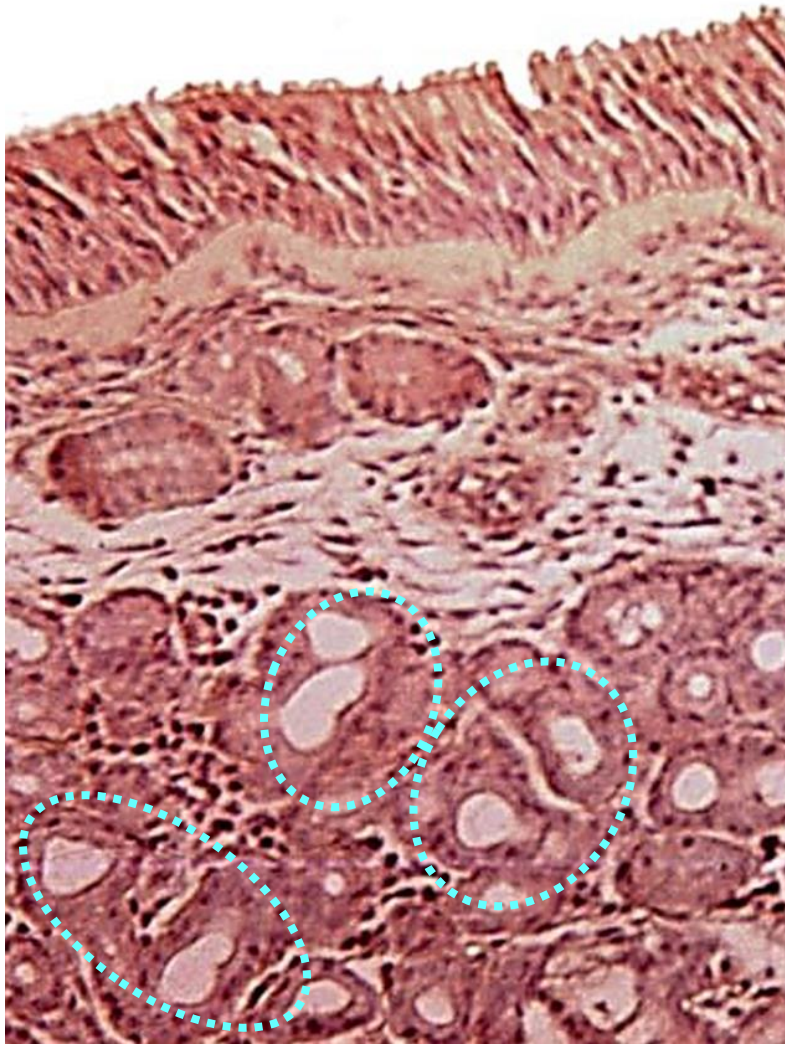
- strop nosní dutiny
- horní část nosní přepážky
- horní skořepa

**Barva:** nažloutlá

**Rozměr:** přibližně 7-10 cm<sup>2</sup>



# Nosní dutina – Čichový epitel



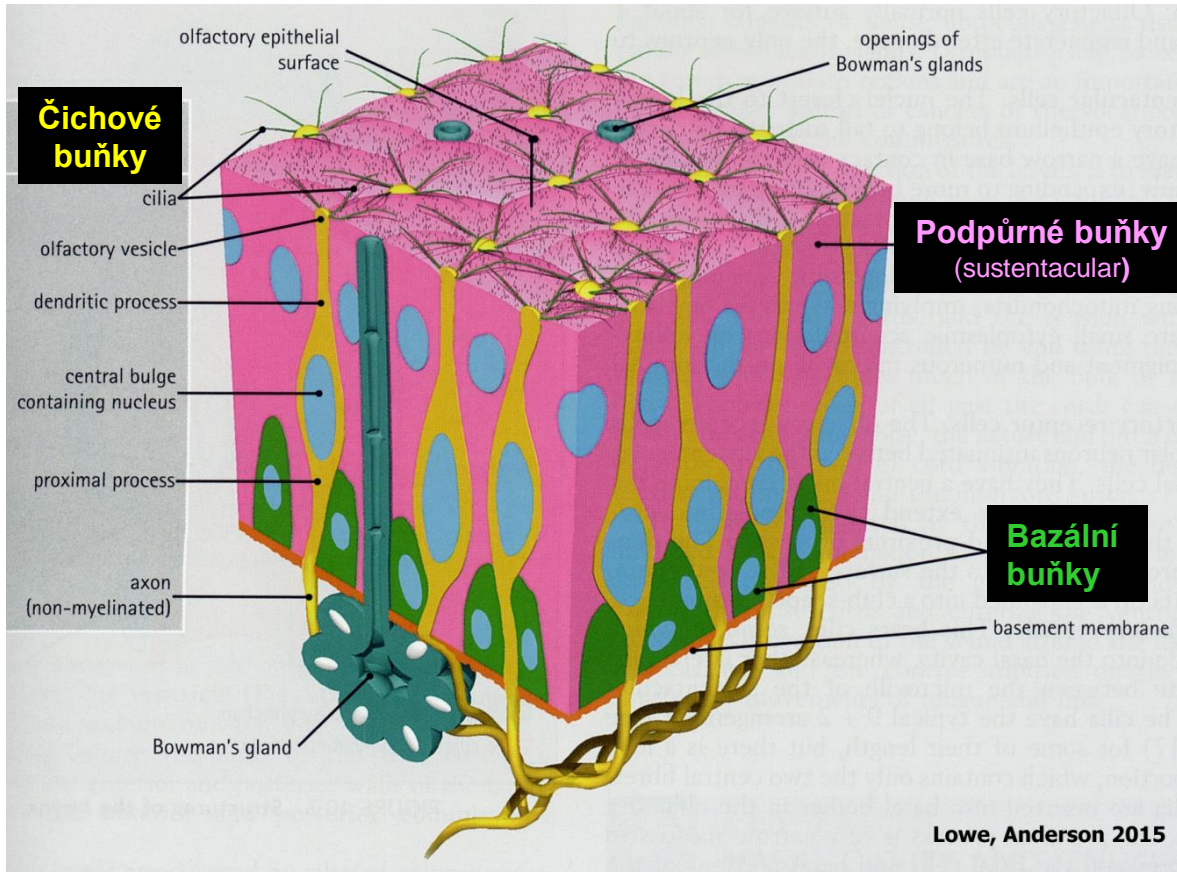
## Víceřadý cylindrický epitel

- tloušťka 70 – 100  $\mu\text{m}$
- 3 typy buněk

## Lamina propria mucosae

- řídké vazivo
- arteriální a venózní pleteně
- axony smyslových buněk
- Bowmanovy žlázky  
(tubulózní, rozvětvené, serózní)

# Nosní dutina – Čichový epitel



## Čichové buňky

olfactory epithelial surface  
cilia  
olfactory vesicle  
dendritic process  
central bulge containing nucleus  
proximal process  
axon (non-myelinated)

## Podpůrné buňky (sustentacular)

## Bazální buňky

## Čichové buňky

- bipolární neuron - apex – dendrit – čichový vezikul
- 10-20 nepohyblivých řasinek odstupuje z jednoho vezikulu
- Modifikované řasinky obsahují receptory pro odoranty
- báze buňky - axon

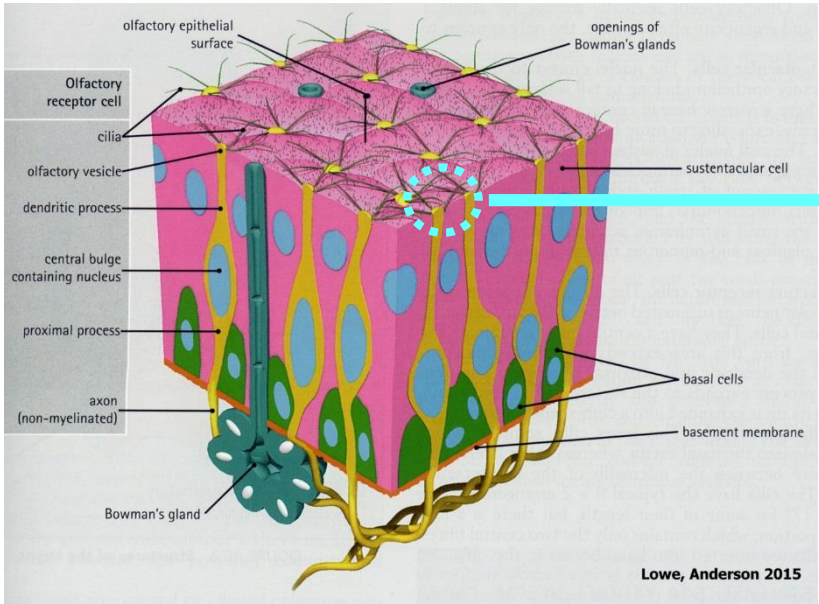
## Podpůrné buňky (sustentacular)

- kartáčový lem - mikroklky
- fyzická podpora + výživa

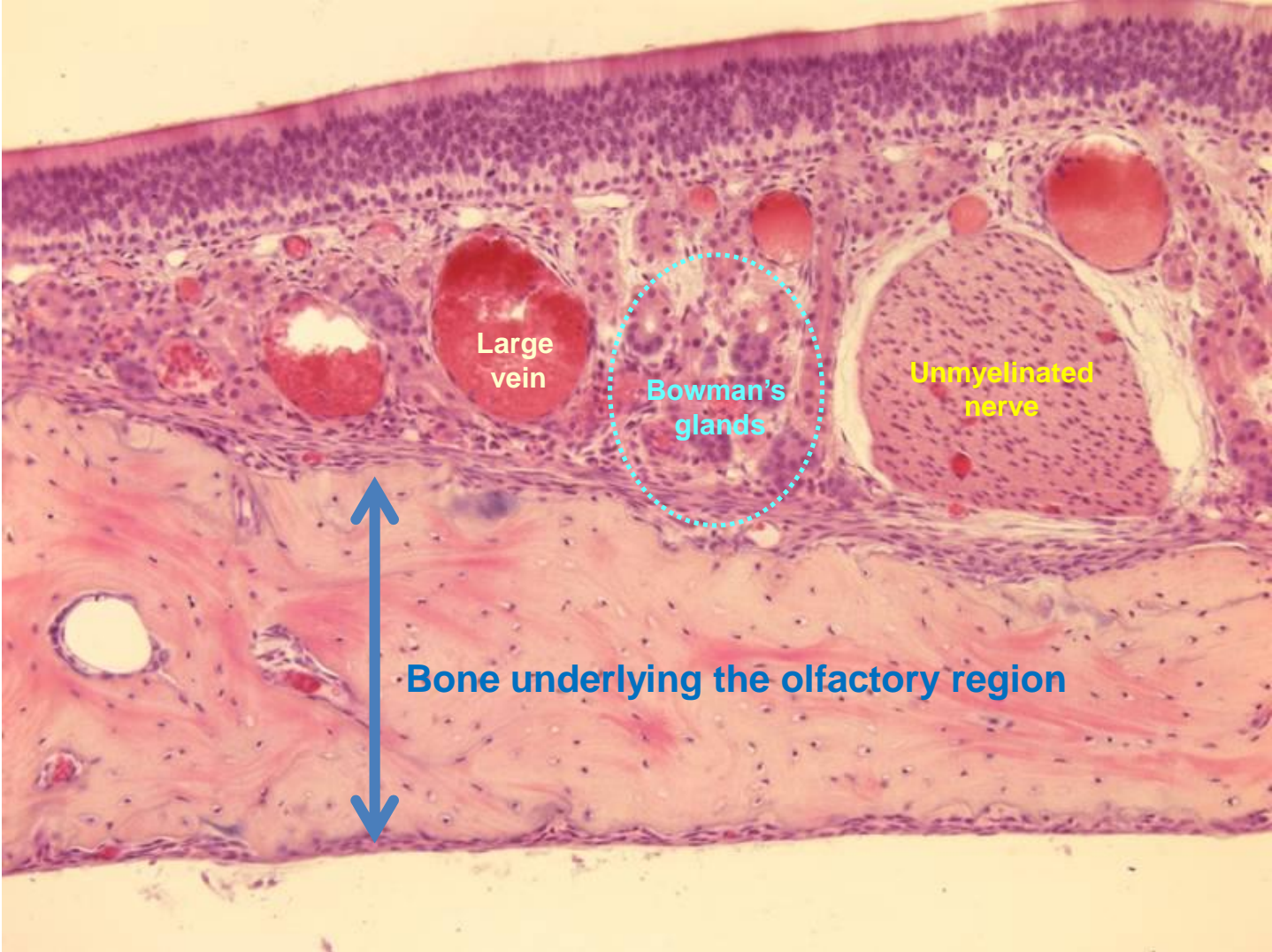
## Bazální buňky

- nízká bazofilní
- kmenové buňky podpůrných i čichových buněk (*regenerace neuronů !!!*)

# Nosní dutina – Čichový epitel

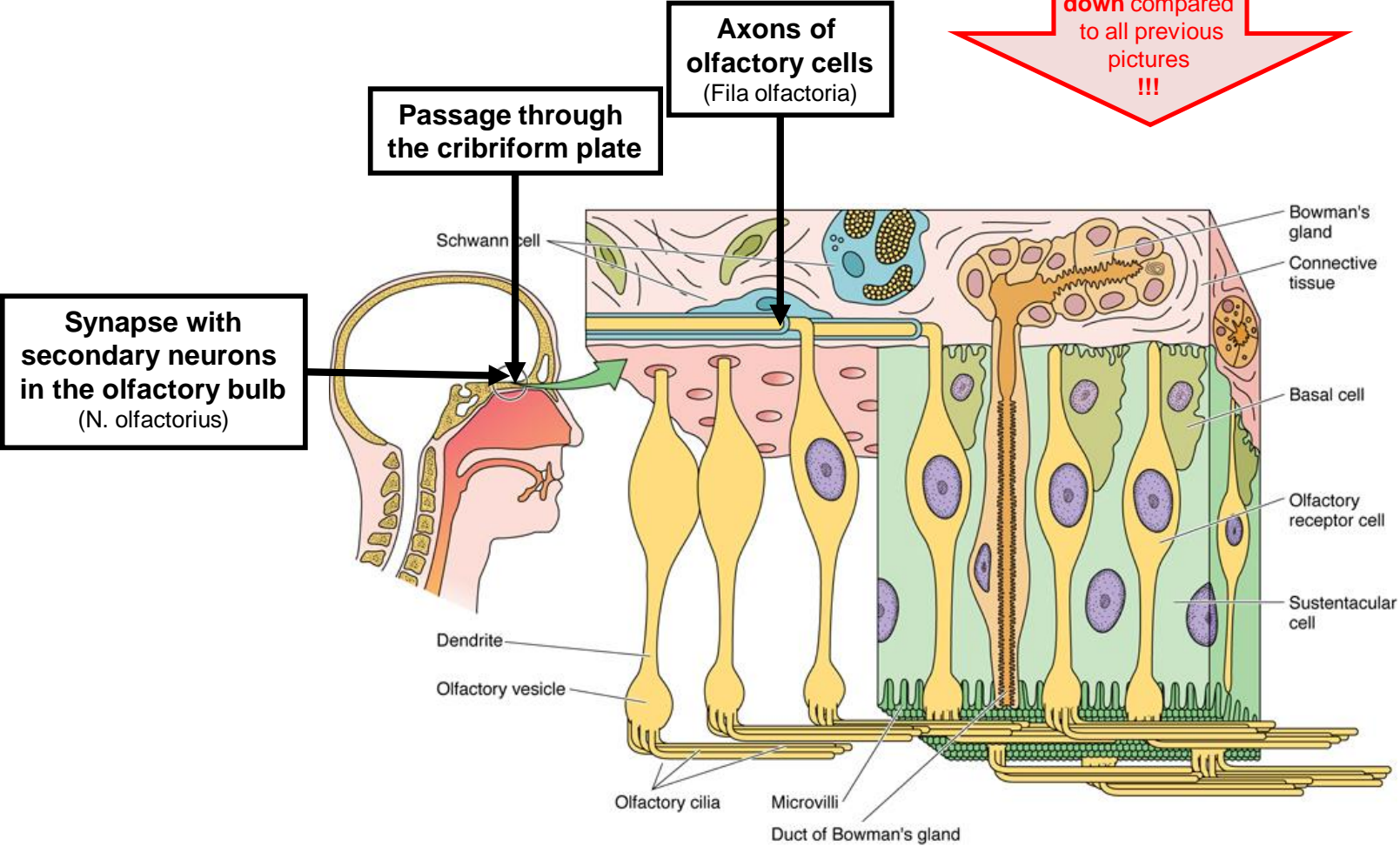


# Nosní dutina – Čichový epitel



# Nosní dutina – Čichový epitel

Flipped upside down compared to all previous pictures !!!

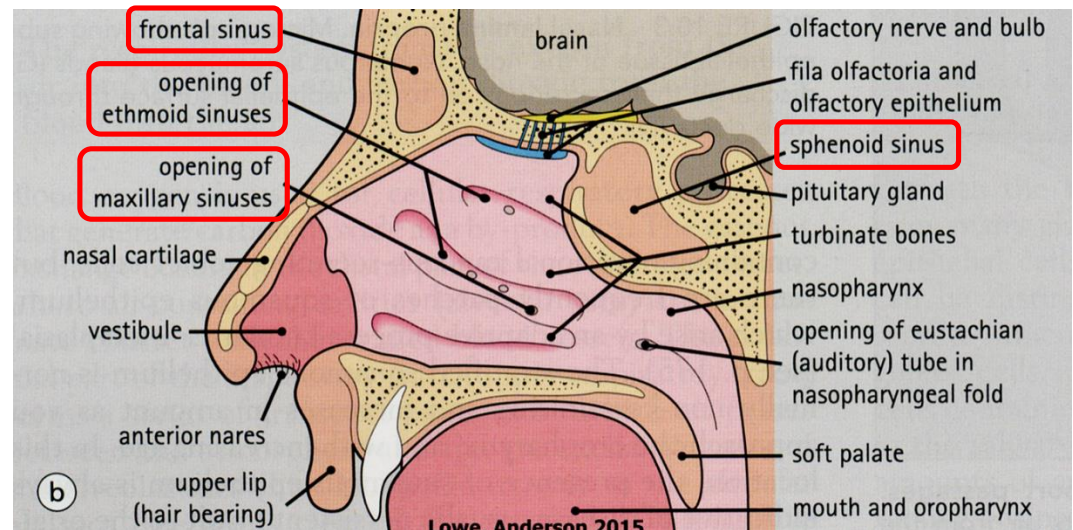
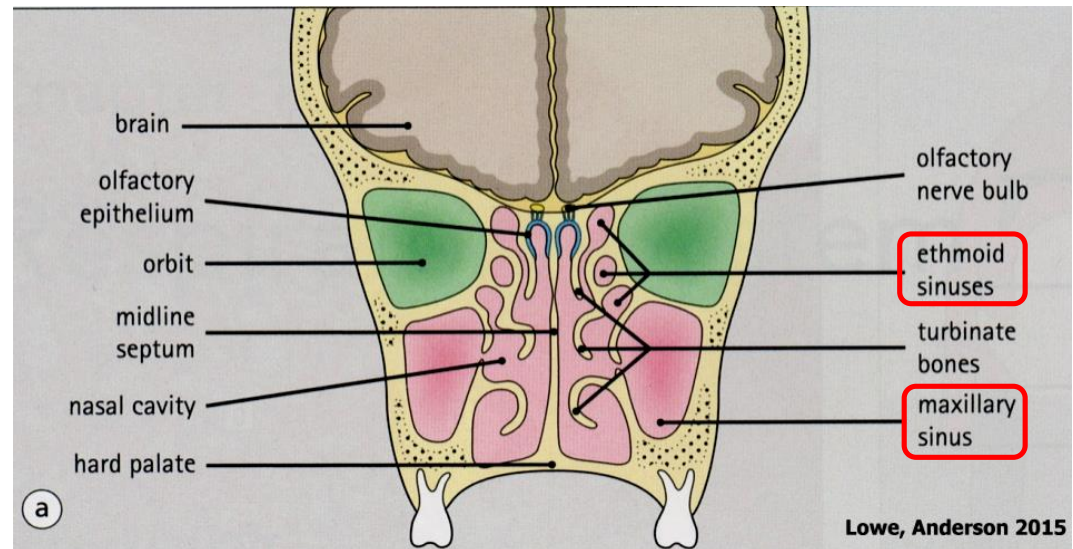
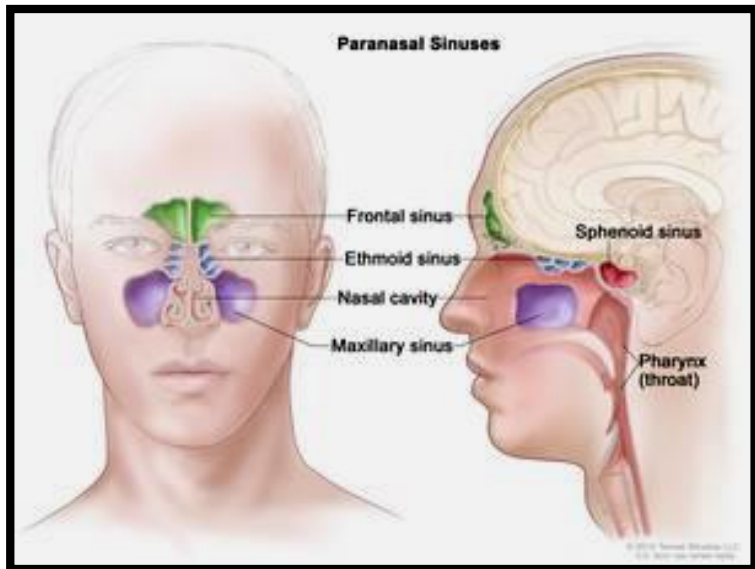


# Nasní dutina – Paranasální dutiny (Sinus paranasales)

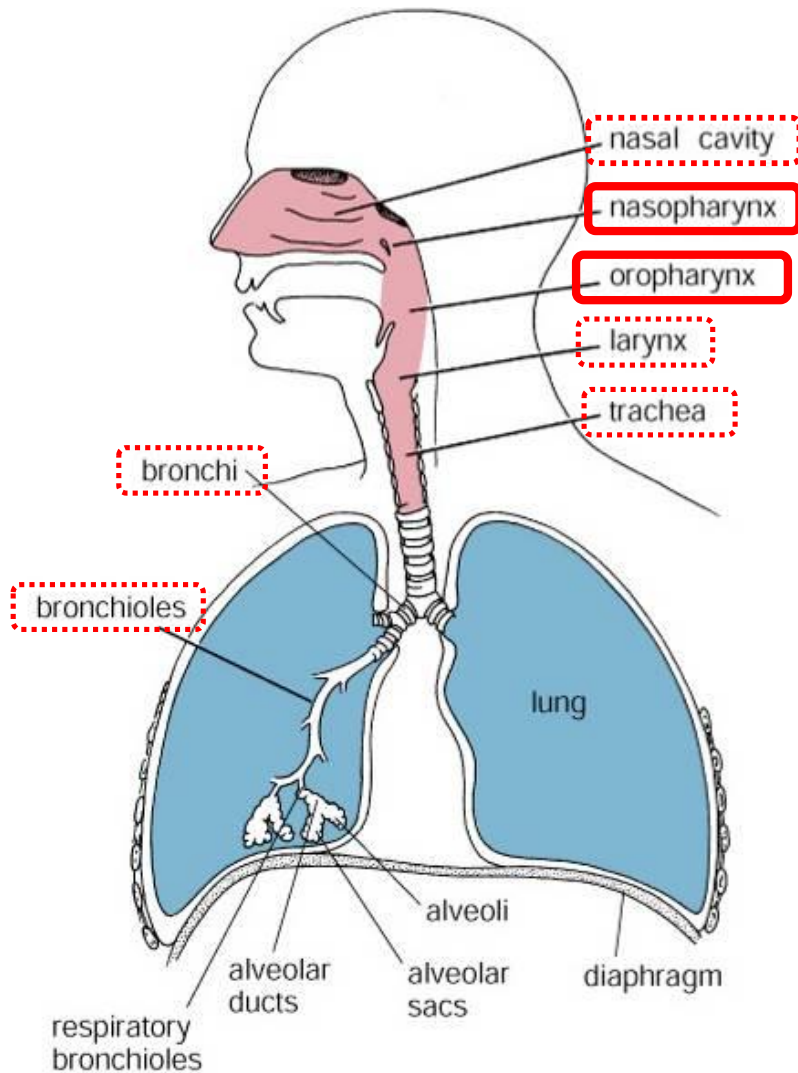
- sinus maxillaris (15-25 cm<sup>3</sup>)
- sinus ethmoidalis
- sinus frontalis
- sinus sphenoidalis

## Mucous lining

- similar to airway mucosa
- thinner
- less glands
- no submucosa



# Nasopharynx (Pars nasalis pharyngis) + Oropharynx (Pars oralis pharyngis)



## Křížení dýchacího a trávicího traktu

### Nasopharynx

- vícevrstvý cylindrický epitel s řasinkami
- tonsila pharyngea – infiltrace lamina propria lymfocyty
- vyústění Eustachovy trubice

### Oropharynx

- vrstevnatý dlaždicový epitel

Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.



# Hrtan - Larynx

Zodpovědný za tvorbu zvuků - hlas

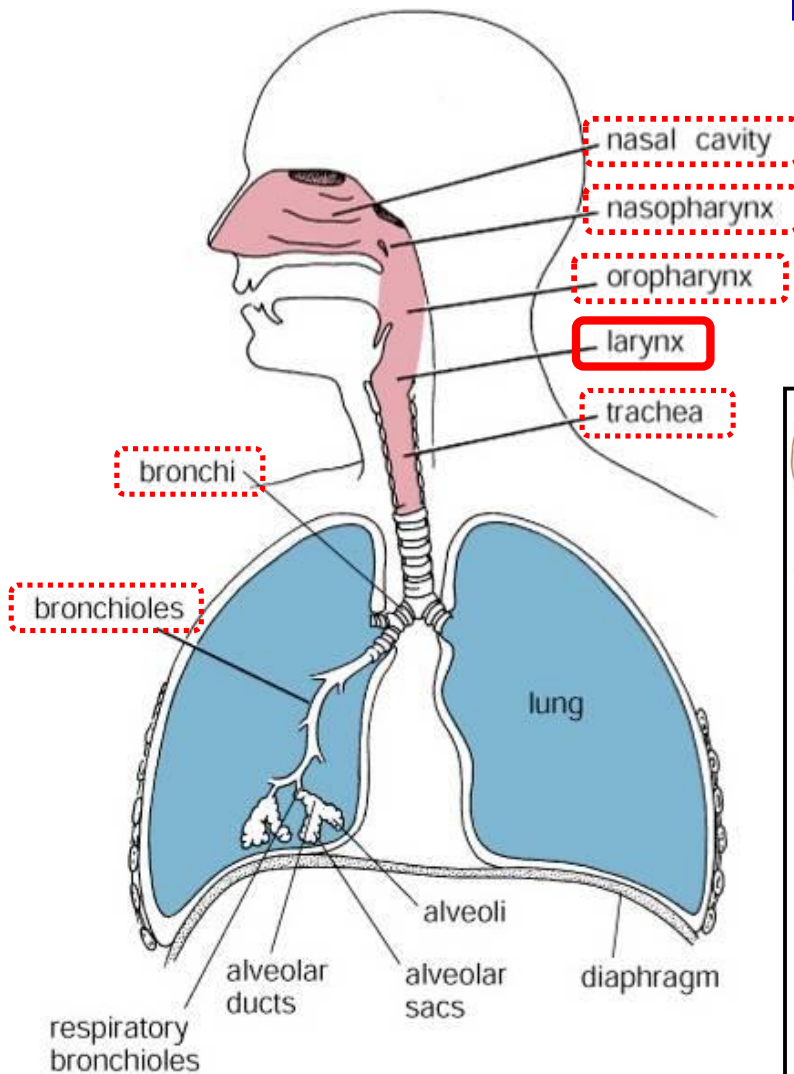
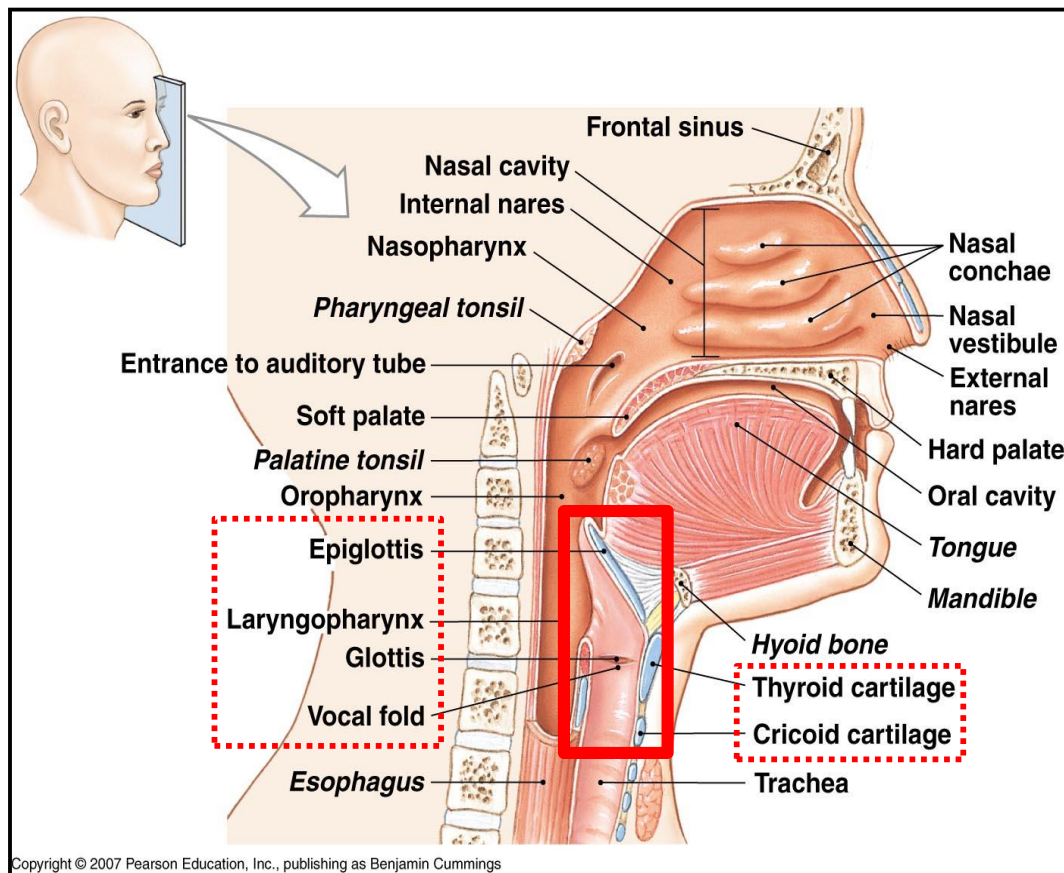


Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.



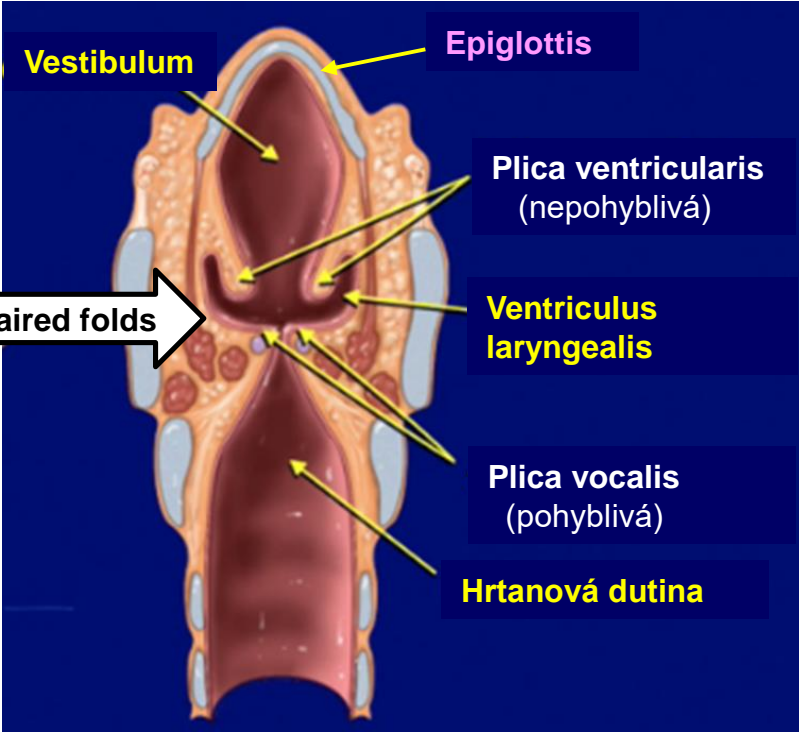
# Larynx – Anatomie

## Frontal section



Shape of sand-glass

Constriction = paired folds



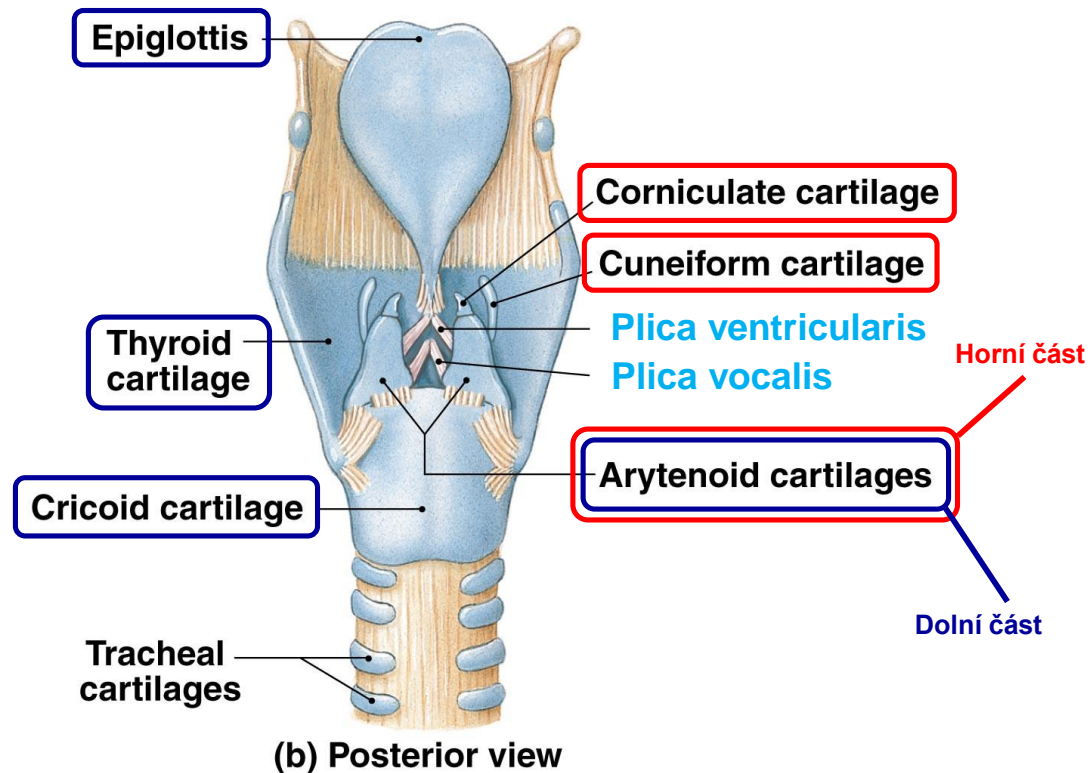
Přibližně 4 cm

# Larynx – Výztuhy

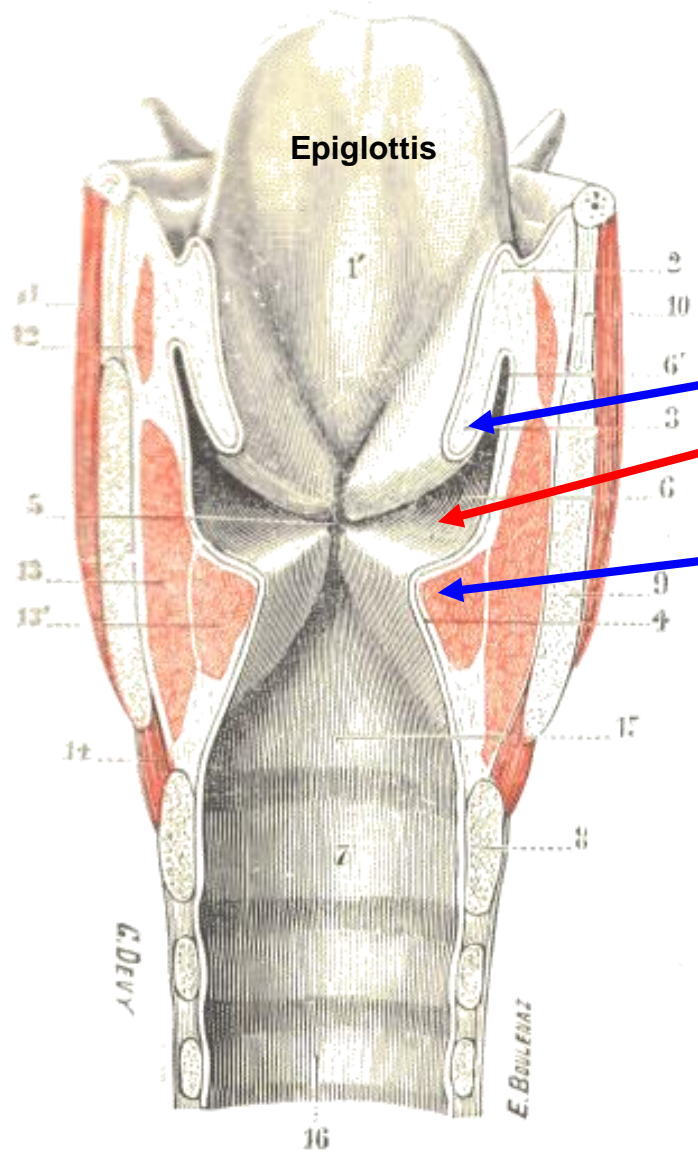
## Chrupavky

joint by ligaments and operated by muscles

- Hyalinní
- Elastické



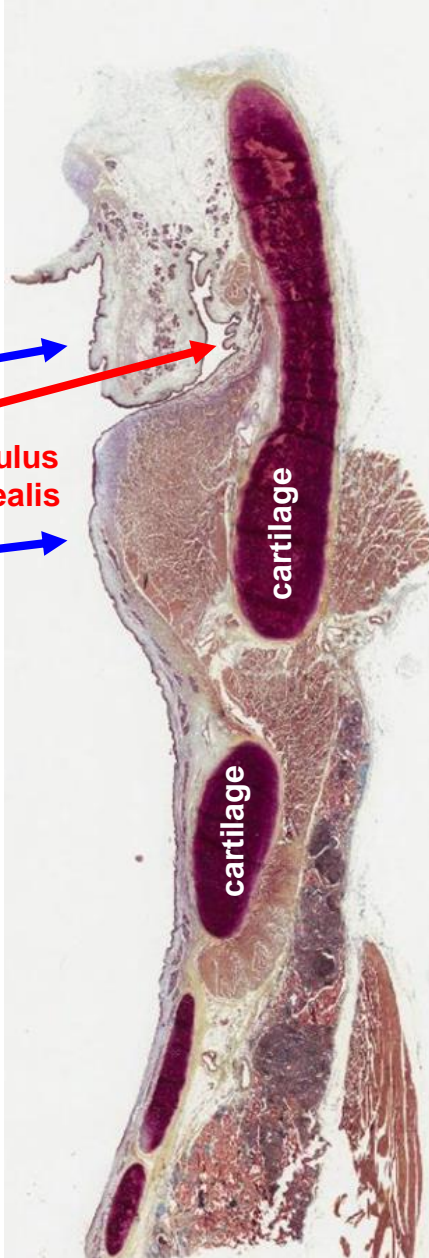
# Larynx



Plica ventricularis

Ventriculus laryngealis

Plica vocalis



# Larynx – Histologická stavba

**Žlázy**  
(seromucinózní)

**Plica ventricularis**

**Musculus vocalis**  
(kosterní)

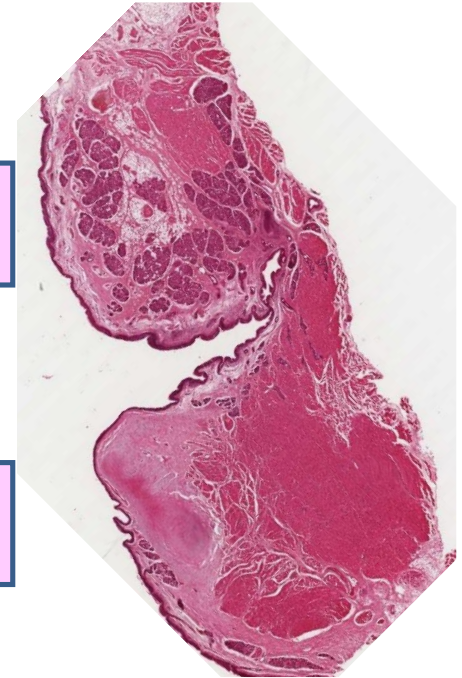
**Ligamentum vocale**  
(elastický)

Bež žlázek!!!

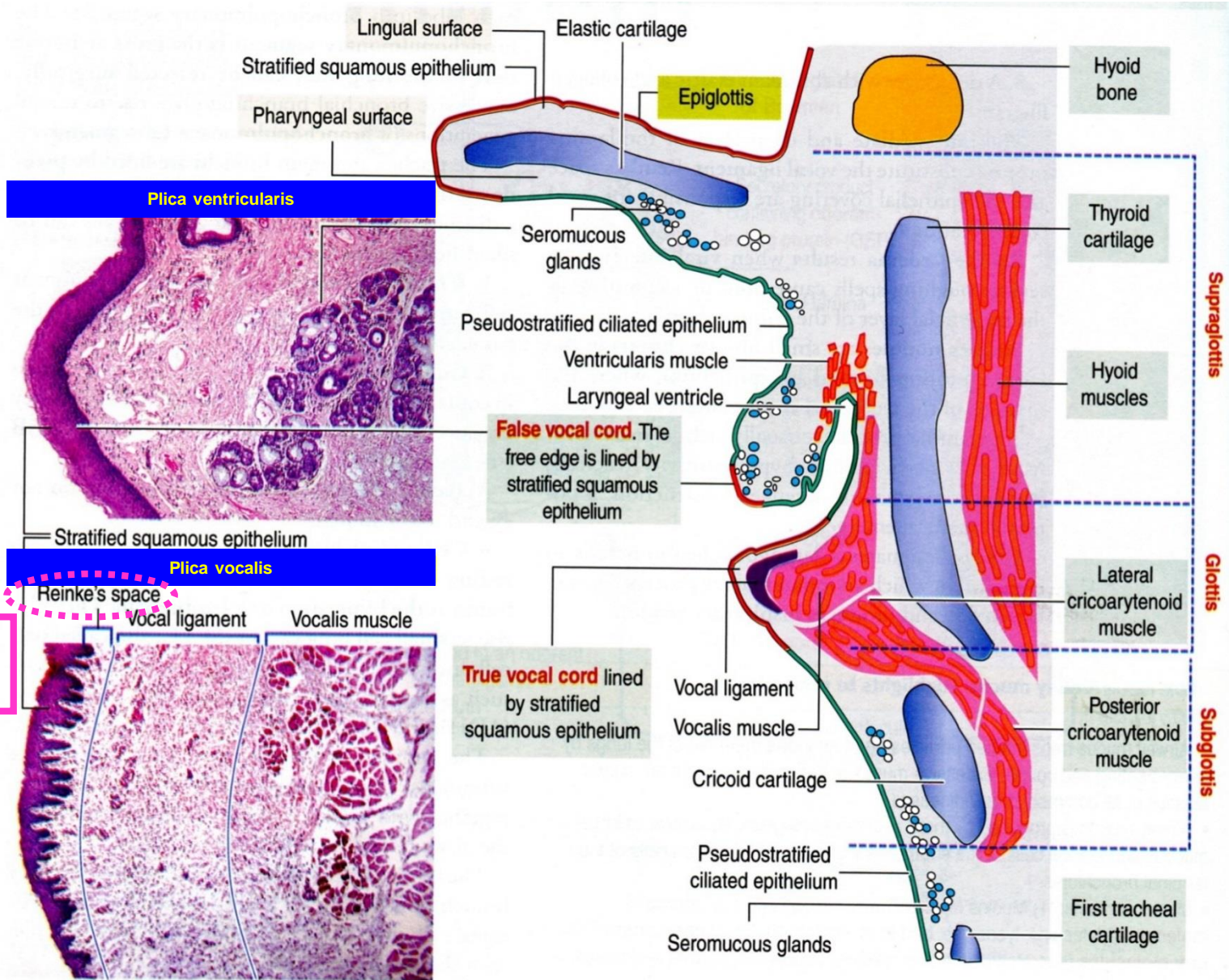
**Plica vocalis**

Víceřadý cylindrický  
epitel s řasinkami

Vrstevnatý  
dlaždicový epitel



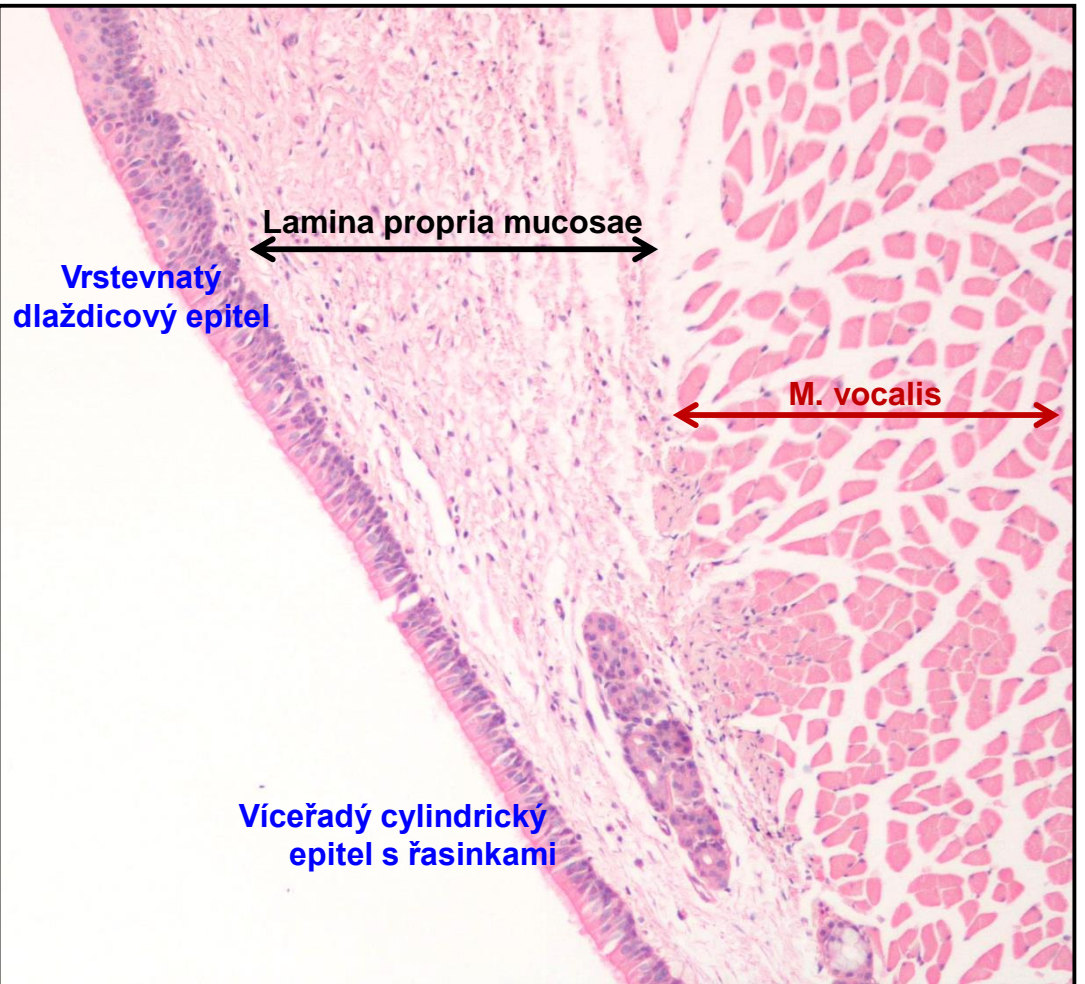
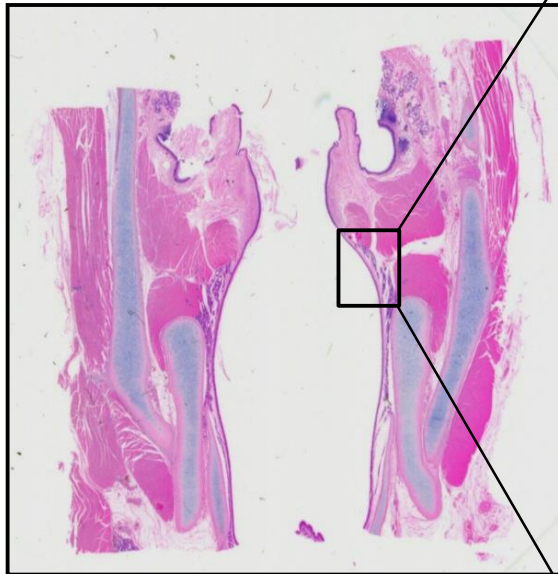
# Larynx – Sliznice



**Reinke's oedema**  
exudate in Reinke's space  
= hoarse voice

# Larynx

Přechod epitelů na spodním okraji Plica vocalis



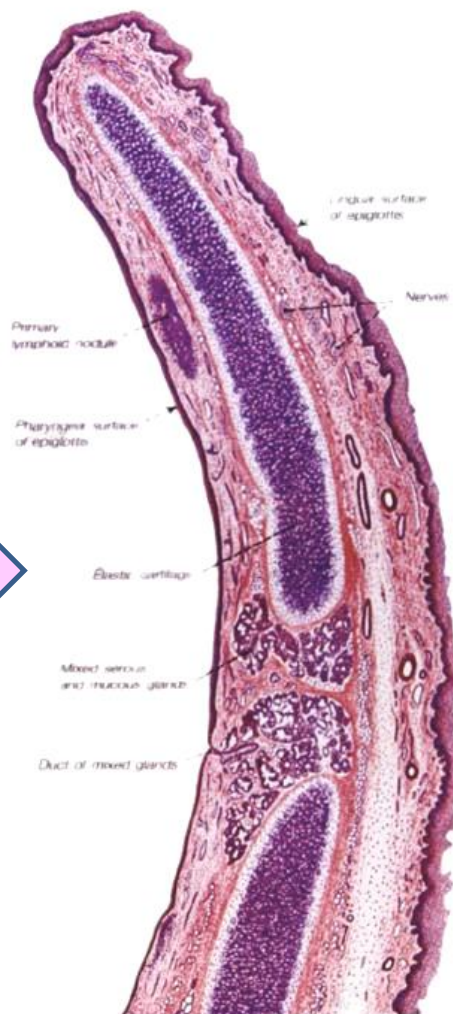
# Larynx - Epiglottis

Laryngeální strana

Lingvální strana

Víceřadý cylindrický  
epitel s řasinkami

Vrstevnatý  
dlaždicový epitel





# Trachea

Conducting portion  
Extrapulmonary position

Length approx.: 12 cm  
Diameter approx.: 2 cm

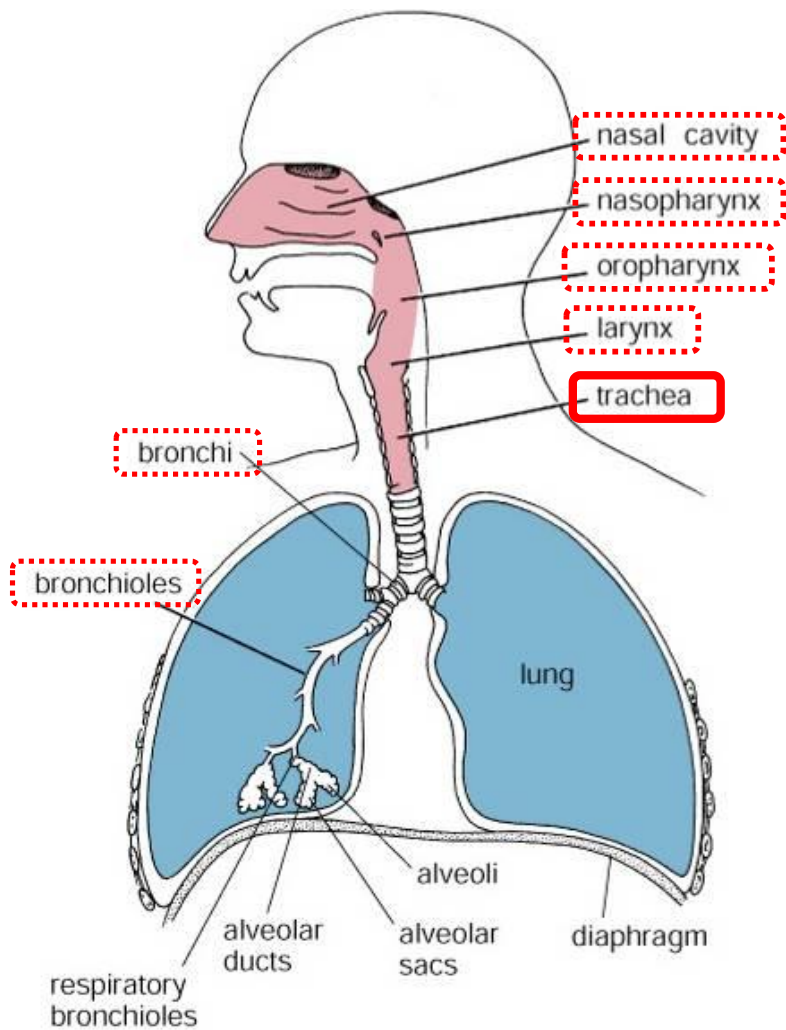
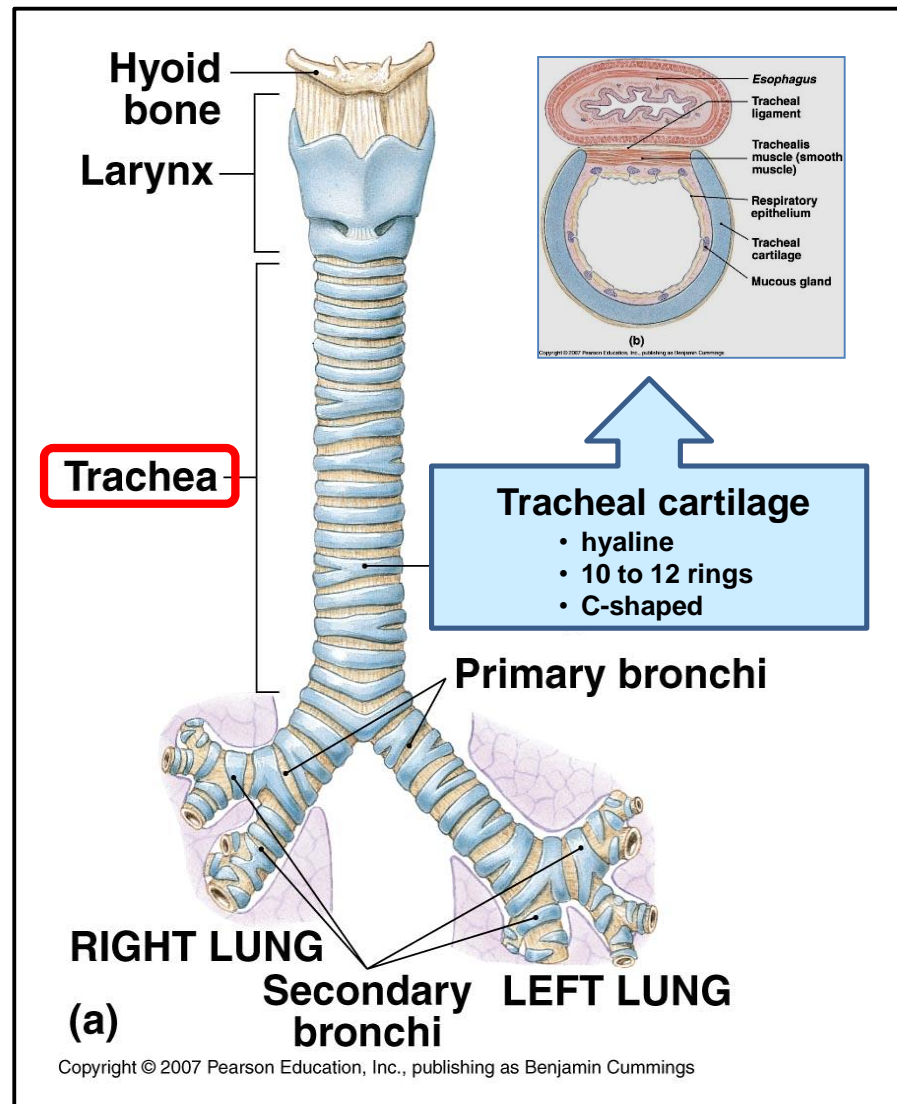
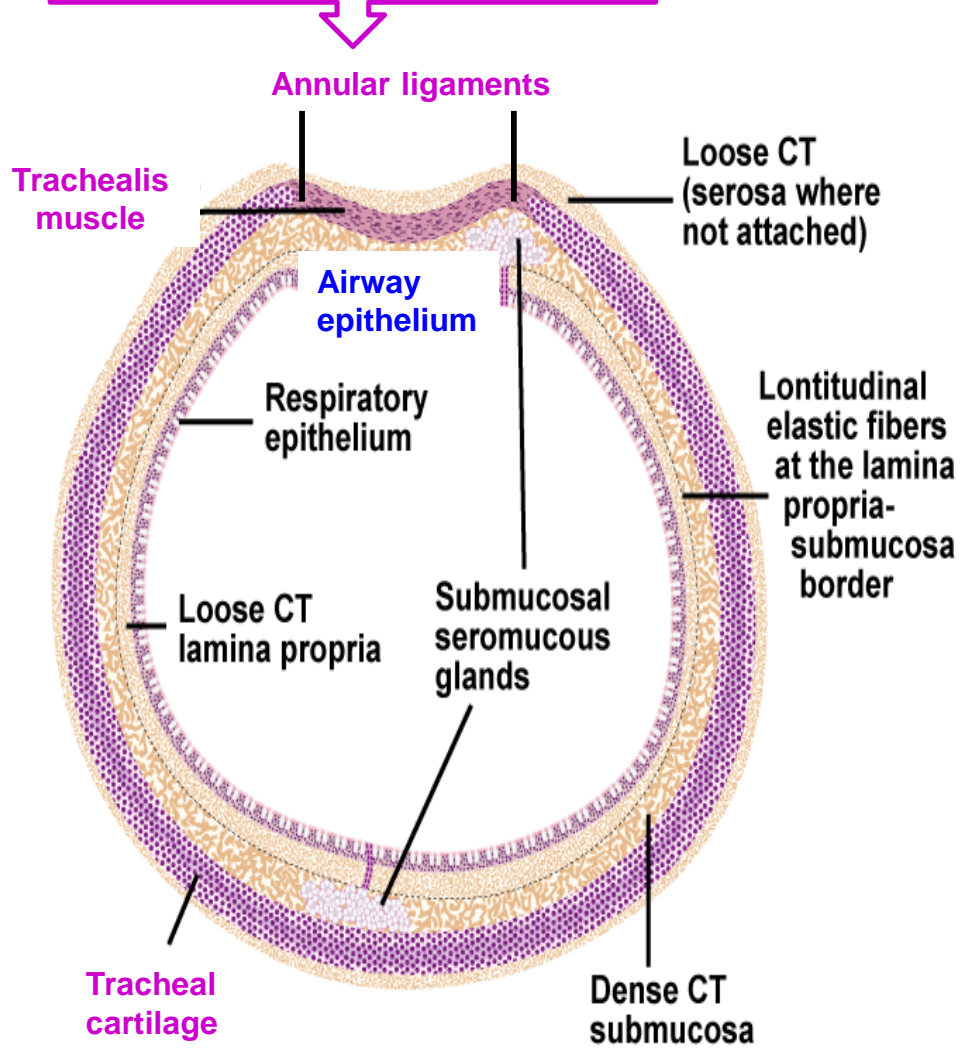


Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.

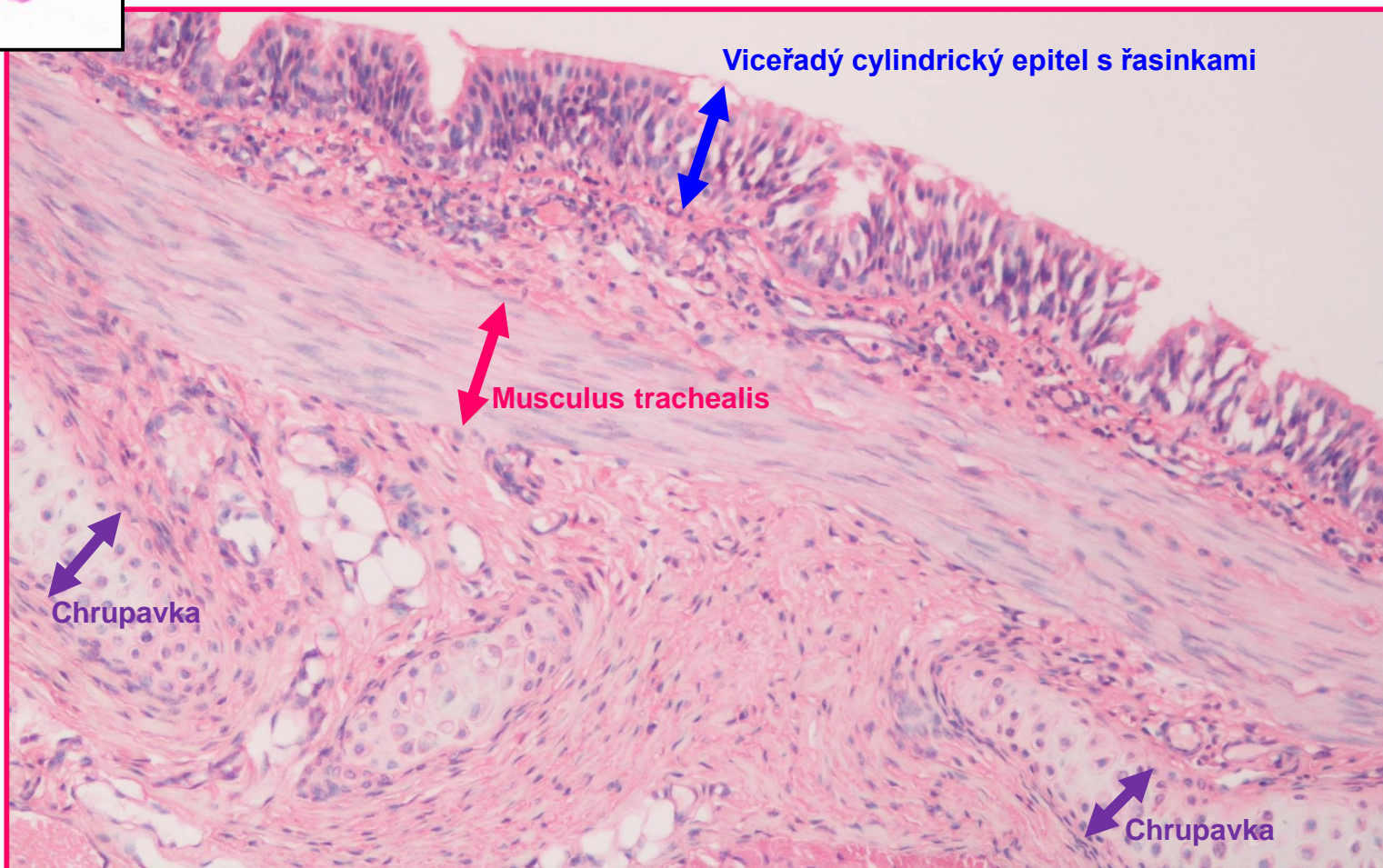
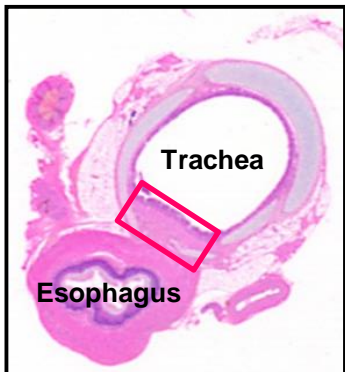


# Trachea – příčný řez

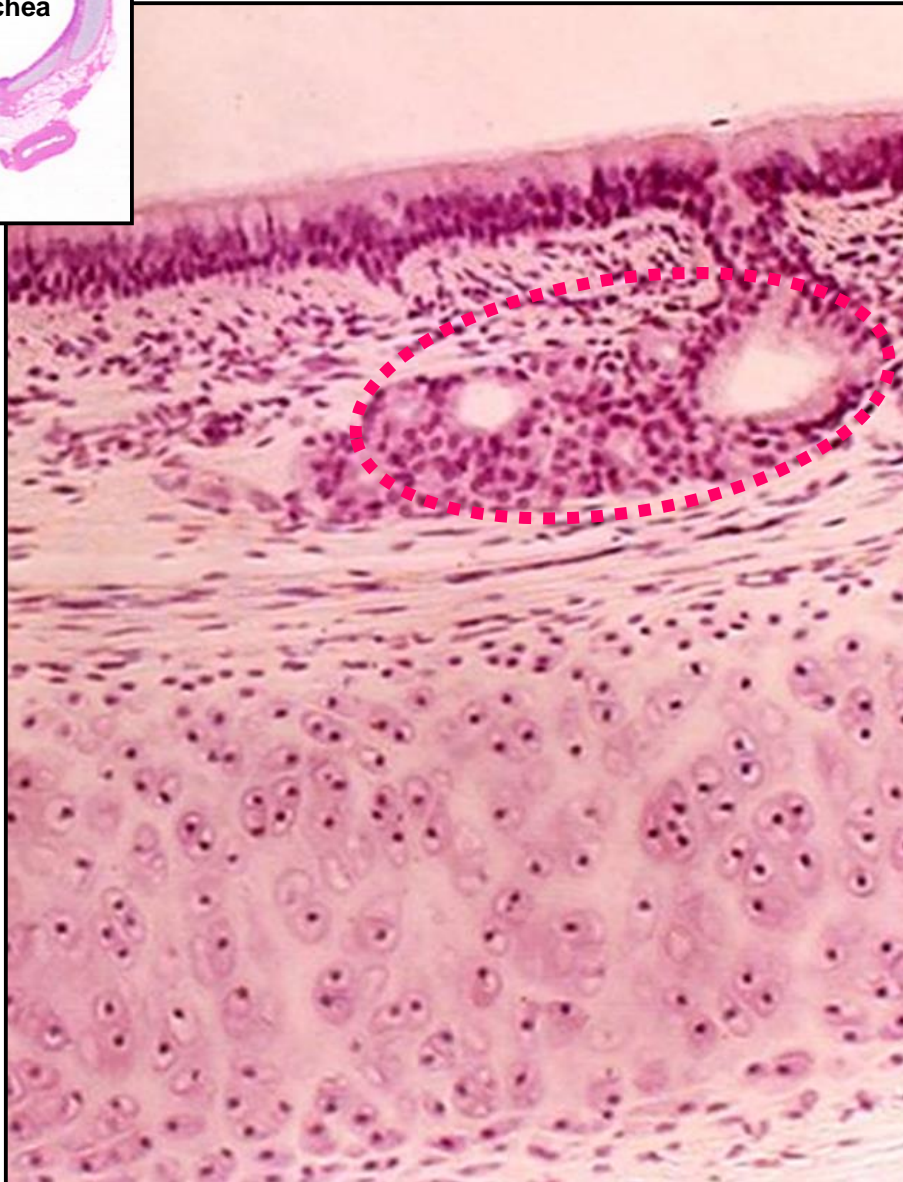
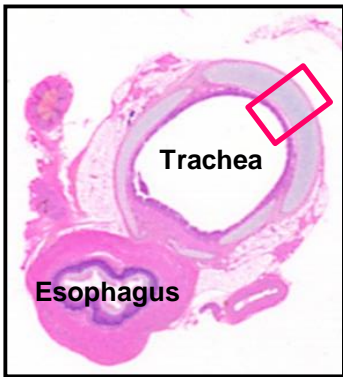
Fibro-musculo-cartilaginózní vrstva



# Trachea - Stěna



# Trachea - Stěna



Víceřadý cylindrický epitel s řasinkami

Lamina propria mucosae

• fibroelastické vazivo + lymfoidní buňky

Submucosa

• tlustá, husté fibroelastické vazivo  
• četné seromucinózní žlázky – **Tracheální žlázky**  
• bohaté krevní a lymfatické zásobení

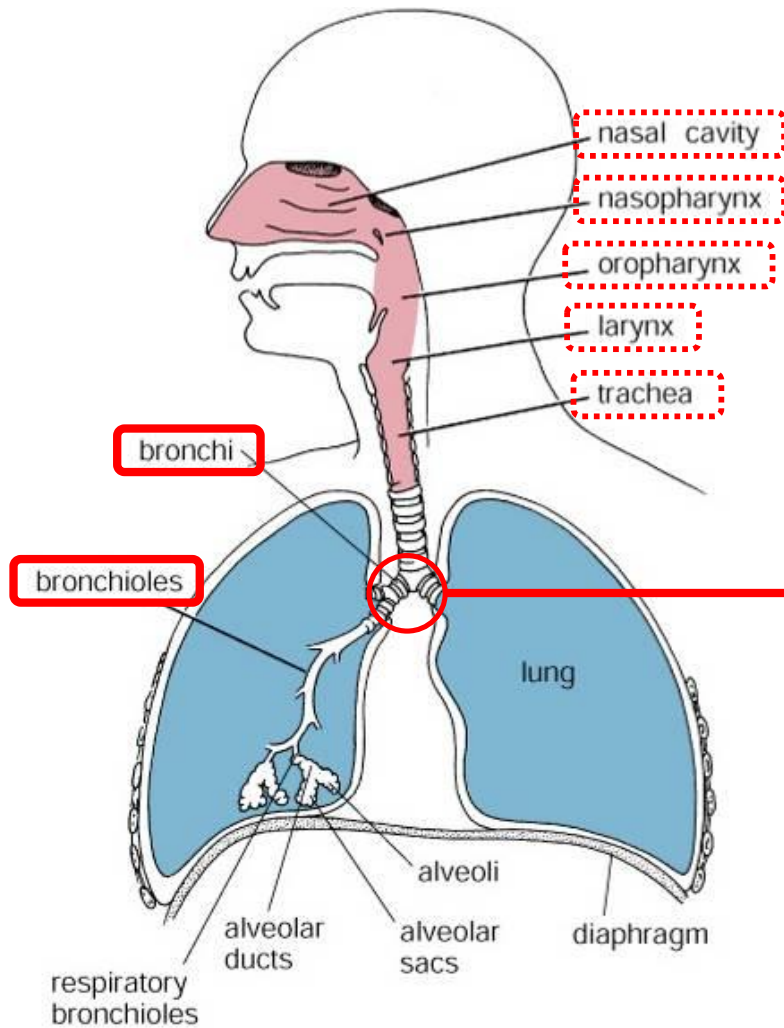
Perichondrium

Chrupavka

Adventitia

• fibroelastické vazivo

# Bronchiální strom



Begins at bifurcation of trachea

Primární bronchy – Extrapulmonární

- the same structure as trachea
- smaller diameter than trachea
- accompanied by the pulmonary arteries, veins, and lymphatics

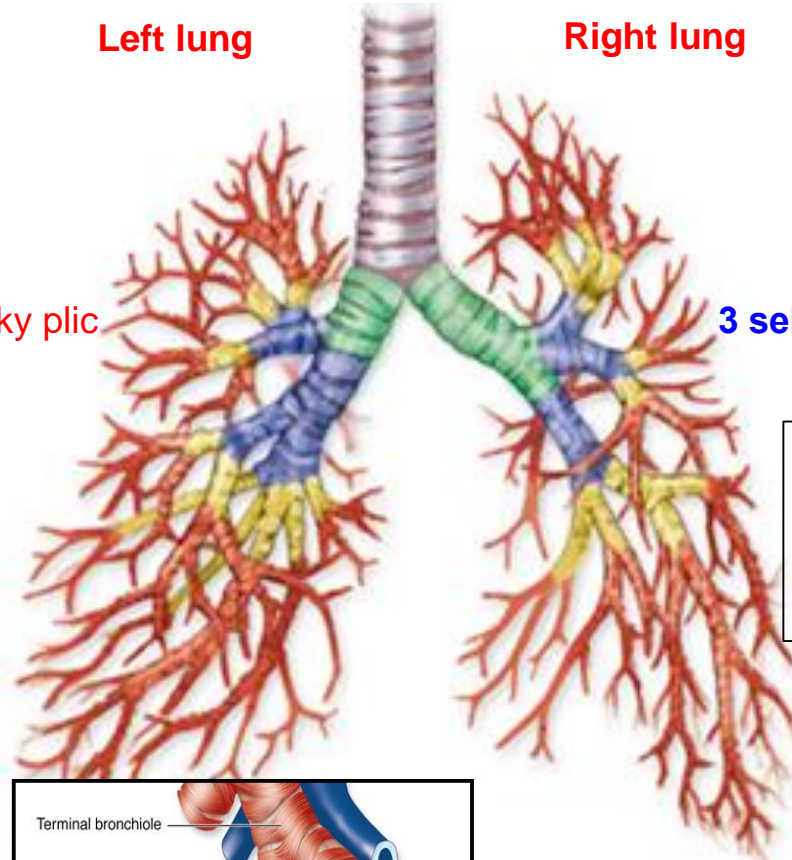
Figure 18.1. Diagram of respiratory passages.

# Bronchiální strom

15 to 20 dichotomic divisions in total

Left lung

Right lung



**2 sekundární bronchy – 2 laloky plic**  
(Lobární bronchy)

**3 sekundární bronchy – 3 laloky plic**  
(Lobární bronchy)

## Terciární bronchy (Segmental bronchi)

- total number of 10
- diameter about 8 mm
- further ramification 8x - 10x

## Bronchopulmonární segment

- about 10 % of lung
- own vasculature
- enclosed in fibrous capsula
- used in surgery

## Střední + Malé bronchy

- diameter down to 1 mm
- cartilage in their wall

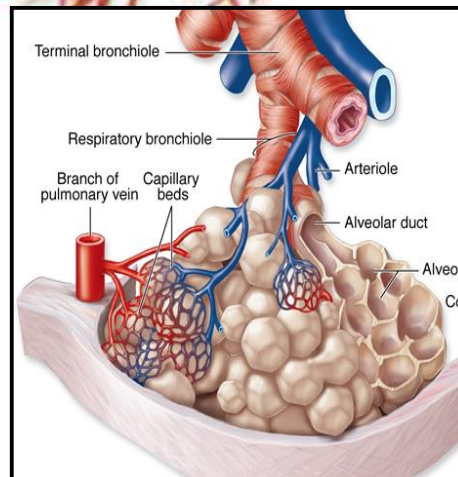


## Primární bronchioly

- diameter about 1 mm
- no cartilage
- one PB serve one **pulmonary lobule**

## Terminální bronchioly

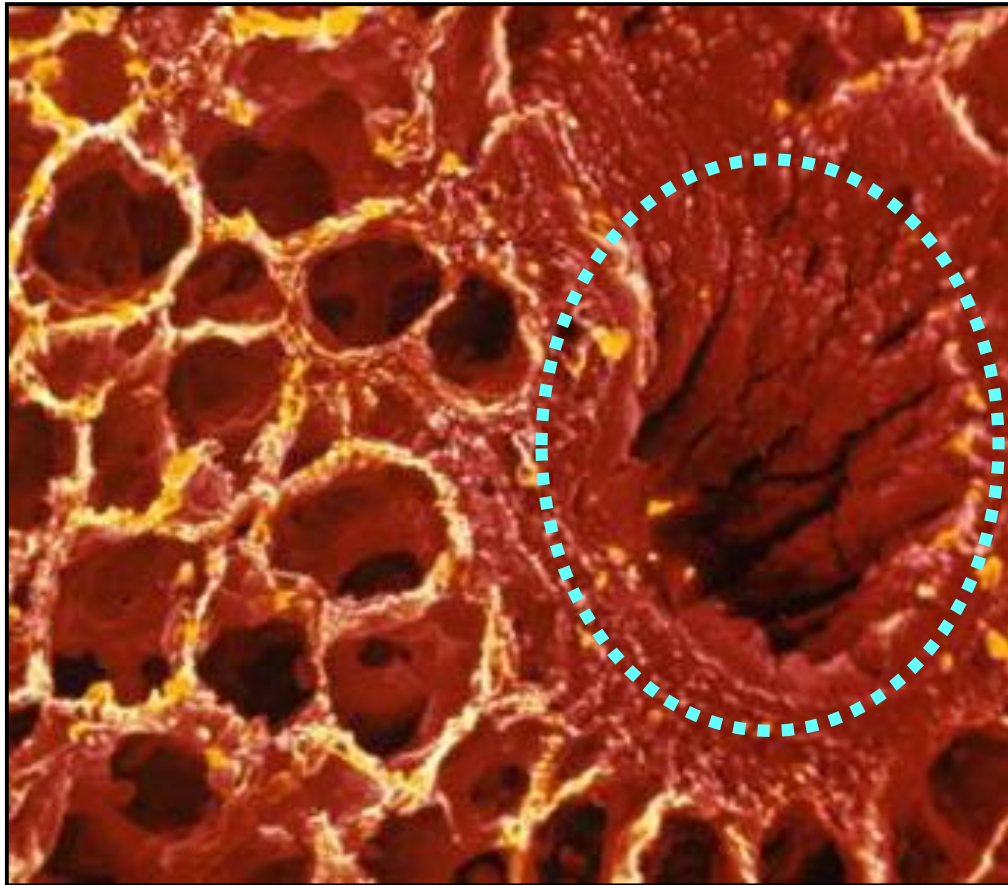
- 5 – 7 TB branched from one PB
- diameter about 0,5 mm



## Plicní lalůček

- pyramidal shape
- surrounded by very thin fibrous capsule
- volume 1 – 2 cm<sup>3</sup>

**Bronchy**  
makroskopický obraz



# Bronchiální strom – Bronchy (lobární až malé)

## Mucosa

- typical airway epithelium (or bilayered columnar)
- elastic fibers in lamina propria
- bronchial glands in LP
- BALT in LP (bronchi-associated lymphoid tissue)

## Submucosa

- contains fewer glands
- discontinuous layer of smooth muscle separates from lamina propria mucosae
- muscle becomes more prominent in smaller size bronchi

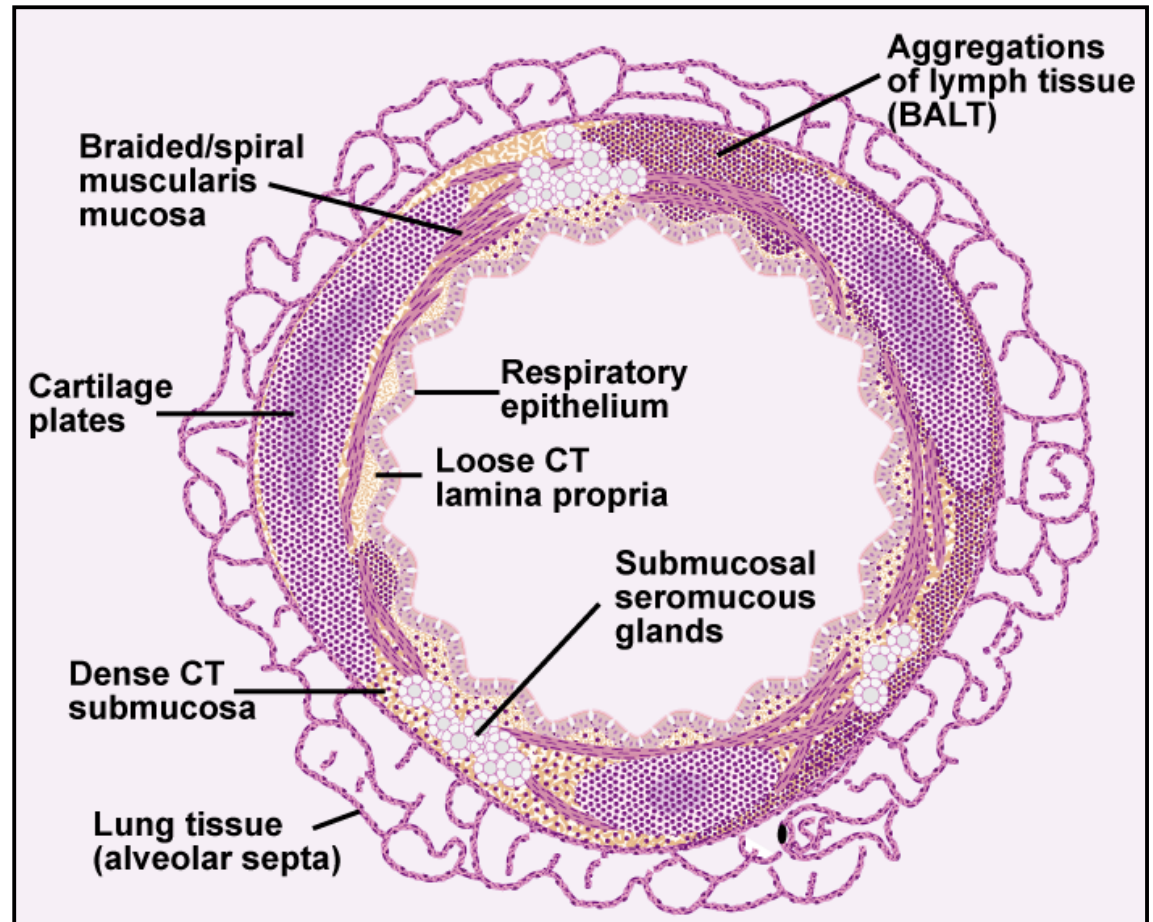
## Fibrocartilaginous layer

- cartilaginous plates

## Diameter of bronchi

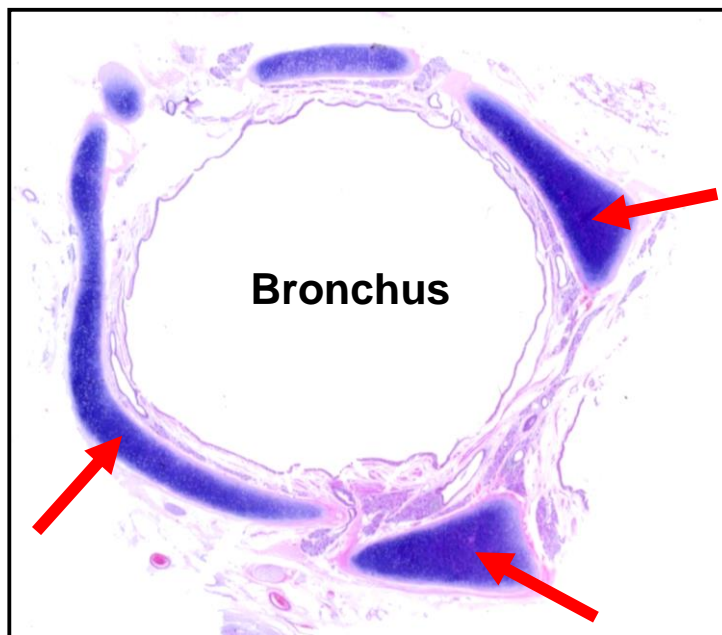
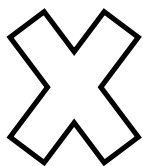
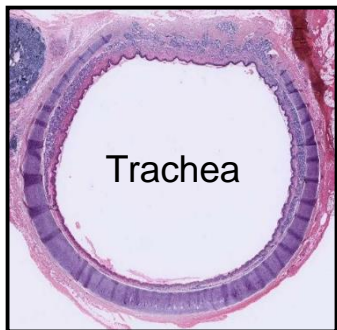
- cartilage
- glands
- goblet cells
- height of epithelium

- elastic fibres
- smooth muscle

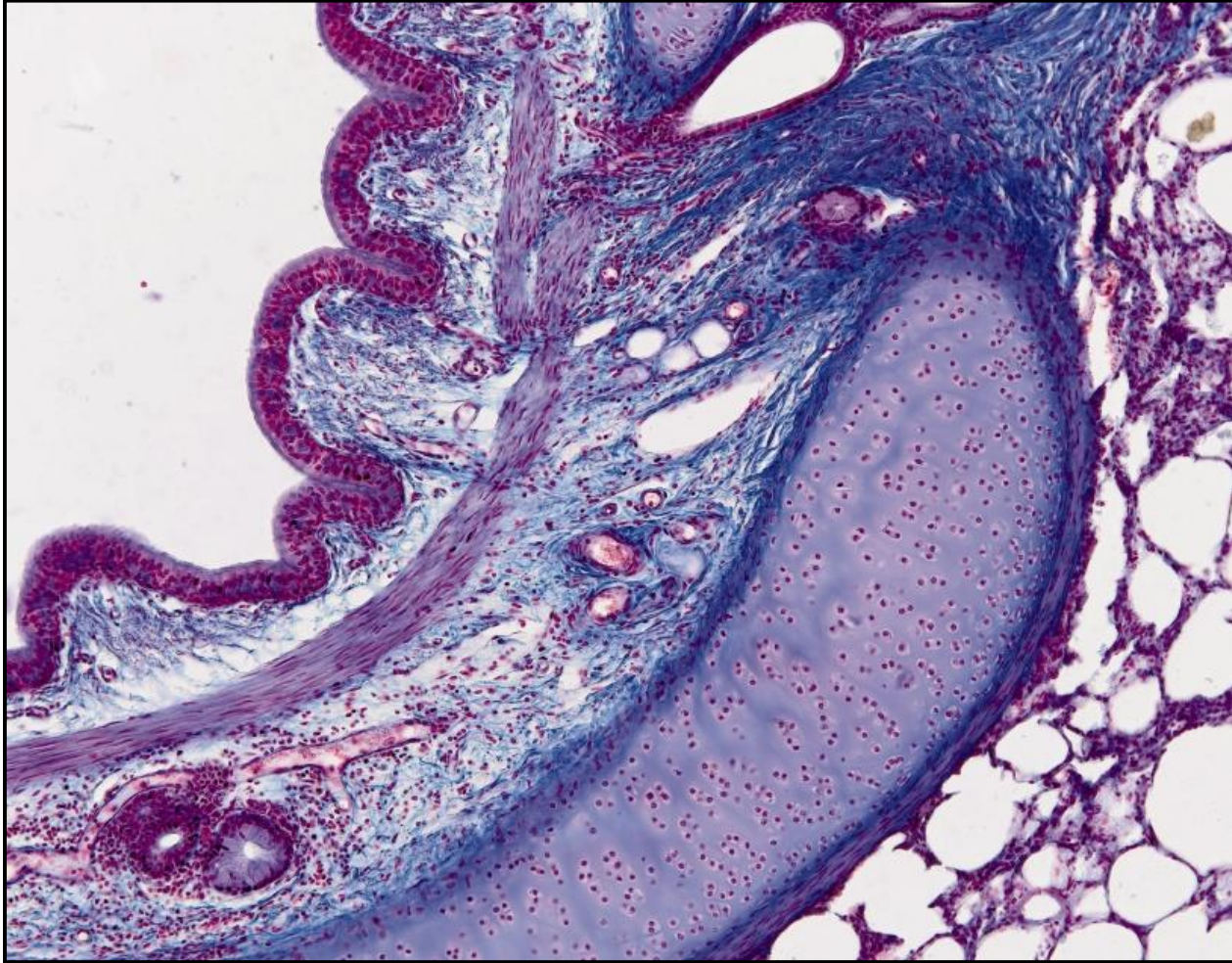




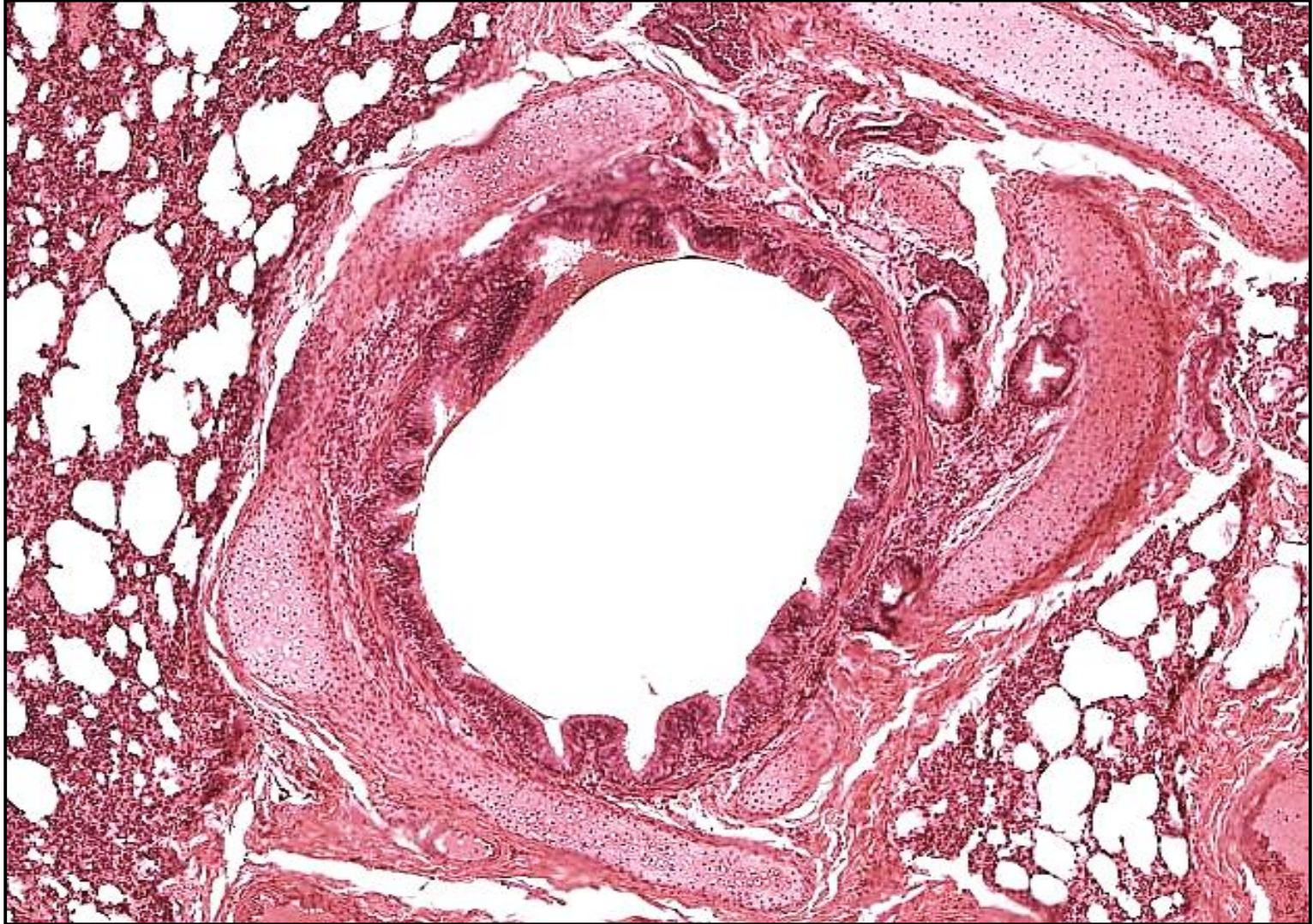
## Bronchus – Chrupavčité ploténky



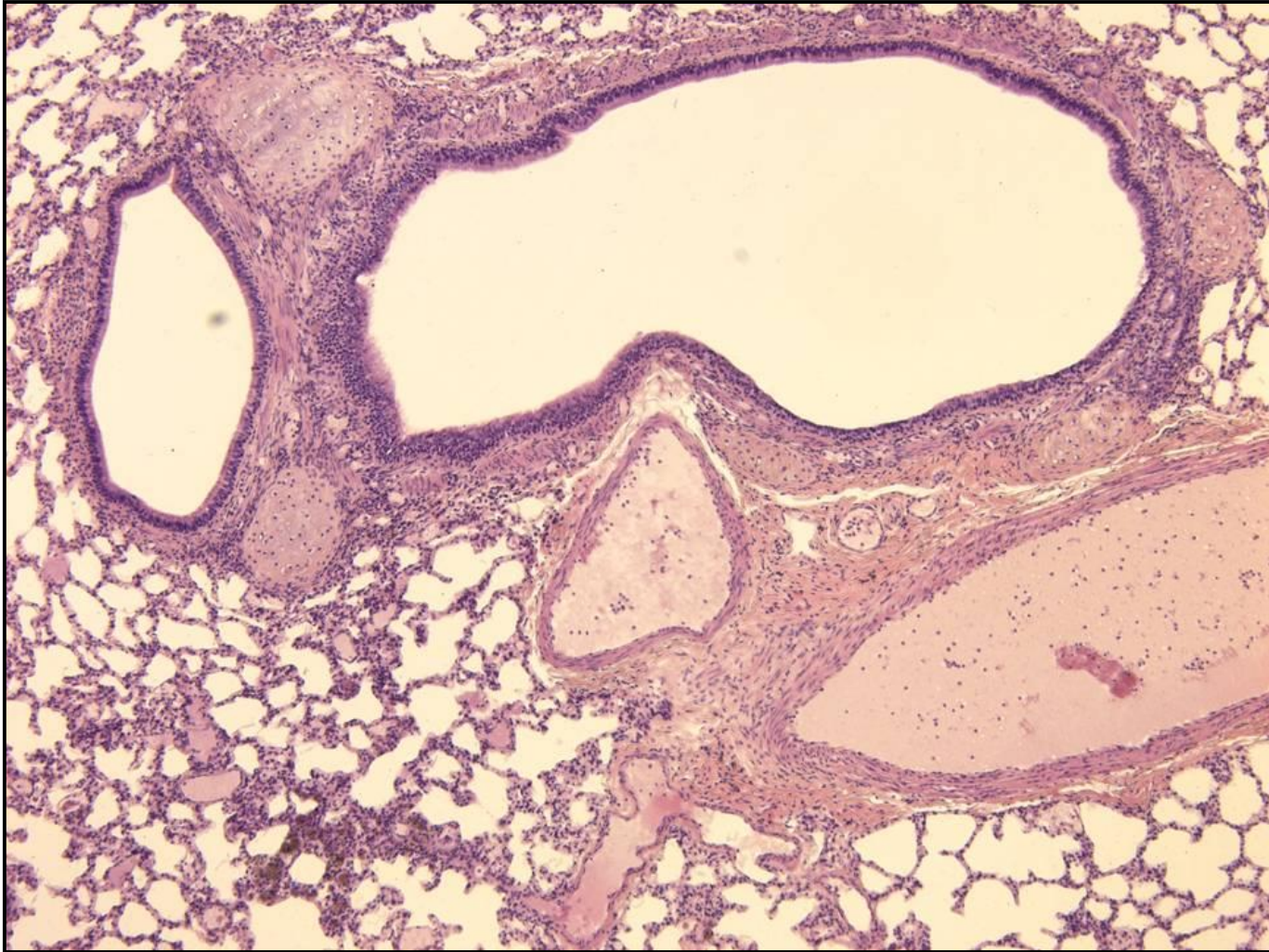
## Bronchus - Intrapulmonární



## Bronchus - Intrapulmonární



## Bronchus - Intrapulmonární



# Bronchioly - Primární + Terminální – Obecné vlastnosti

## Stěna

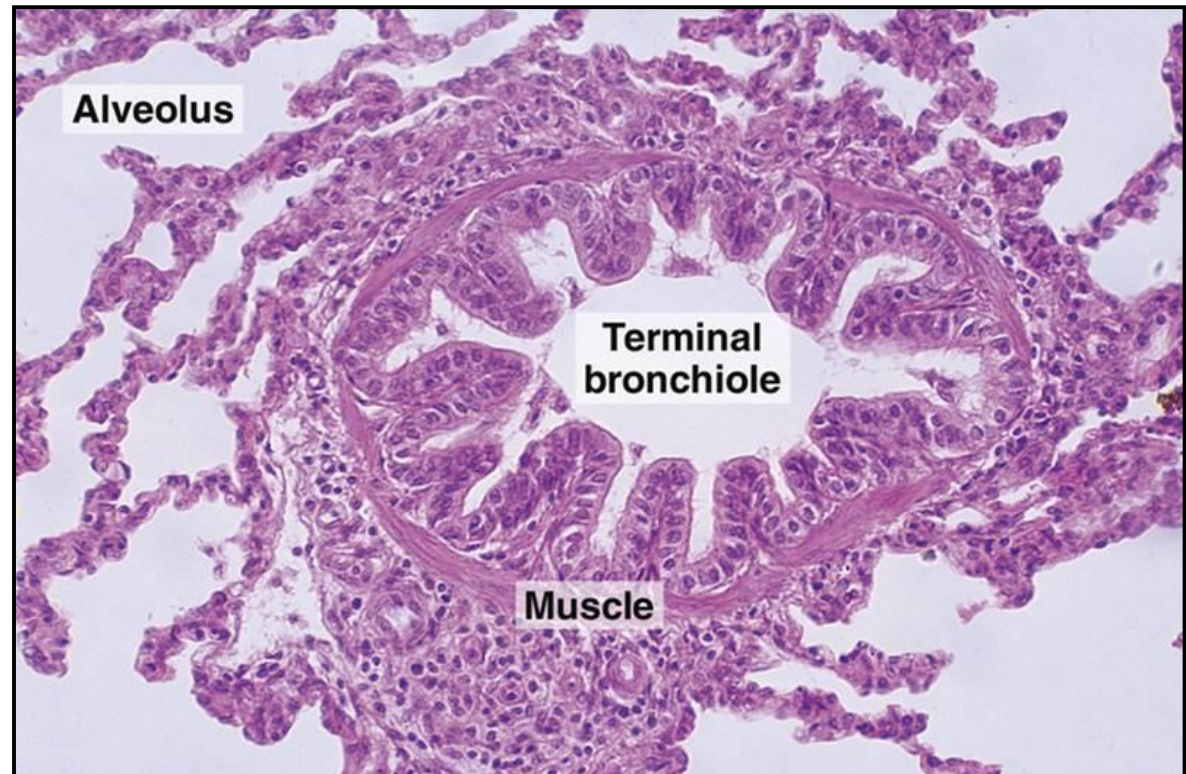
- mucosa + muscle layer (bundles) + elastic and collagen fibers
- NO cartilage
- NO glands

## Epitelová výstelka

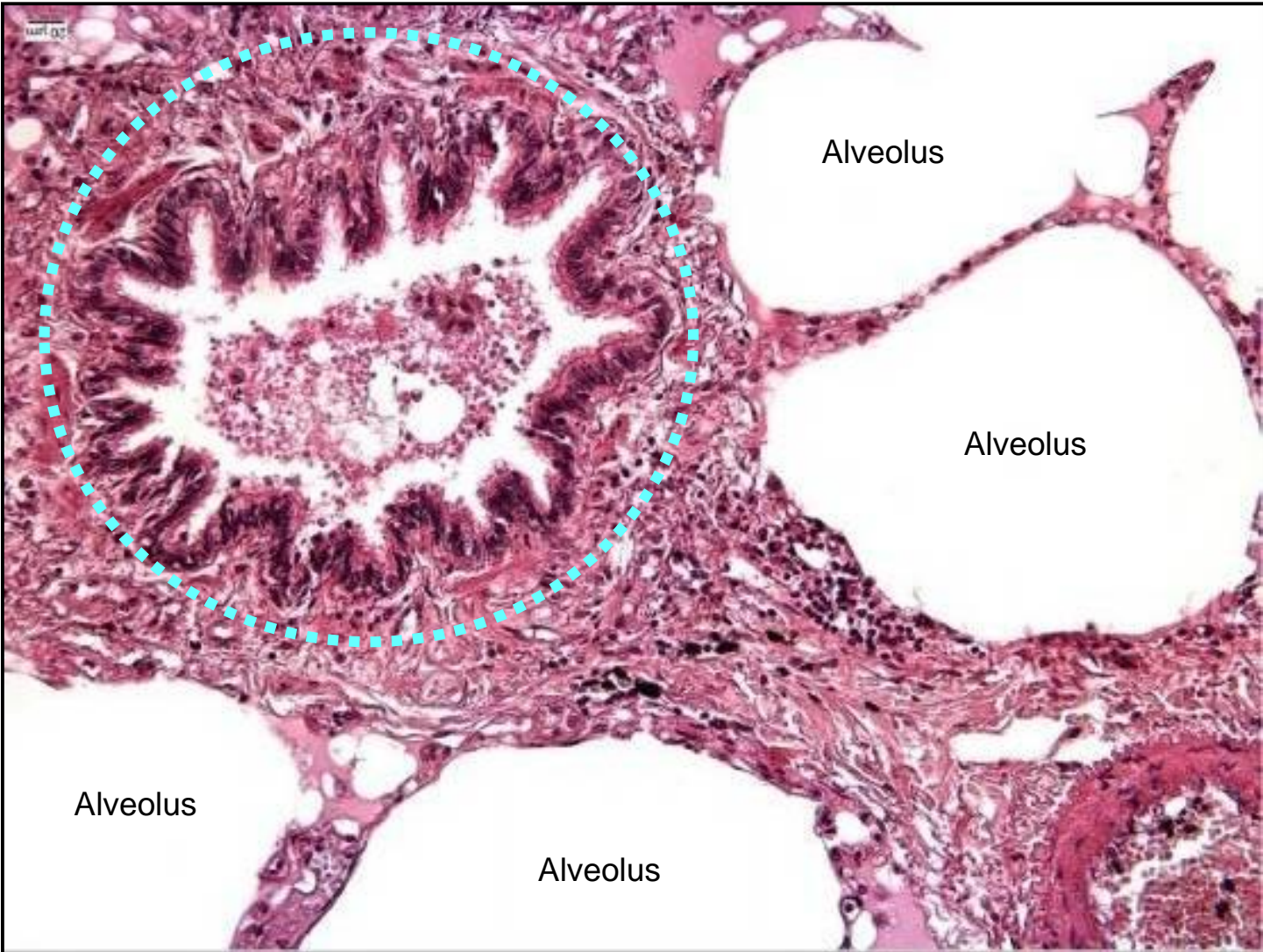
- jednoduchý cylindrický až kubický ep.
- many epithelial cells have cilia
- NO Goblet cells
- kyjovité buňky (dříve Clara buňky)

## Kyjovité buňky

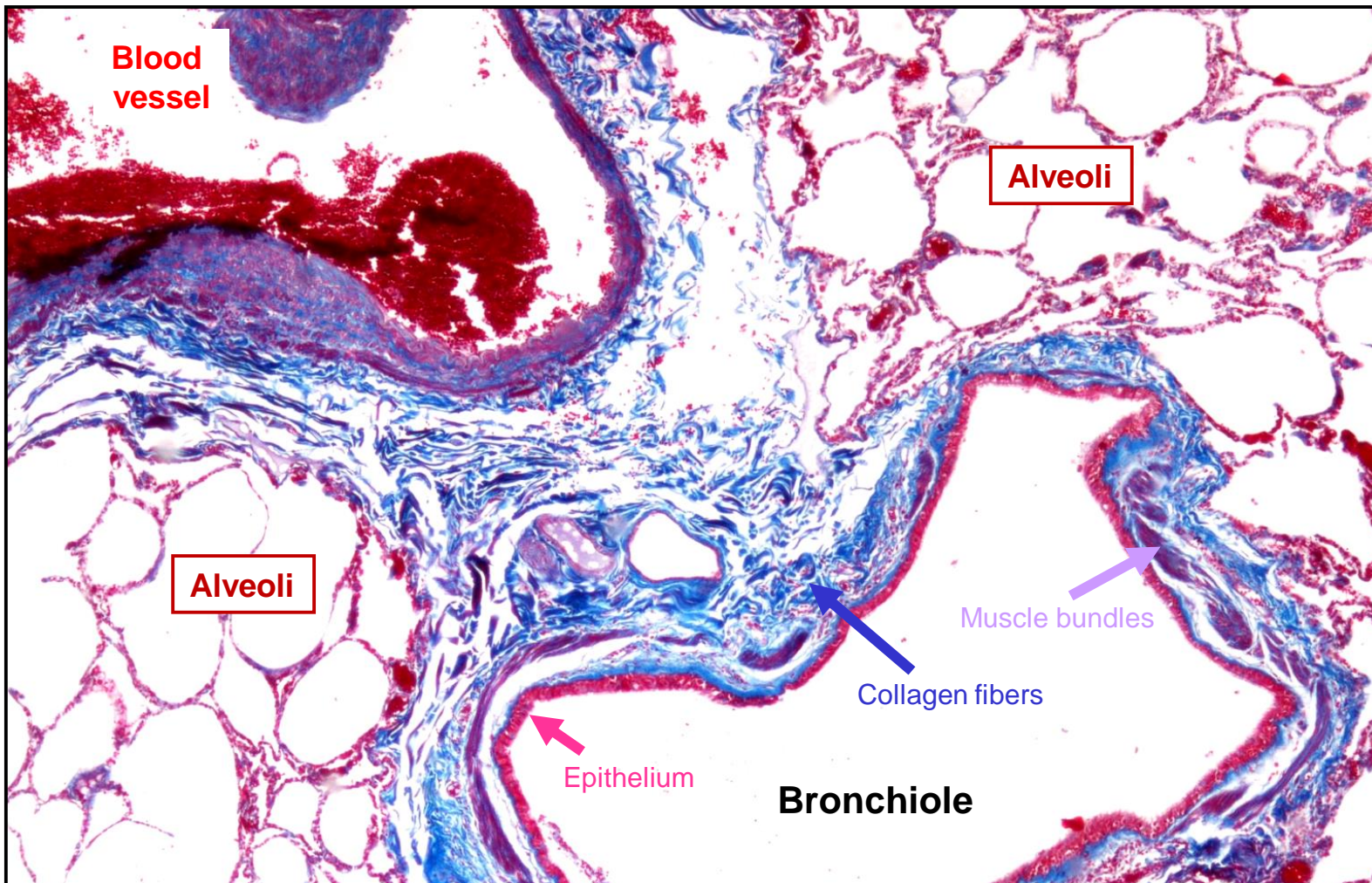
- tvar kupole
- apex with microvili
- secretions  
(antimicrobials, surfactant-like material)
- P450 enzyme (detoxification)
- stem cells to the area



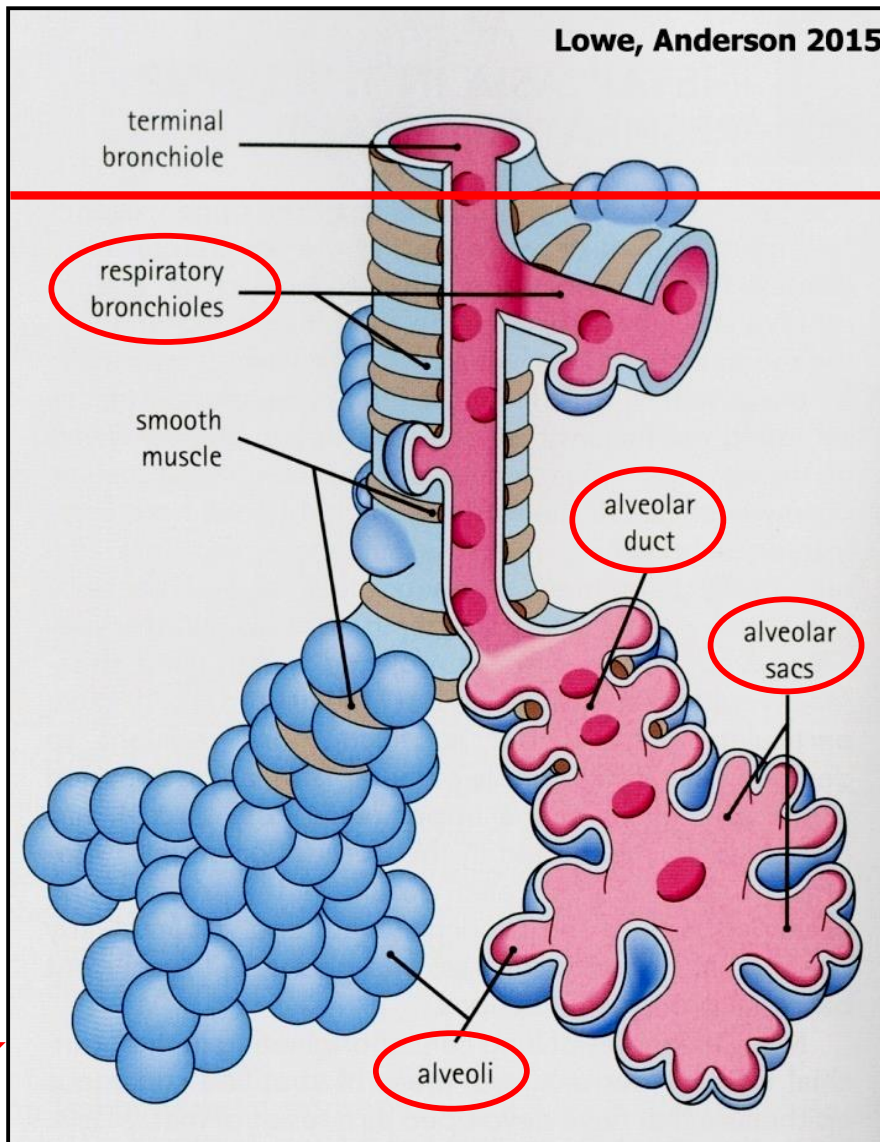
# Bronchiolus



# Bronchiolus



# Respirační oddíl



Terminal bronchiole

NO alveoli



Respiratory bronchiole

Outpocketing alveoli

REMINDER

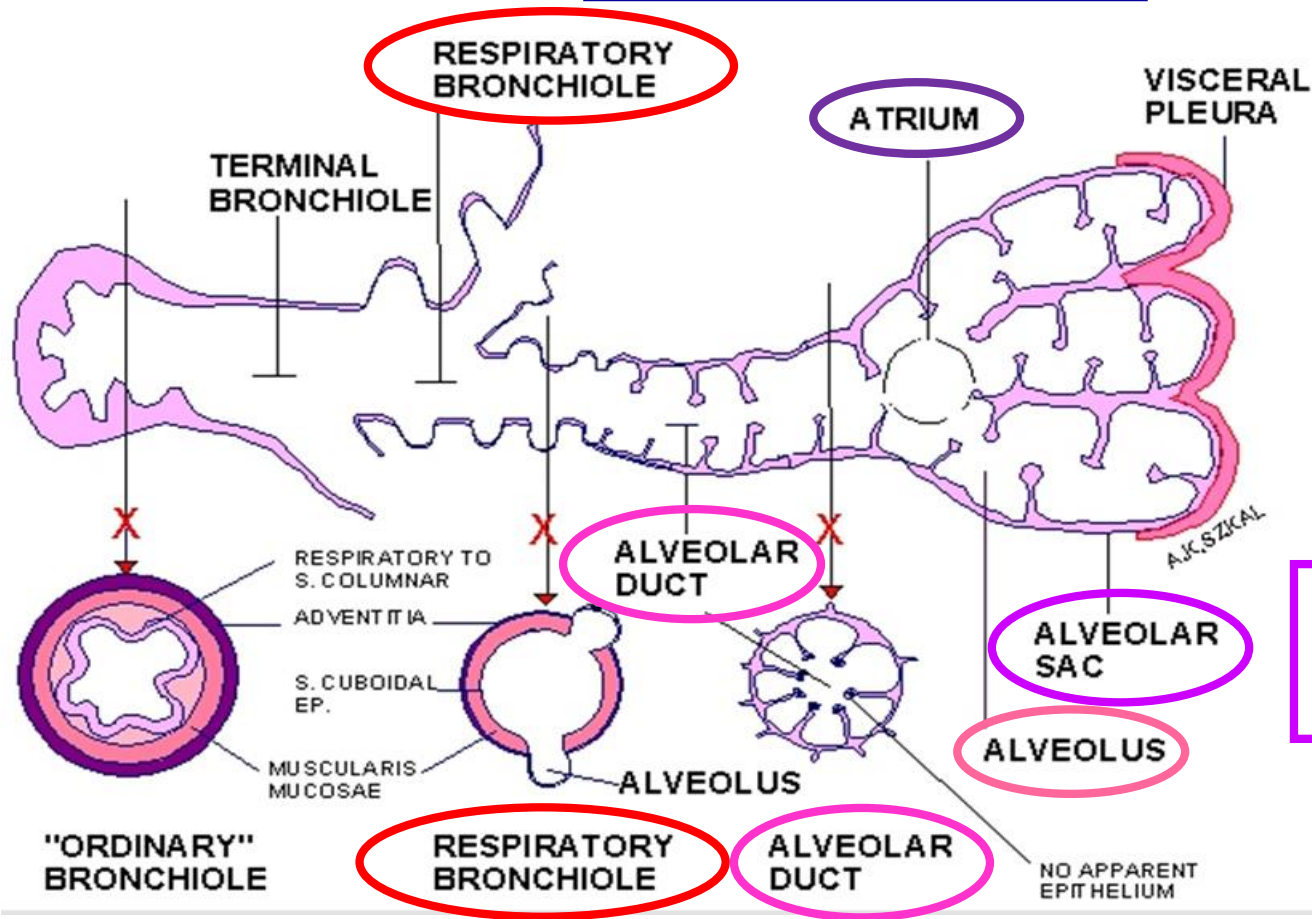
Pulmonary lobule

- defined by ONE primary bronchiole
- Include 5 to 7 Terminal bronchioles
- pyramidal shape
- surrounded by very thin fibrous capsule
- volume 1 – 2 cm<sup>3</sup>

Respiratory portion



# Respirační oddíl

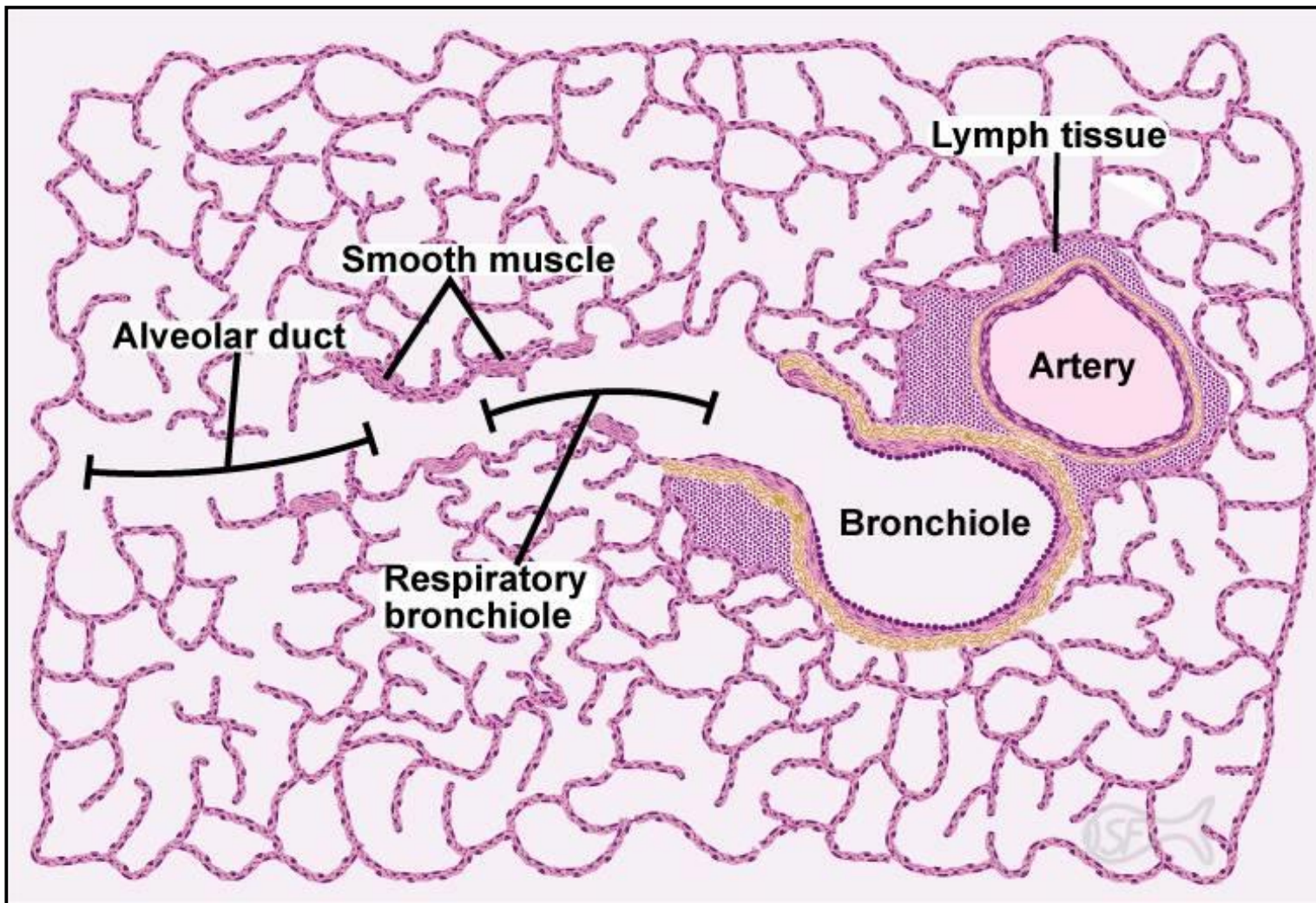


**Předsíň - Atrium**  
entry into alveolar sac

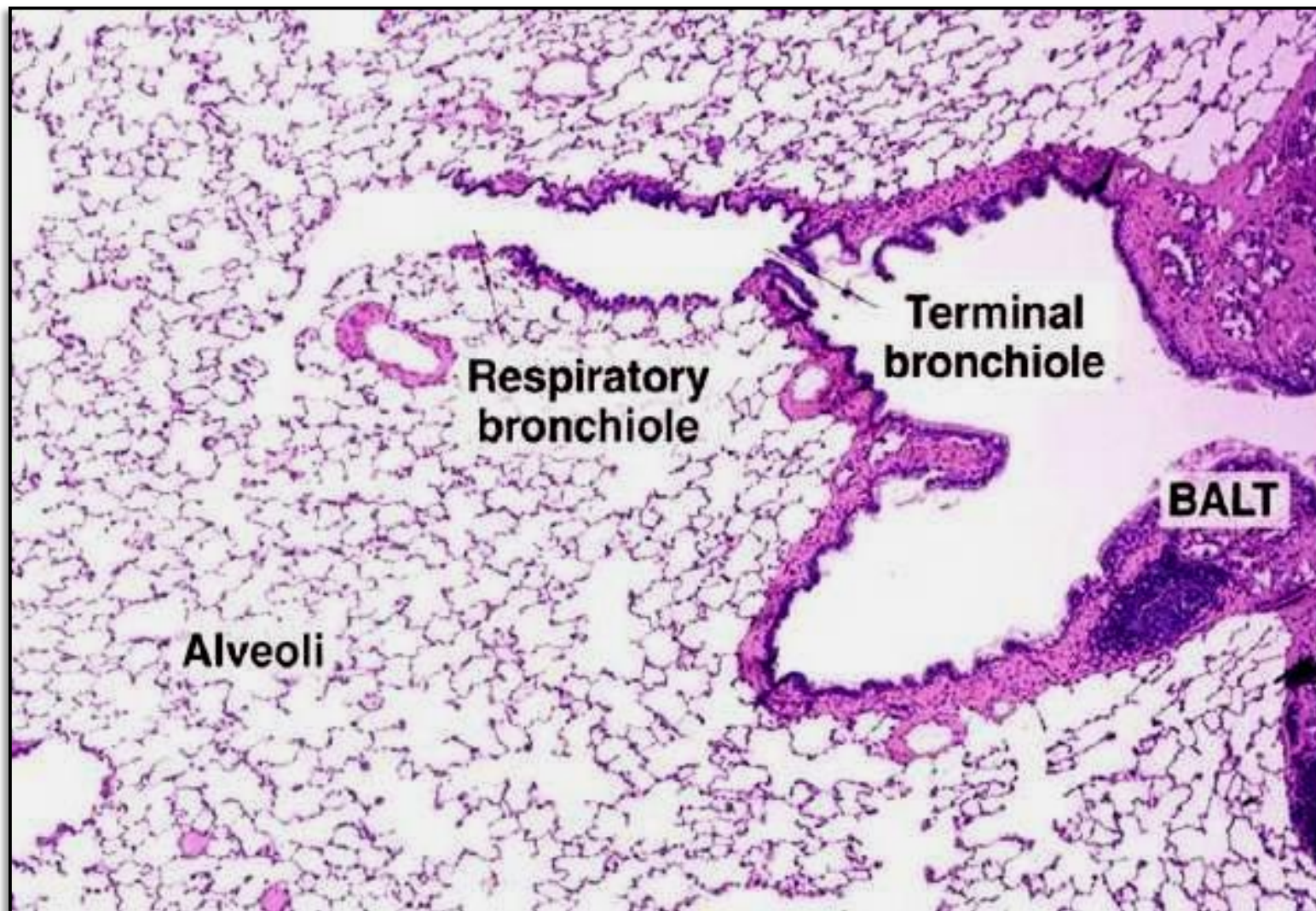
**Sacculi alveolares**  
group of alveoles opened  
into common atrium

- Ductus alveolares** - wall made by:
- groups of cuboidal cells
  - individual alveoli
  - elastic fibers
  - smooth muscle cells surrounding alveolar entries

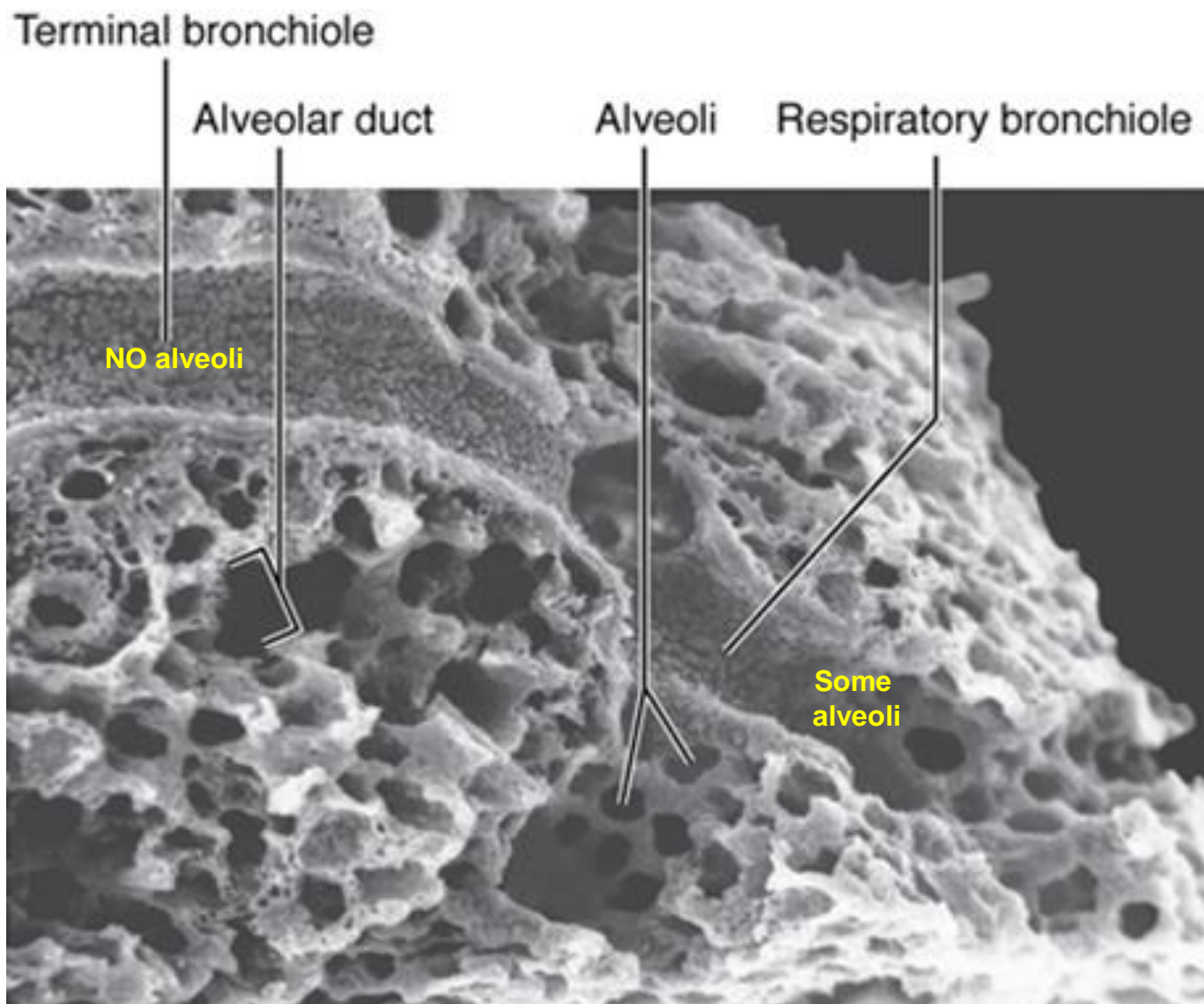
# Respirační oddíl



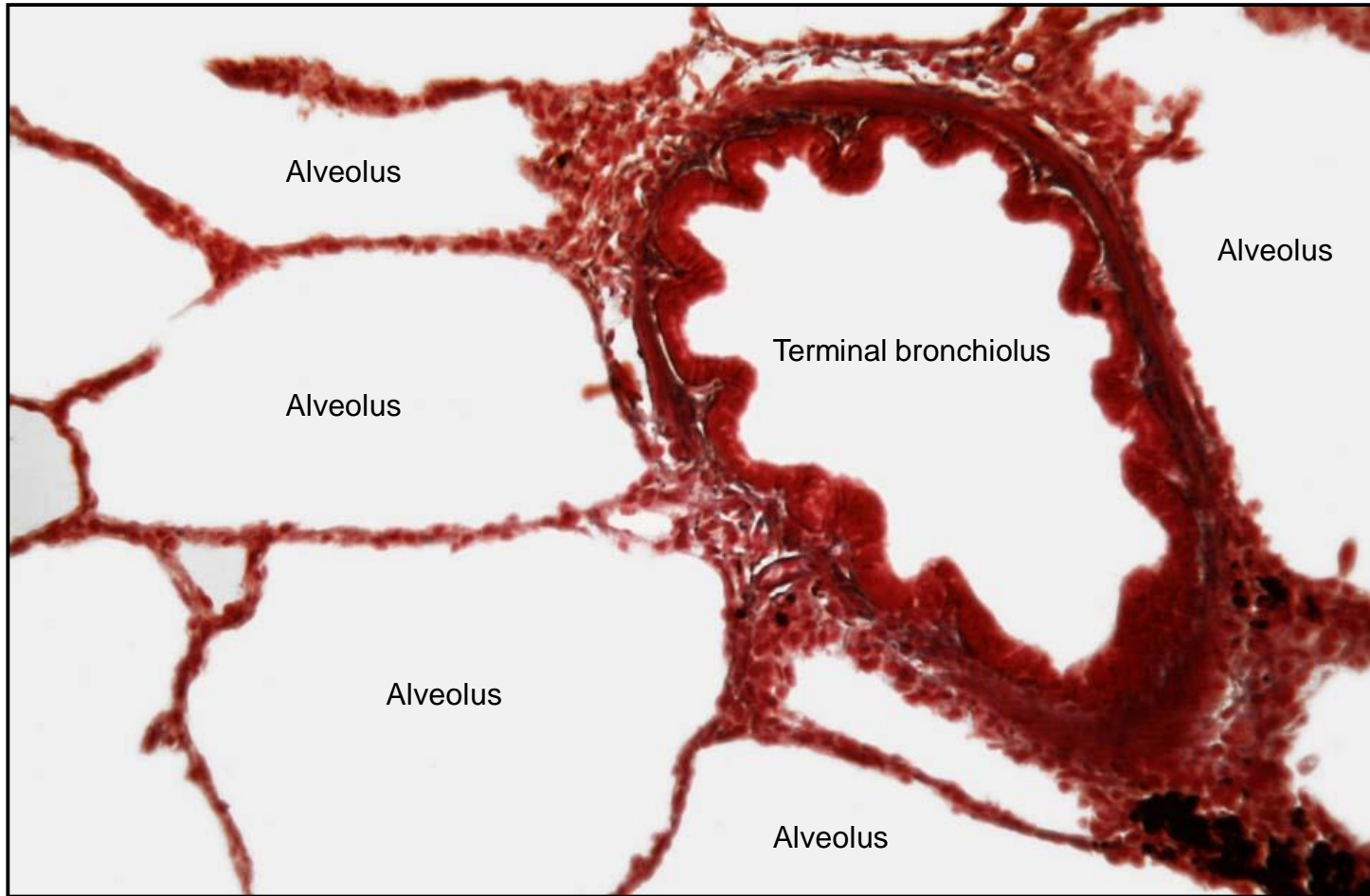
## Respirační oddíl



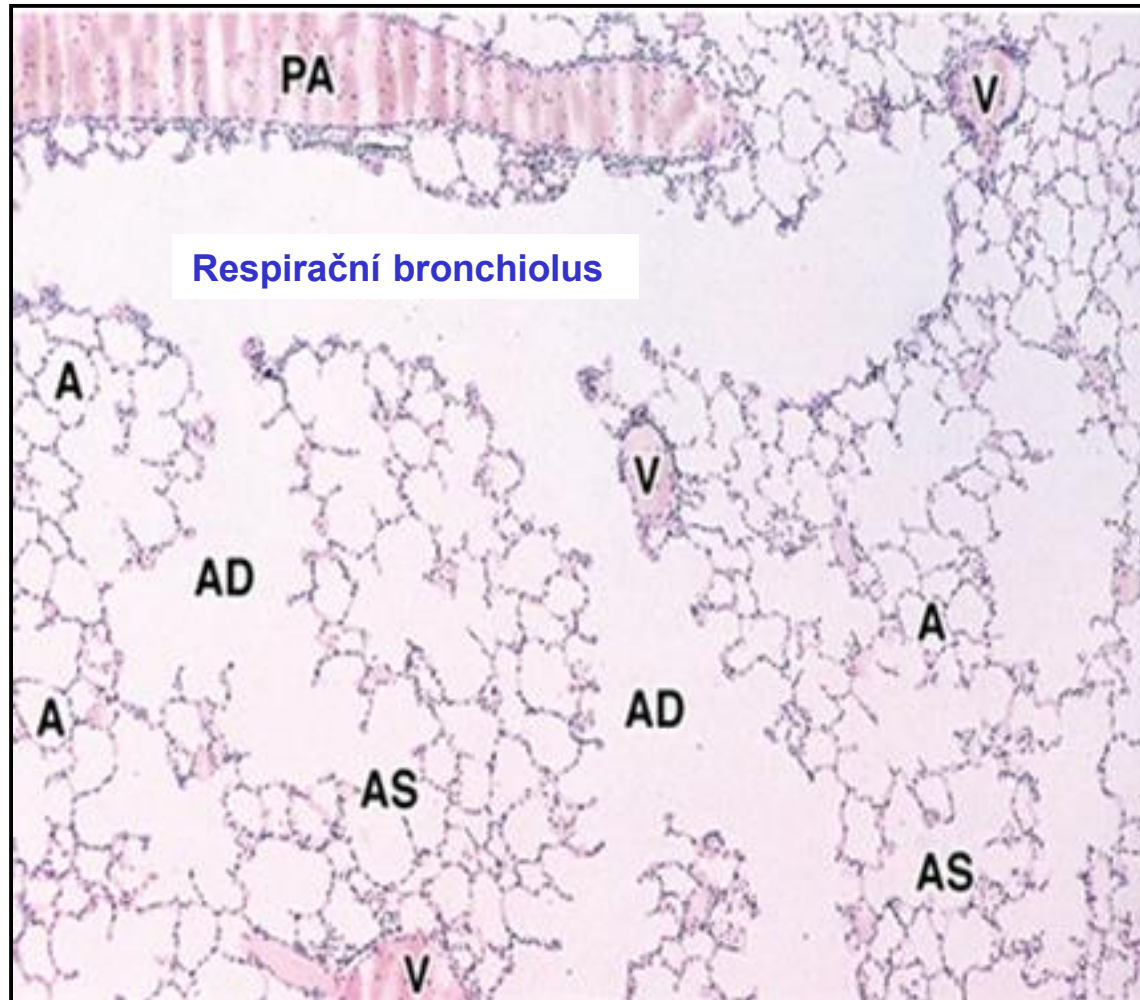
# Respirační oddíl



## Terminální bronchiolus – nevyklenují se z něj alveoly



## Respirační bronchiolus – vstupy do alveolů



**AD** - Alveolar duct

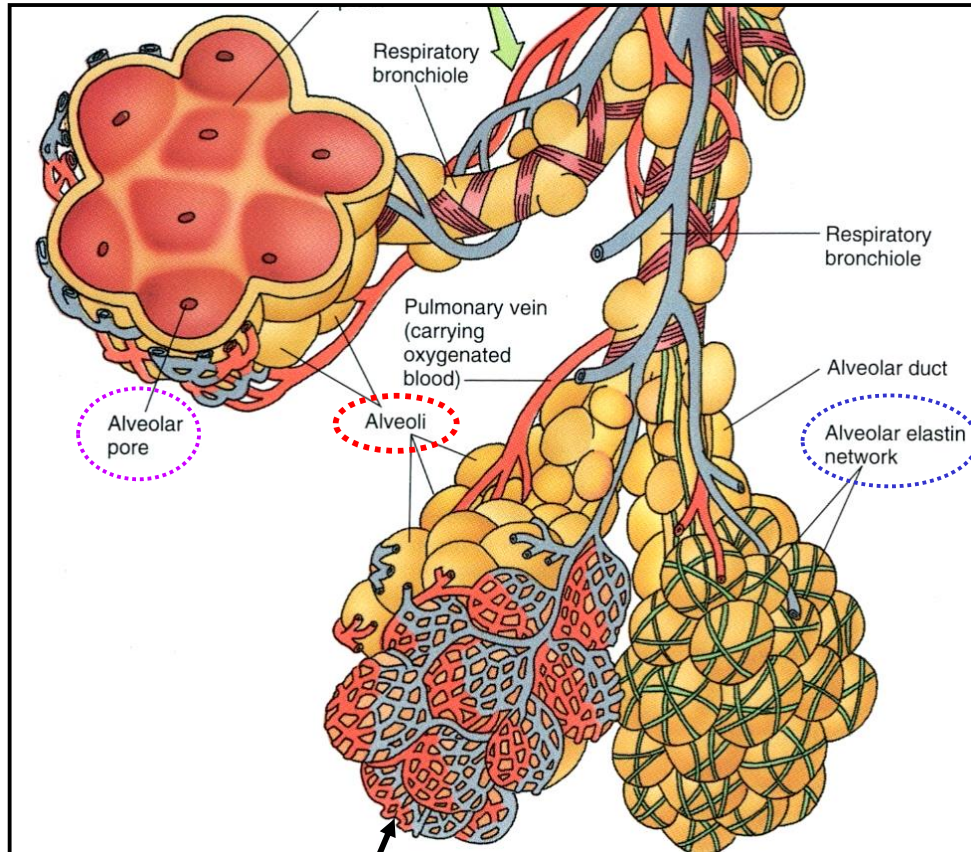
**AS** – Alveolar sac

**A** - Alveolus

**V** – Vein

**PA** – Perialveolar artery

# Alveoly



Continuous capillaries

## Place of gas exchange

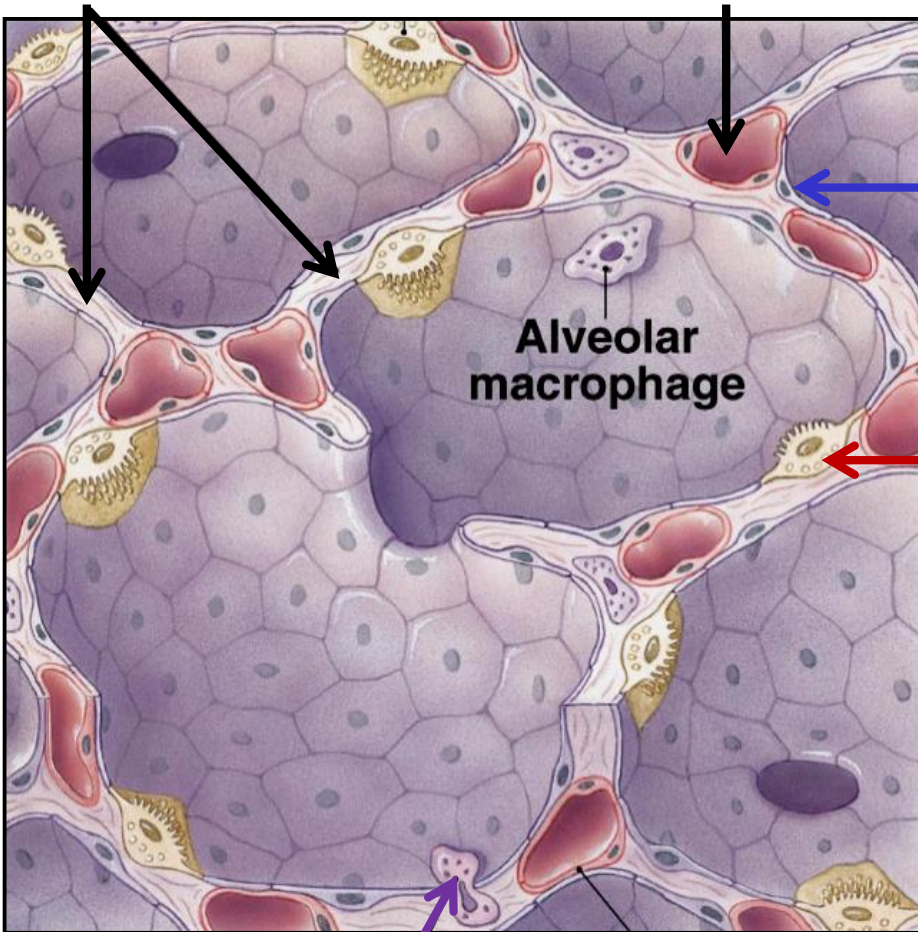
### Features

- diameter approx. 200  $\mu\text{m}$
- total number approx. 300 millions
- total surface about 100 – 140  $\text{m}^2$
- interalveolar septa (elastin + type III collagen)
- alveolar pores (Kohn's; 8 – 60  $\mu\text{m}$  diameter)

# Alveoly

Elastic fibers

Capillary



Alveolar macrophage

## Pneumocytu typu I (membranózní)

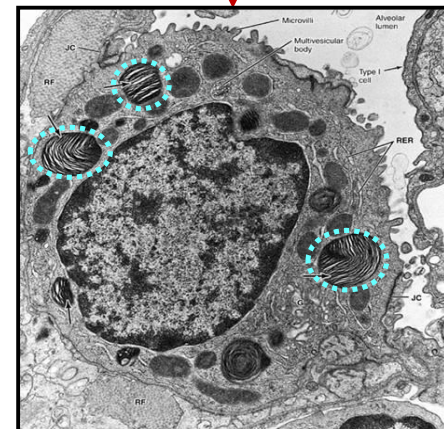
- very flat – about 80 nm thickness
- occluding junctions
- about 95% of alveolar surface

## Pneumocytu typu II (granulární)

- cuboidal (10  $\mu\text{m}$ )
- more numerous than type I pneumocytes
- lamellar bodies – surfactants SP-A, -B, -C, -D
- stem cells to alveolar lining (type I and II pneu.)

## Alveolární makrofág – „prašná buňka“

- migratory
- some migrate up to pharynx and get swallowed/expectorated
- some migrate via lymph vessels



RDS (syndrom respirační tísně)  
lack of surfactants - collapse of alveoli



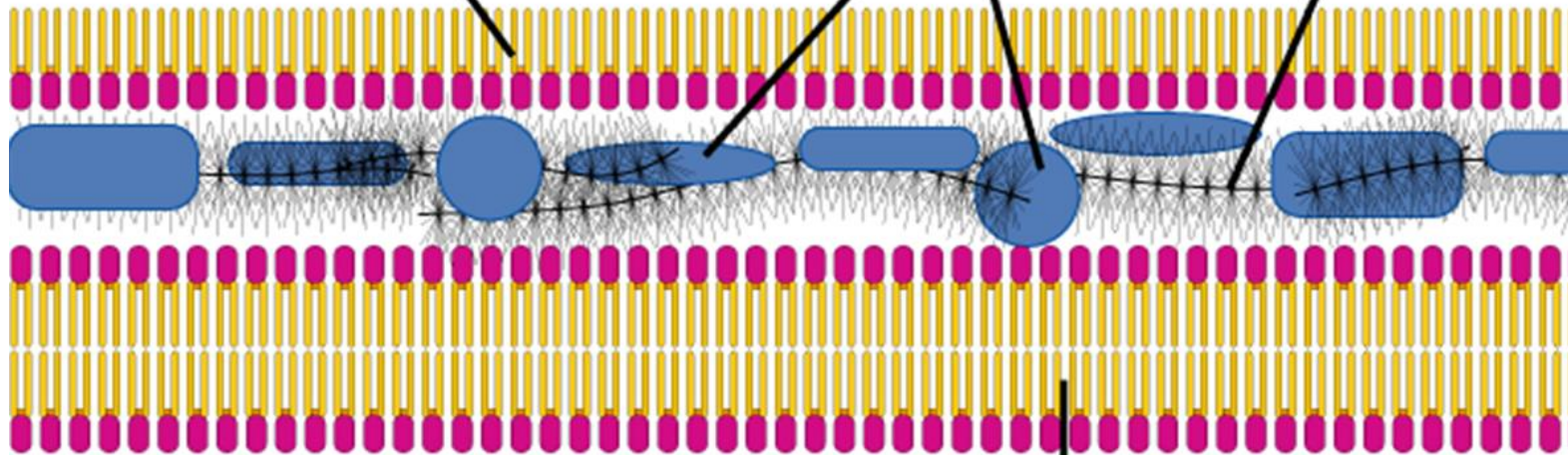
# Alveoly - Surfaktant

Lumen of alveolus

Phospholipid monolayer  
with hydrophobic tails  
facing air

Surfactant proteins

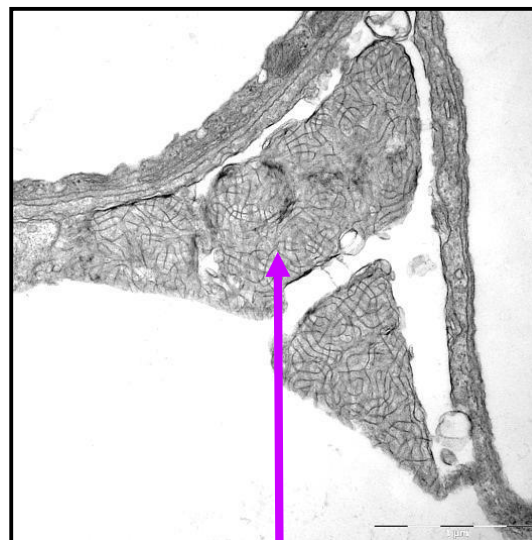
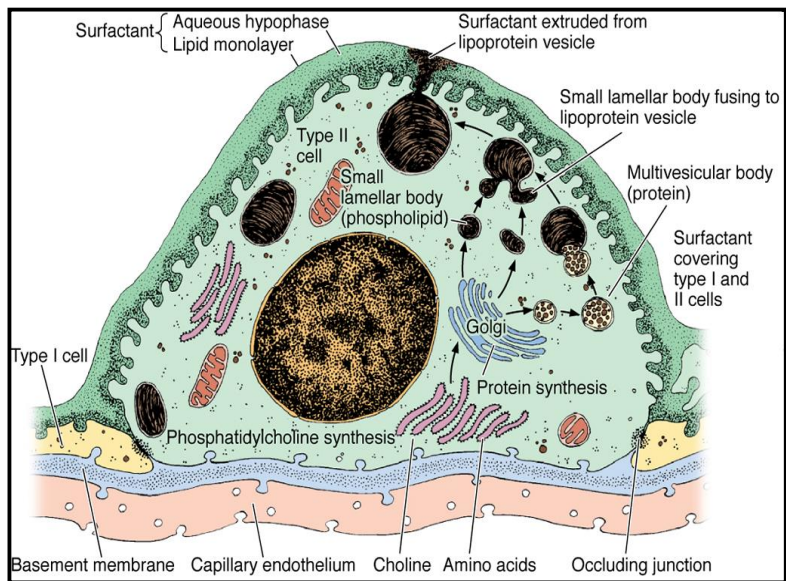
GAGS trap  
water



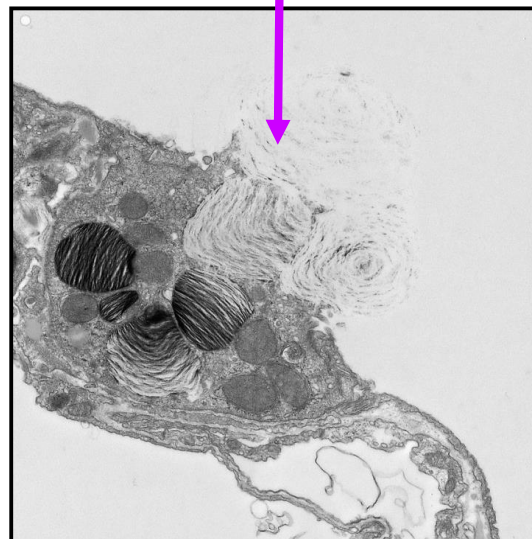
Membrane

Cytoplasm of type I pneumocyte

# Alveoly - Surfaktant



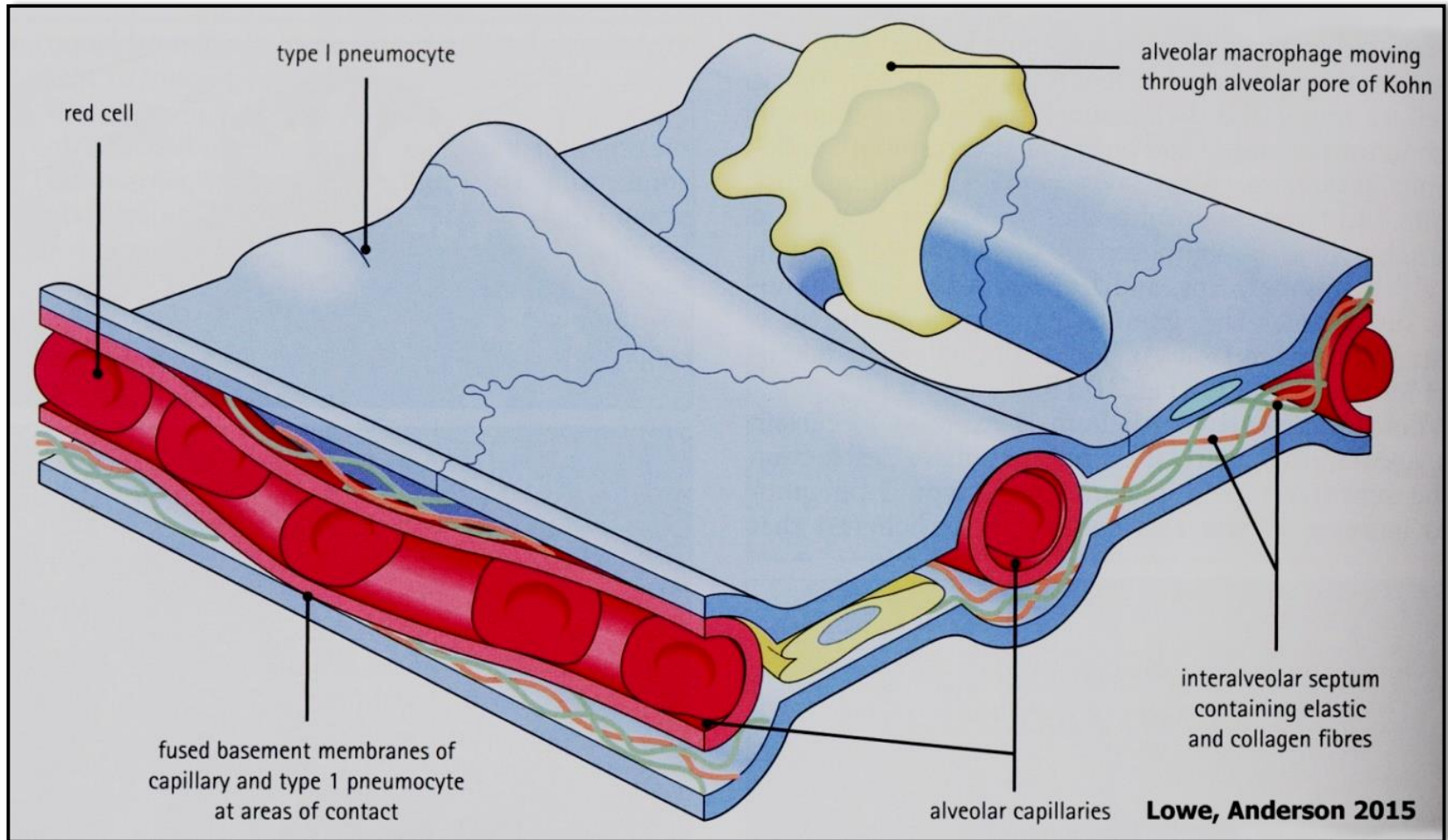
Surfaktant



## Alveoly – Makrofág



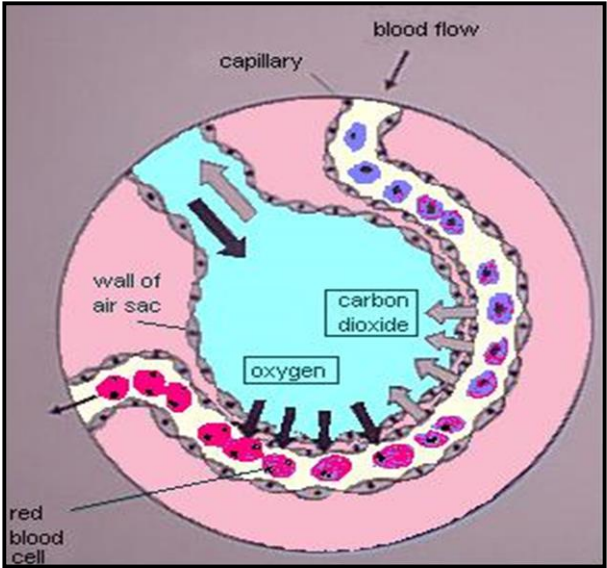
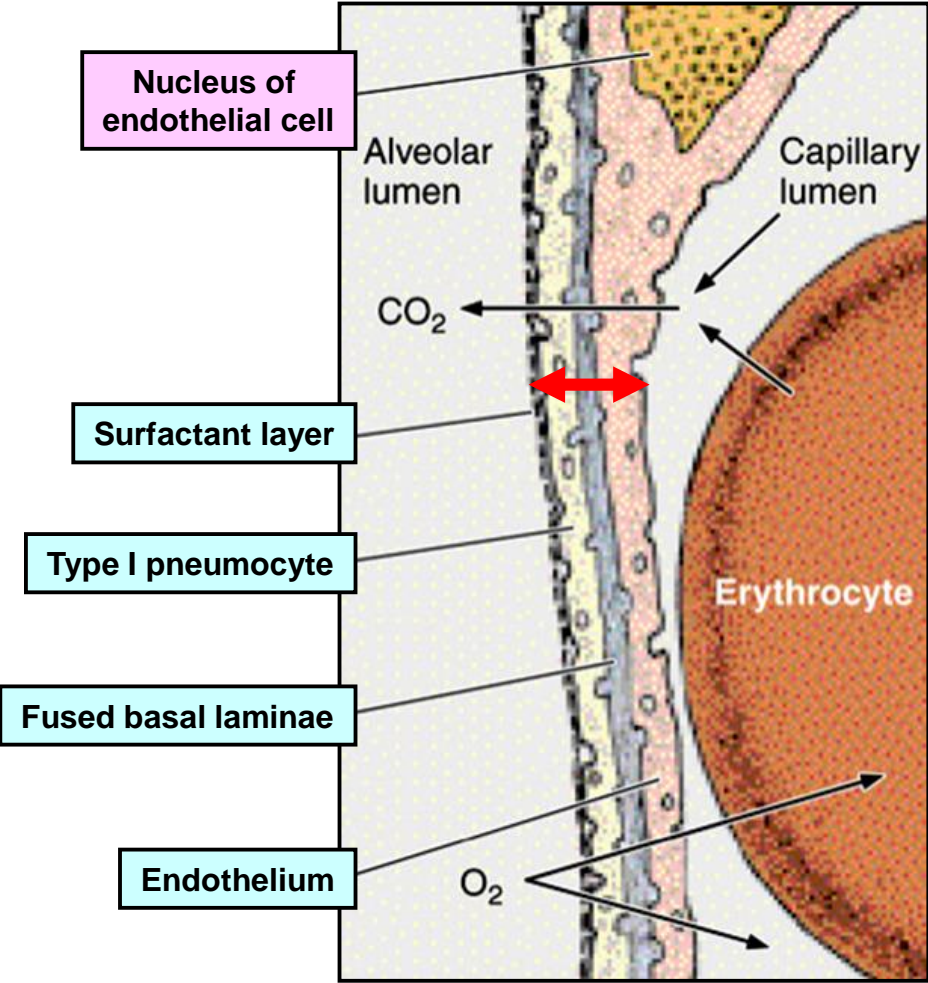
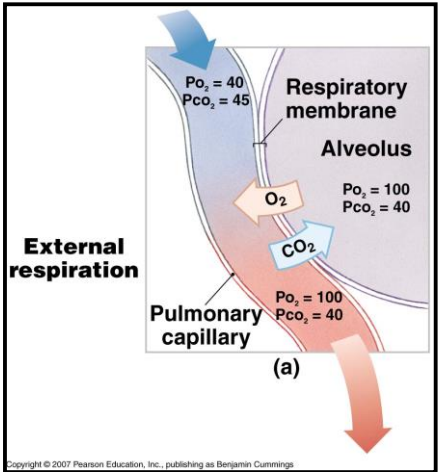
# Alveoly – Interalveolární septum



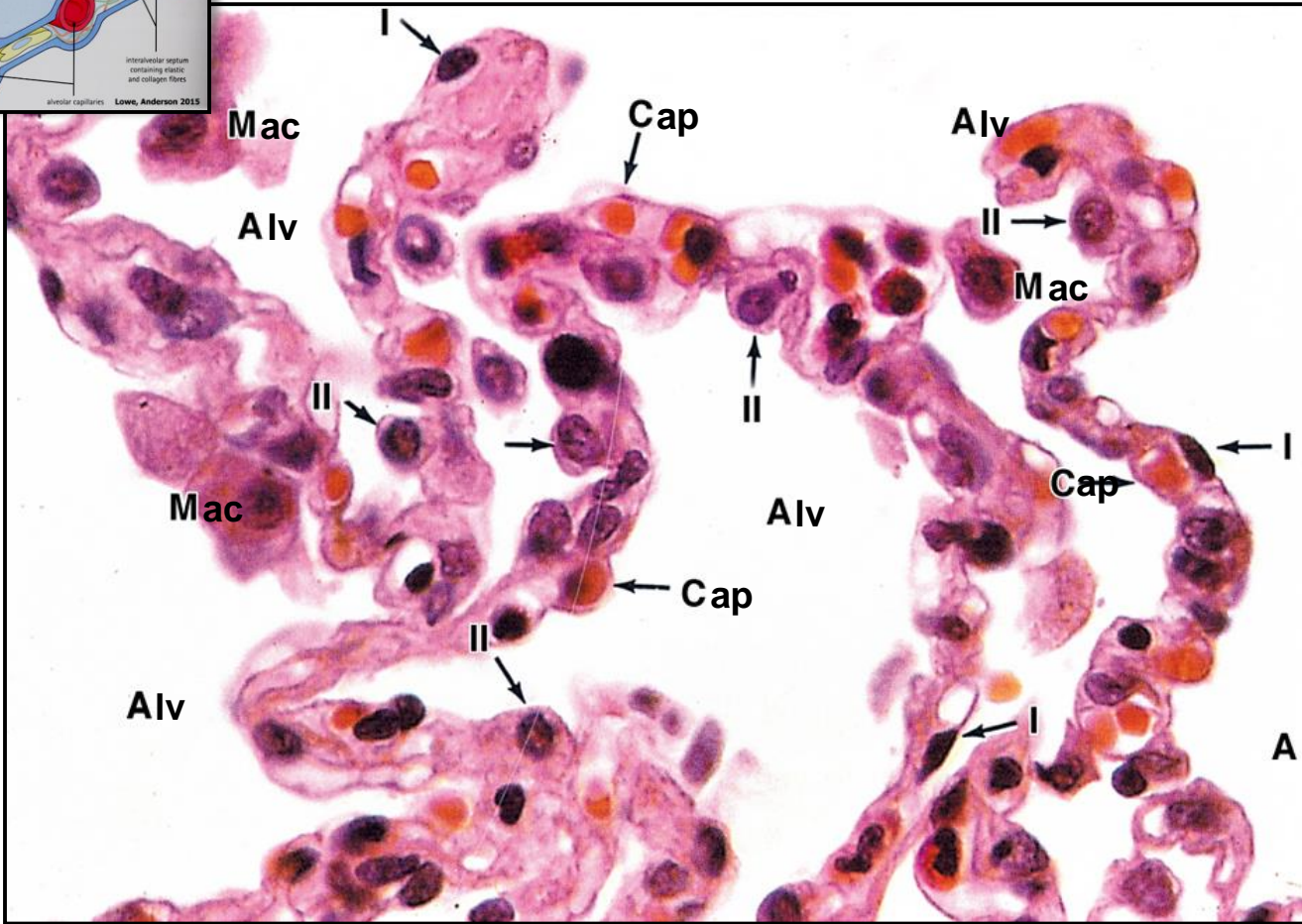
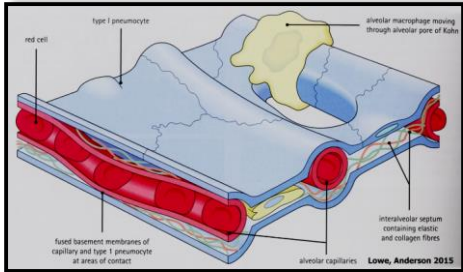
# Alveoly – bariéra krev-vzduch

Thickness: 0,1 – 1,5  $\mu\text{m}$

Exchange of gasses: passively by diffusion based on gradient



# Alveoly – bariéra krev-vzduch



I - Type I pneumocyte

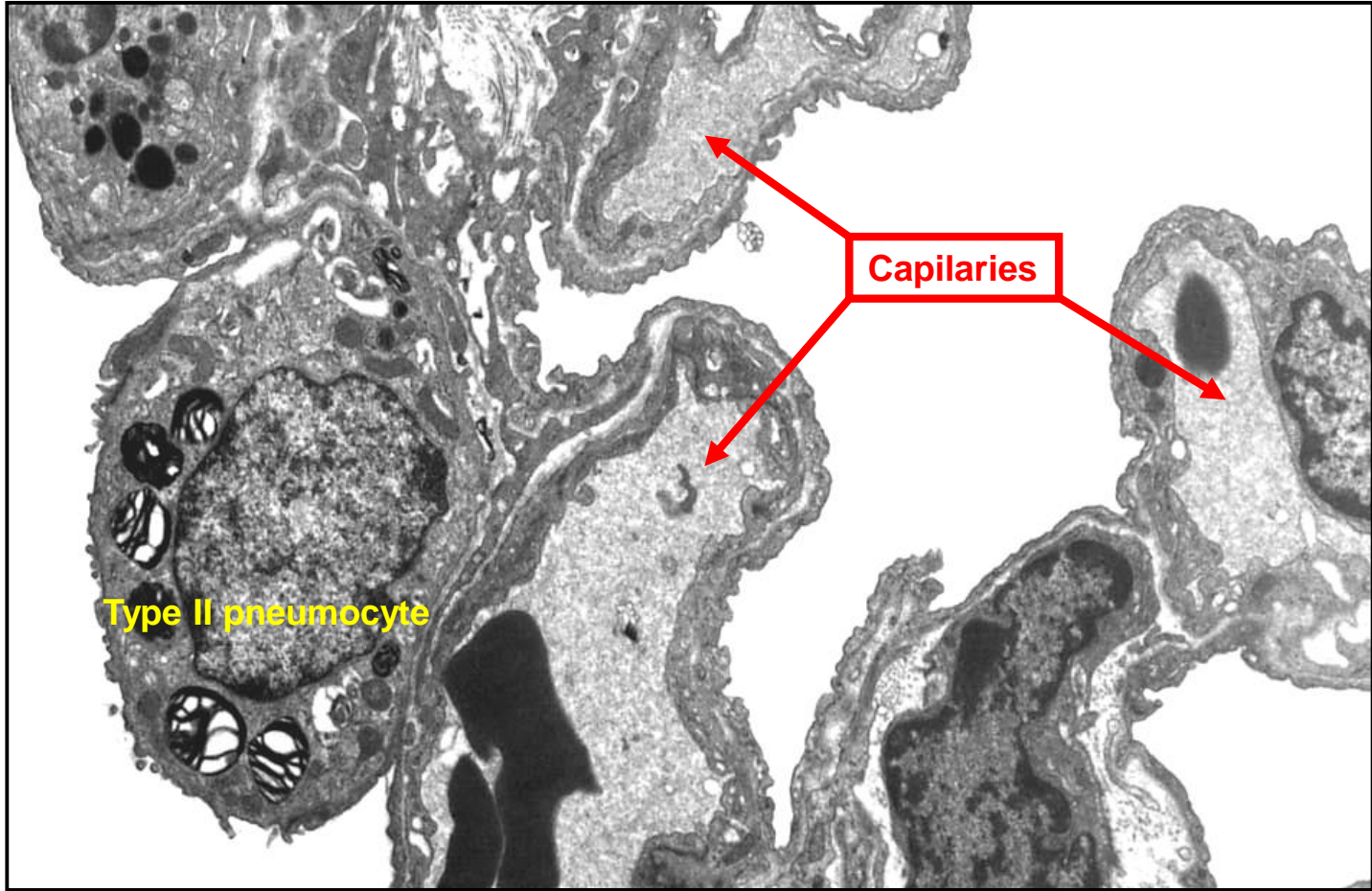
II - Type II pneumocyte

Alv - Alveolus

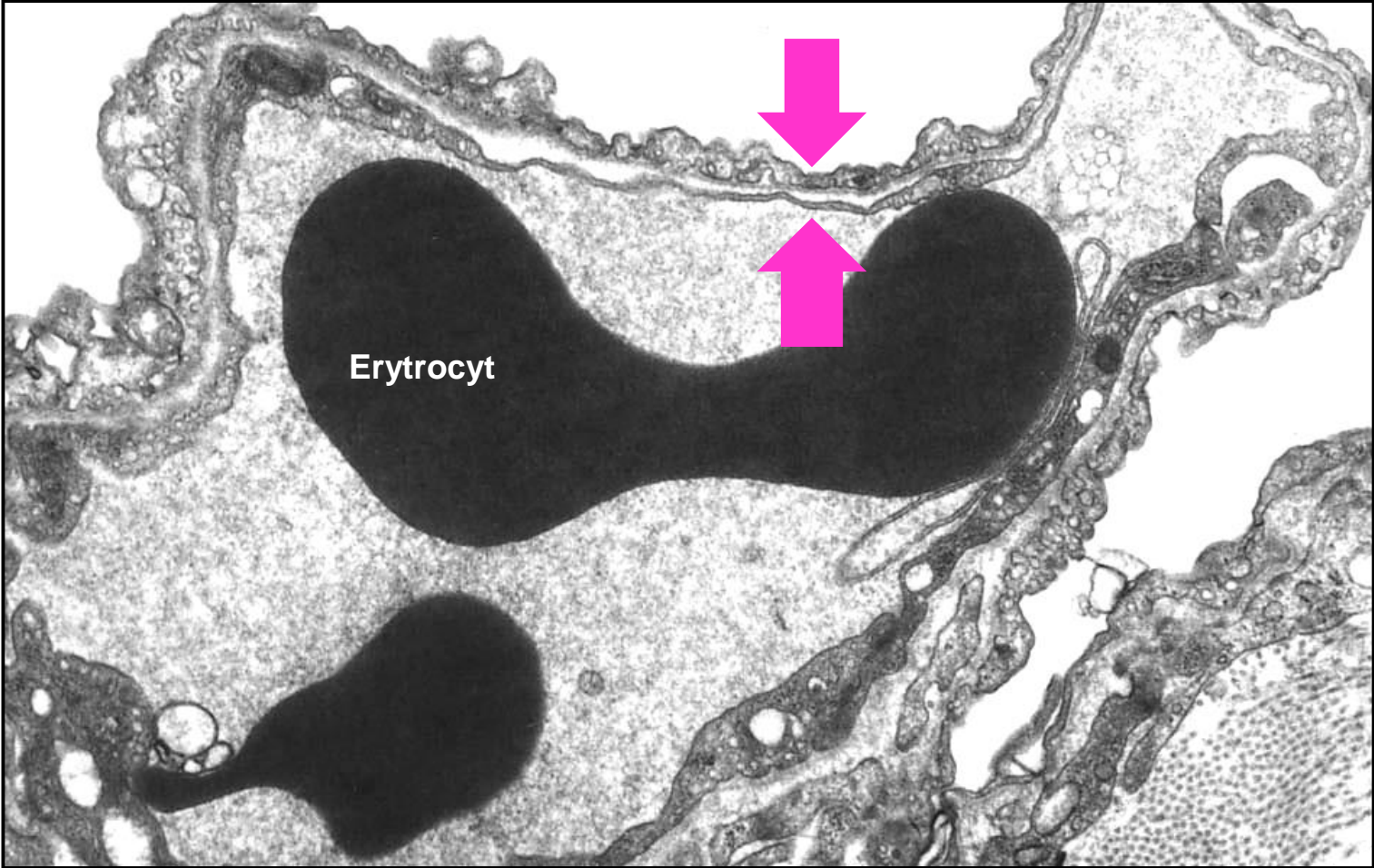
Cap - Capillary

Mac - Macrophage

# Alveoly – bariéra krev-vzduch



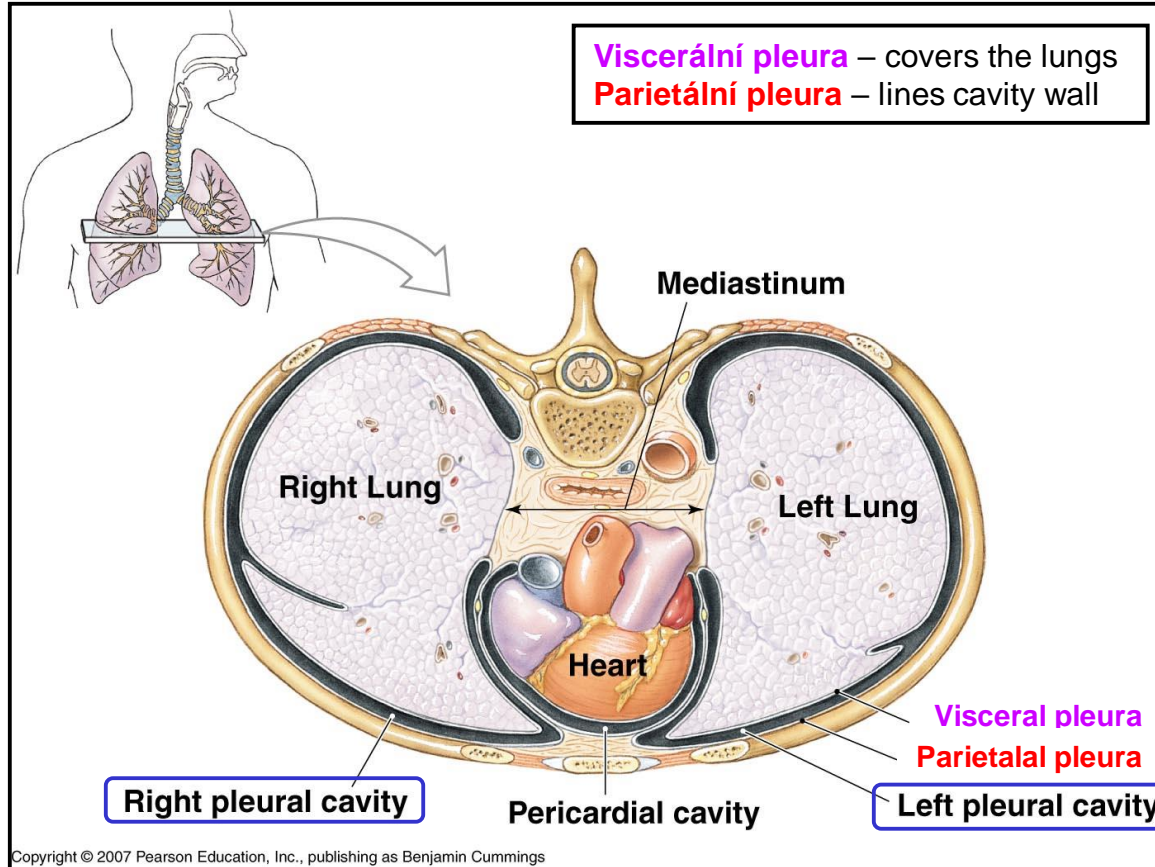
# Alveoly – bariéra krev-vzduch





# Pleura

Sheet that lines pleural cavities (left and right)



# Pleura



← **Mezotel** (jednovrstvý dlaždicový ep.)

↑  
↓ **Tená vrstva vaziva** (cca 1 mm)

# Krevní zásobení

Plicní oběh  
„funkční“



Bronchiální oběh  
„nutritivní“

Pulmonární tepny

Bronchiální tepny



Kapiláry

Pulmonární žíly

Terciární bronchus

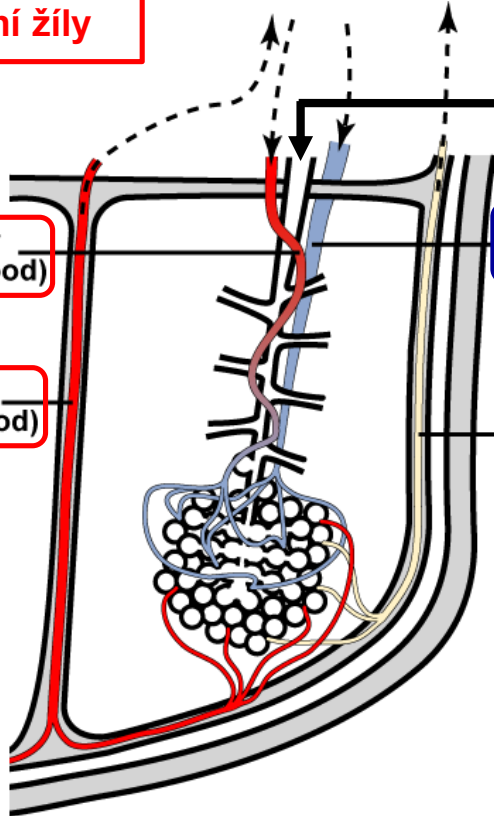
Bronchial artery  
(oxygenated blood)

Pulmonary artery  
(deoxygenated blood)

Pulmonary vein  
(oxygenated blood)

Lymphatic vessel

Bronchopulmonární segment



# Vývoj plic

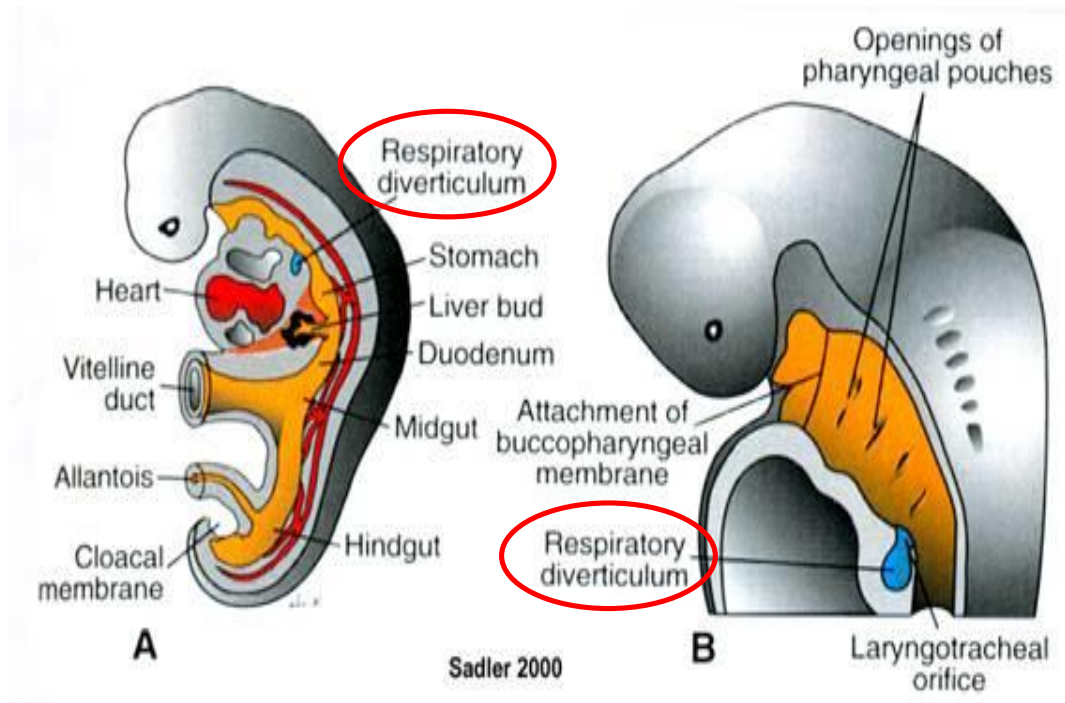
## Entoderm

- epitel
- žlázy



## Mezenchym

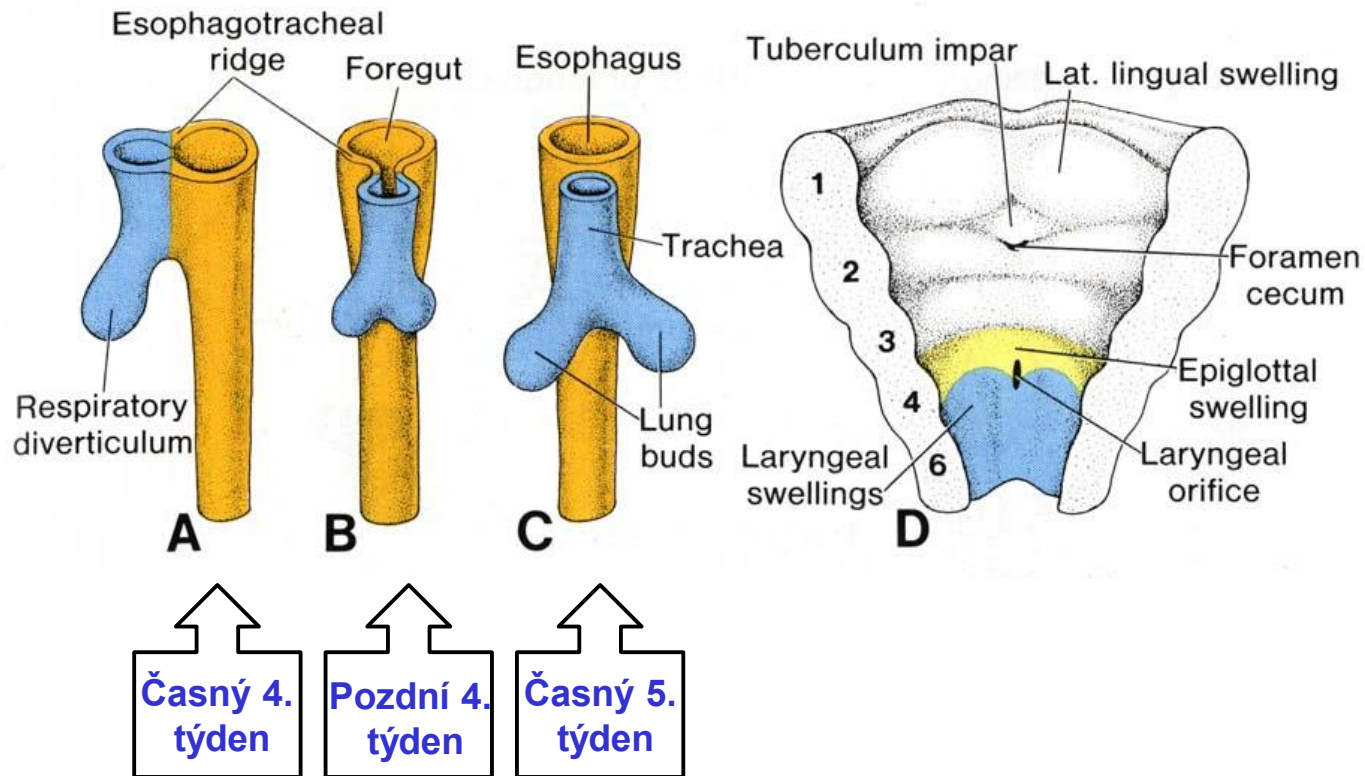
- pojivová tkáň
- chrupavka
- svalovina



Early week 4: **Laryngotracheální výchlípka předního střeva** (ventrální strana)

# Vývoj plic

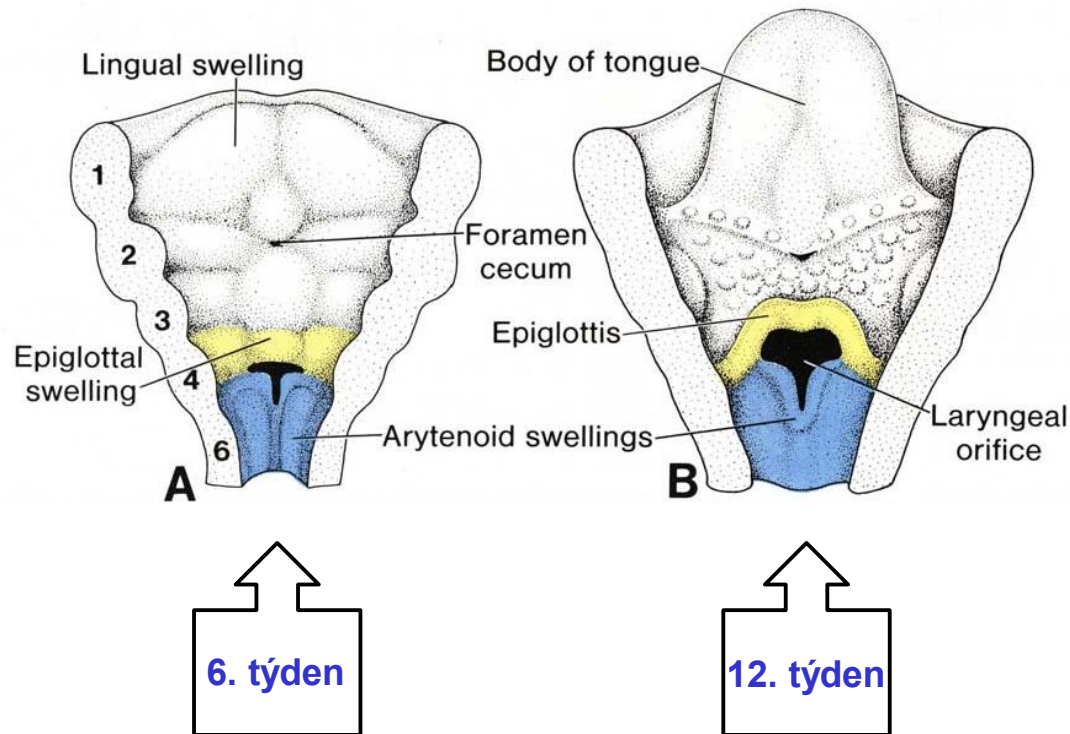
Vnitřní strana ventrální stěny hltanu



Komplexní interakce (signálování) mezi entodermem a přilehlým mezodermem

# Lung development

Vnitřní strana ventrální  
stěny hltanu



- Lumen nejprve **obliteruje** a později **rekanalizuje**
- vyvíjí se **Ventriculus pharyngealis + Plica ventricularis a Plica vocalis**
- vyvíjí se **chrupavky + vazy + svaly hltanu** (ze 4. and 5. žaberního oblouku)

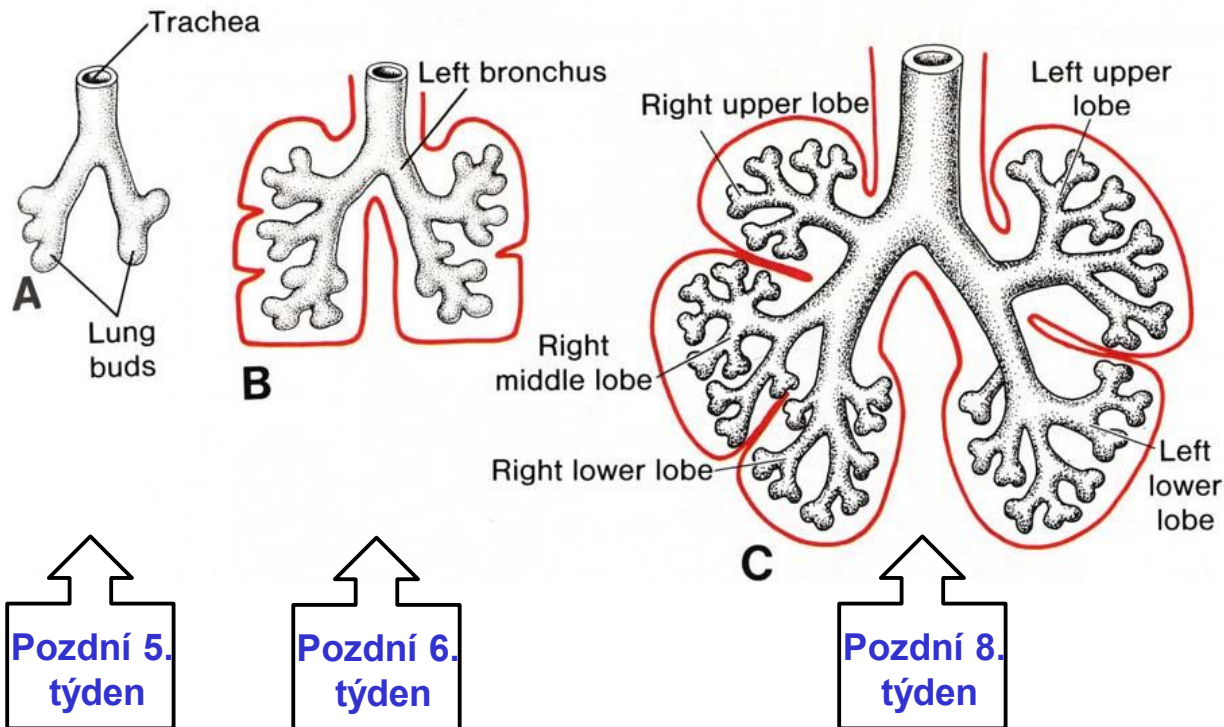
# Vývoj plic – Postupné větvení bronchů

## Celkový počet větvení

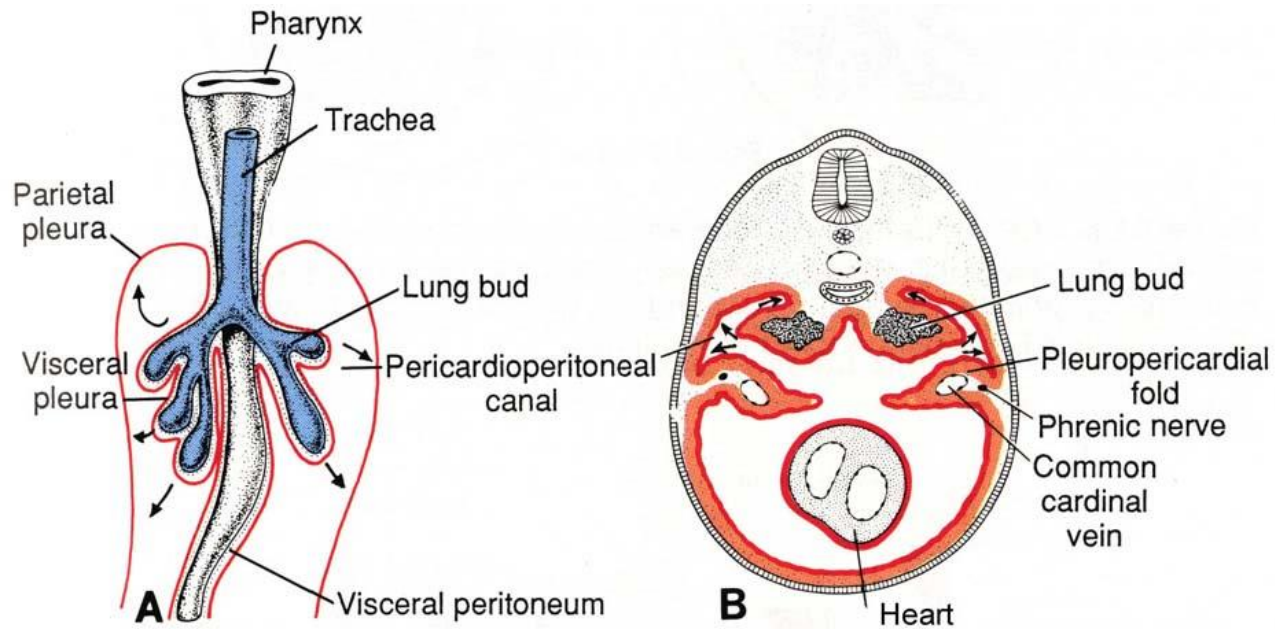
Před narozením - 18 x



Po narození - 7x  
until 8 years of age



# Vývoj plic – Vznik pleuro-perikardových řas



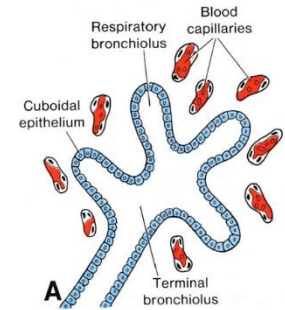
- bronchiální pupeny penetrují do **primitivních pleurálních dutin**
- splachnický mezoderm, pokrývající vnější povrch plic, vytváří **viscerální pleuru**
- tělní mezoderm, vystýlající tělní dutinu, vytváří **parietální pleuru**
- prostor mezi viscerální a parietální pleurou dává vznik **pleurální dutině**



# Vývoj plic – Histogeneze (maturace)

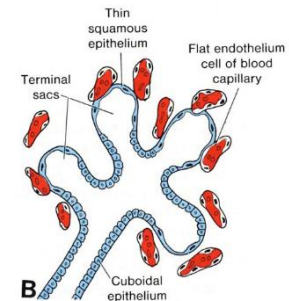
## Stádium pseudožlázové (5. – 17. týden)

- jsou vytvořeny terminální bronchioly
- terminální bronchioly jsou slepě zakončeny – napodobují žlázu
- jednovrstvý kubický epitel (entoderm)
- **respirační bronchioly ani alveoly nejsou vyvinuty**



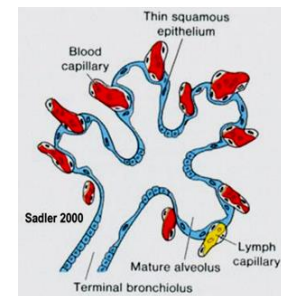
## Stádium kanálkové (13. – 25. týden)

- vyvíjí se respirační bronchioly a váčky, vaskularizace
- dýchání a přežití je možné, pouze ale s lék. pomocí
- **stále závažný stupeň nezralosti**



## Stádium primitivních alveolů (24. týden - porod)

- významný nárůst počtu váček a alveolů s dobře diferencovanými pneumocyty
- **vytvořena bariéra krev-vzduch**
- **od 26. týdne je možné přežití bez lék. pomoci** (hmotnost plodu cca 1000 g)



## Stádium definitivních alveolů (32. týden - 8. rok)

- nejdelší stádium
- vývoj plic se ukončuje

**Děkuji za pozornost!**

[ahAMPL@med.muni.cz](mailto:ahAMPL@med.muni.cz)

Budova A1 – 1. patro