

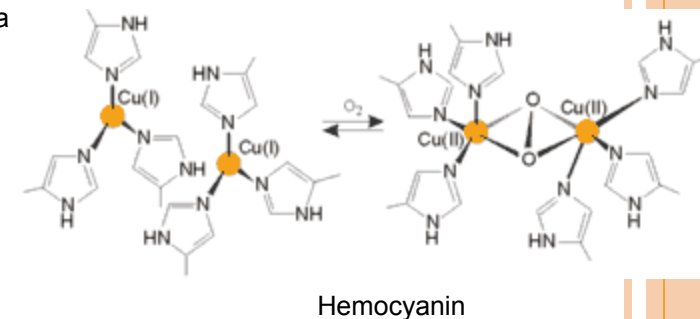
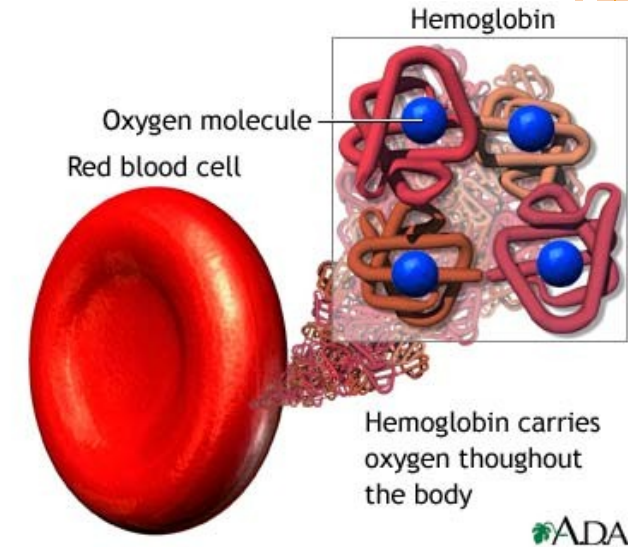
VENTILACE A PLICNÍ OBJEMY

- ventilace
- dýchací soustava
- plicní objemy
- onemocnění dýchací soustavy

- *vitální kapacita plic*
- *sekundová vitální kapacita plic*

RESPIRACE – DÝCHÁNÍ – PLICNÍ VENTILACE

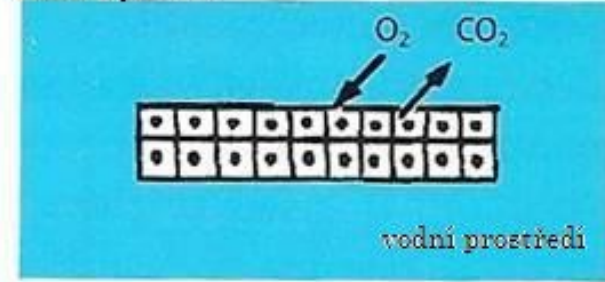
- **zevní dýchání** = výměna plynů (O_2 , CO_2) mezi organizmem a vnějším prostředím
- **vnitřní (buněčné) dýchání** = oxidace živin (tvorba E pro životní pochody v mitochondriích aerobní respirací)
- **hypoxie** (prostředí s nedostatkem O_2) - už 1 cm od zdroje cévy = max. rozestup mezi cévami (zásobování všech částí tkáně O_2)
- **difuze** - zásobování buněk O_2 na malou vzdálenost → **dýchací orgány** - rozvádění O_2 po těle **krevním oběhem** (žábry, plíce)
- propojení dýchací a oběhové soustavy – O_2 proudí přes **alveolokapilární stěnu** na základě koncentračního spádu prostou difúzí, pak se rozpouští v krvi (ne dobře → vyvinutý systém krevních barviv → přenos do krve)
- proteiny schopné vázat O_2 = červený **hemoglobin** obsahující Fe (krevní plazma kroužkoců, korýšů, plžů a červené krvinky obratlovců) a modrý **hemocyanin** s Cu (plazma korýšů a většiny měkkýšů)



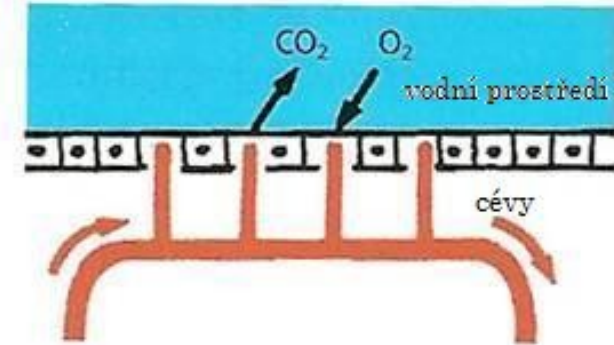
VÝVOJ DÝCHACÍCH ORGÁNŮ

- o vznik z ektodermu
- o **epidermální dýchání** – příjem O_2 celým povrchem těla (*vodní bezobratlí, ploštěnci*)
- o **kožní dýchání** – výměna plynů přes kůži (*vodní obratlovci, kroužkovci, obojživelníci*)
- o suchozemští živočichové – ventilace úzkými vnějšími otvory (*brání ztrátám vody*)
- o **vzdušnice (tracheje)** – dýchání bez účasti oběhové soustavy; plyny se pohybují velmi rychle na základě difúze; O_2 se dostává drobnými vzdušnicemi přímo k jednotlivým buňkám; pohyb plynů se může urychlovat pulzací tělní stěny; velmi vysoká účinnost (*suchozemští členovci*)

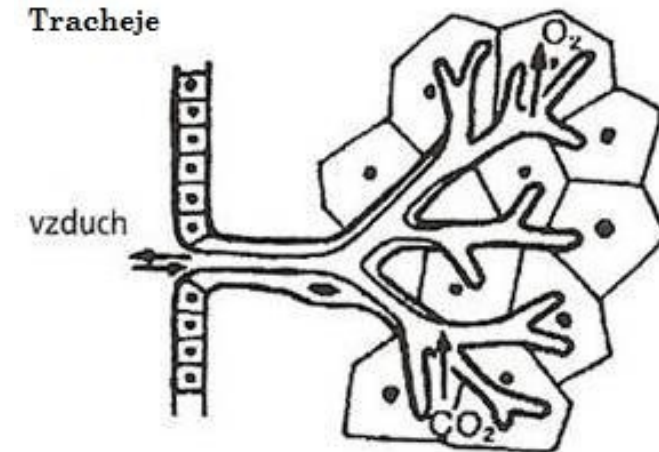
Přímá výměna



Výměna pokožkou

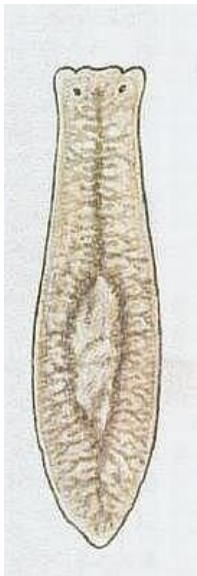


Tracheje

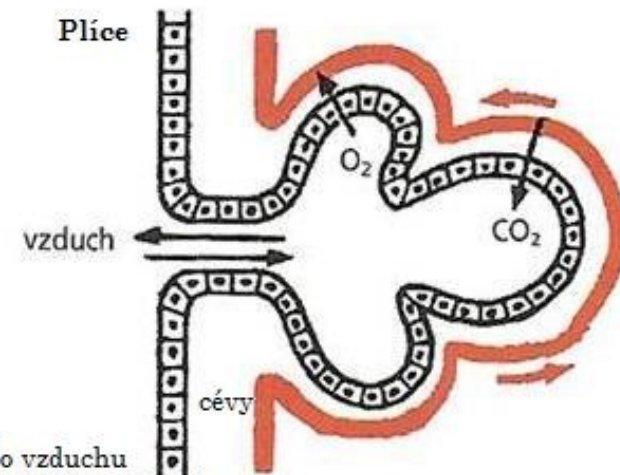
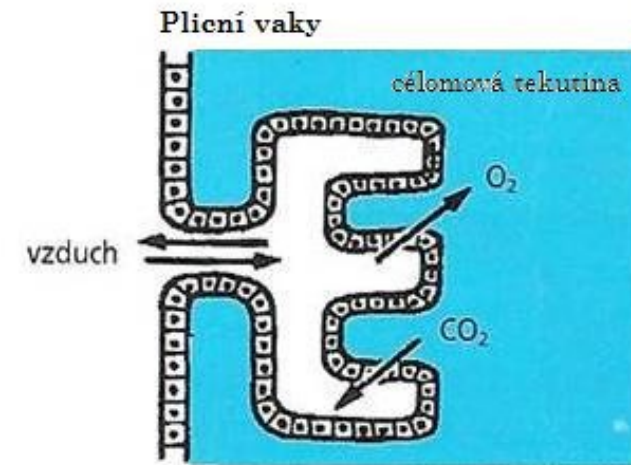
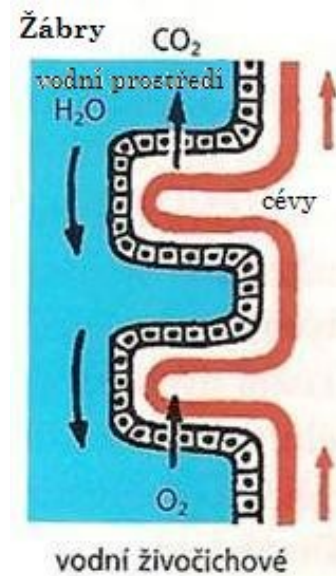


suchozemští živočichové

šipky vně = pohyb vody nebo vzduchu
šipky uvnitř = pohyby krve nebo hemolymfy



- **žábry** (*branchiae*) – povrch je obrácen ven a vytváří záhyby; O_2 se dostává z vody do krve po koncentračním spádu přes stěnu vlásečnic; difuze O_2 ve vodě je pomalejší než ve vzduchu – v blízkosti žáber musí stále proudit čerstvá voda (u ryb jsou v žaberní dutině); voda proudí jedním směrem - nasávání ústy, proudění okolo žáber a ústí ven žaberními otvory; velká hustota vody - na udržení jednosměrného proudu je třeba méně E než na pohyb tam a zpět u plic (*mořští kroužkovci, korýši, mlži, členovci, paryby, ryby, pulci obojživelníků*)
- **plicní vaky** – zanoření žáber pod povrch těla; *dvojdyšné ryby* - pomocný dýchací orgán; *ptáci* – pomocné vzdušné vaky vybíhající z plic (*pavoukovci, suchozemští plži, někteří klepítka*)
- **plíce** – povrch určený k dýchání je obrácen dovnitř a tvoří dutinu; plyny se vyměňují difuzí po koncentračním spádu mezi vzduchem v dutině plic a krví nebo hemolymfou (*suchozemští obratlovci*)



šipky vně = pohyb vody nebo vzduchu
šipky uvnitř = pohyby krve nebo hemolymfy

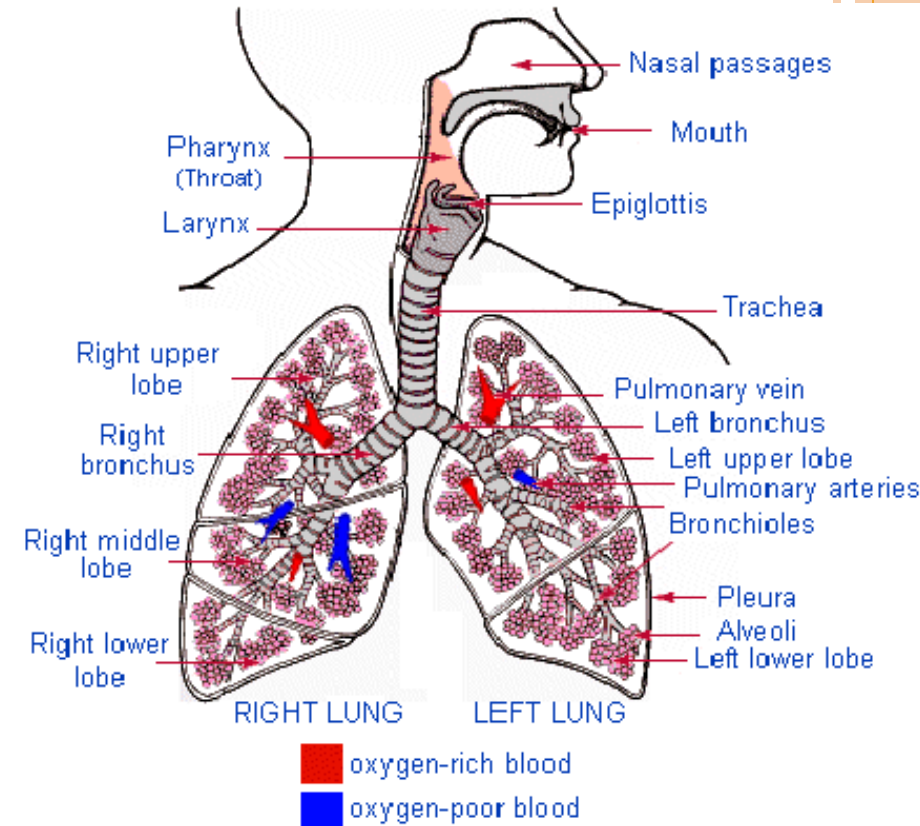


Axolotl



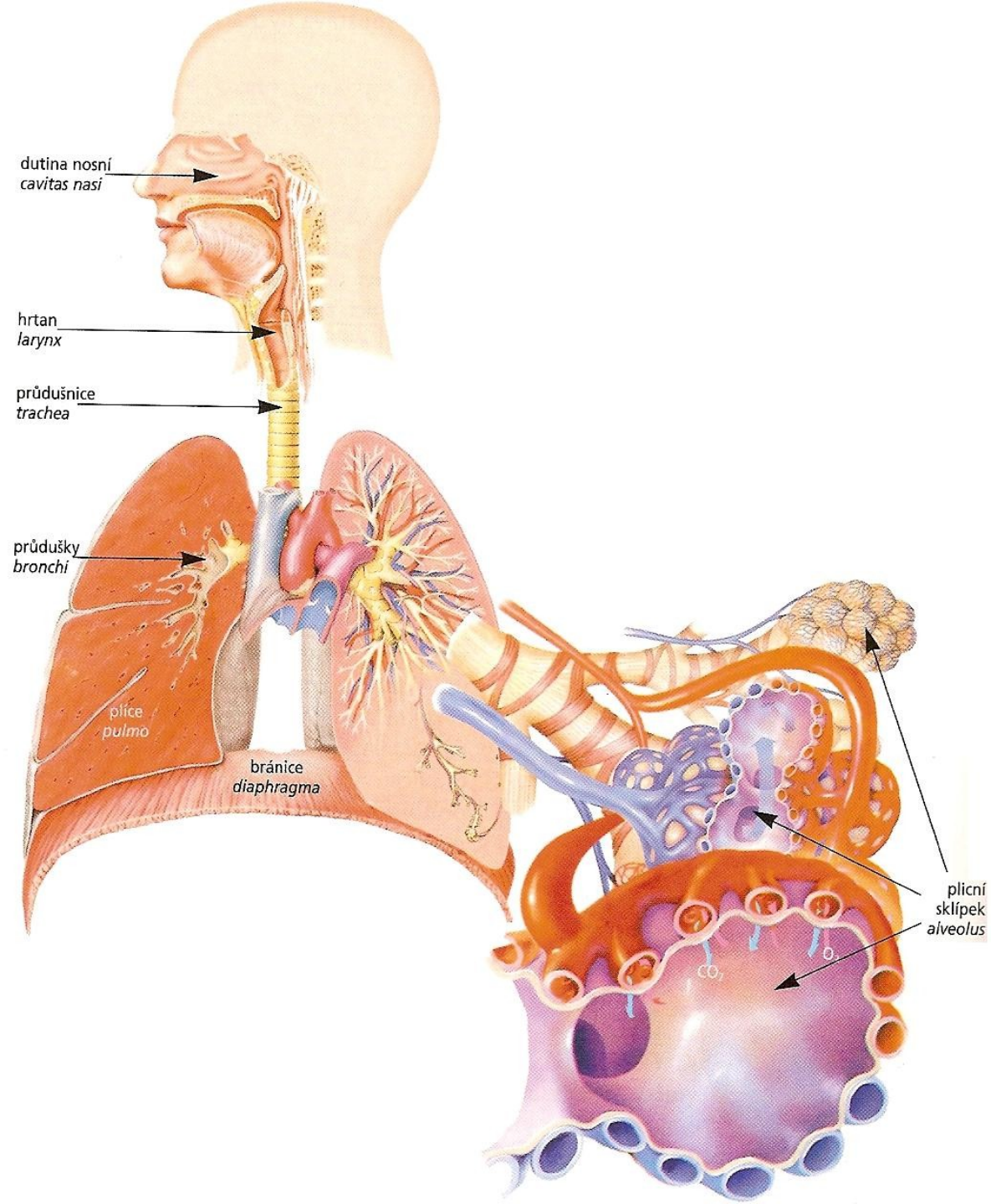
DÝCHACÍ SOUSTAVA

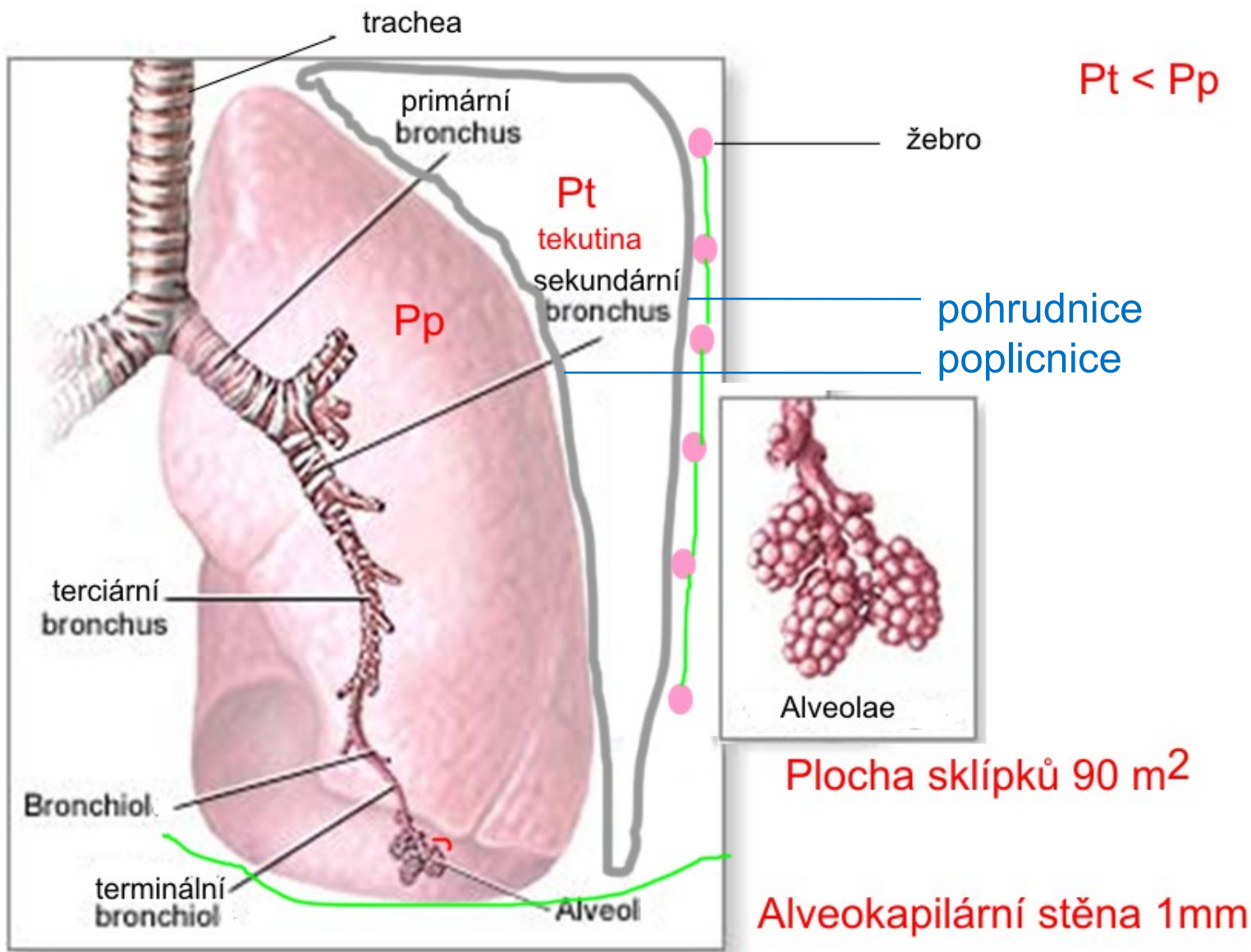
- výměna dýchacích plynů
- uplatnění při řeči
- **metabolické funkce** (přeměna angiotenzinu I na angiotenzin II, odstraňování látek z krevního oběhu - serotonin)
- **dýchací cesty**
 - horní = dutina nosní, vedlejší nosní dutiny, nosohltan, ústní dutina; nosní sliznice (čistící, zvlhčující a oteplovací funkce)
 - dolní = hrtan, *průdušnice (trachea)* → v hrudníku dělení na 2 hlavní *průdušky* vstupující do plic → větvení na drobnější *průdušinky* → malé dutiny - *alveoly* vystlané tenkým respiračním epitelem; sklípky jsou opředeny sítí krevních vlásečnic z oblasti tepny plicní - přivádí do plic žilní krev; stěnou alveolů se O_2 dostává do krve, do červených krvinek, kde se váže na hemoglobin a naopak z krve do alveolů přichází CO_2
- čištění vdechovaného vzduchu - prachové částice jsou zachycovány na hlenu nosohltanové dutiny, v trachei a bronších; cizí částice jsou fagocytovány makrofágy a nebo s hlenem zpětně transportovány řasinkovým epitelem bronchů zpět do trachey



PLÍCE (*PULMO*)

- vlastní dýchací párový orgán
- houbovitá a elastická tkáň
- průdušinky se větví do sklípkových chodbiček - nasedají na ně plicní váčky a sklípky
- vnitřní povrch sklípků pokrývá vrstva tekutiny (**surfaktant**) usnadňující dýchání (vrstva tuků a bílkovin)
- levá **plíce** je menší – utlačována srdcem
- plicní sklípky (**alveoly**) zvětšují plochu ($90 \text{ m}^2 \rightarrow 40\text{x}$ více než plocha těla), asi 300 mil
- **pohrudnice** (*pleura parietalis*) - vystýlá hrudník a dotýká se mezižeberních svalů
- **poplicnice** (*p. pulmonalis*) - pokrývá plíce
- mezi nimi je **intrapleurální štěrbina** vyplněná tekutinou (tlak je nižší než tlak v plicích), tvoří se podtlak \rightarrow udržování plic v nataženém stavu





Trachea - průdušnice
 Bronchus - průduška
 Bronchiol - průdušinka
 Alveol - plicní sklípek

PLICNÍ VENTILACE

- plíce mají tendenci zmenšovat objem (elasticita plic, povrchové napětí v alveolech)
- tekutina v pleurální štěrbině není roztažitelná = ve štěrbině vzniká podtlak a plíce jsou trvale rozepnuté
- plíce pasivně následují pohyby bránice a hrudního koše a střídavě se rozpínají (nádech) a smršťují (výdech)
- **nádech (vdech, inspirium)** - aktivní proces = cirkulace vzduchu, vznik podtlaku, nasávání vzduchu z prostředí
 - *stah* (oploštění) *bránice*
 - *zdvih žeber* (zvětšení hrudníku) *stahem mezižeberních svalů*
 - usilovné dýchání: + ostatní *pomocné dechové svaly* (zvedají a rozšiřují hrudní koš)
- **výdech (expirium)** - pasivní proces = povolání svalů, smrštění plic a návrat do původního stavu
 - *pasivní zmenšení* hrudního koše a plic v důsledku jejich tíhy a elasticity
 - zesílený výdech: + svaly břišní stěny (*břišní lis*) a mezižeberní svaly (vytlačují bránici nahoru)
- výměna plynů probíhá pouze v alveolech - pronikne do nich jen část dechového objemu, zbytek je objem **mrtvého prostoru** = dutiny sloužící k přívodu vzduchu, na výměně plynů se nepodílí; funkce: přívod vdechovaného vzduchu do alveolů, jeho čištění, zvlhčování a ohřívání; součást hlasového aparátu
 - **anatomicky mrtvý prostor** (0,15 l) = dutina ústní, nosní a hrtan, trachea a bronchy
 - **fyziologicky mrtvý prostor** = AMP + nefunkční plicní sklípky (patologické stavy)



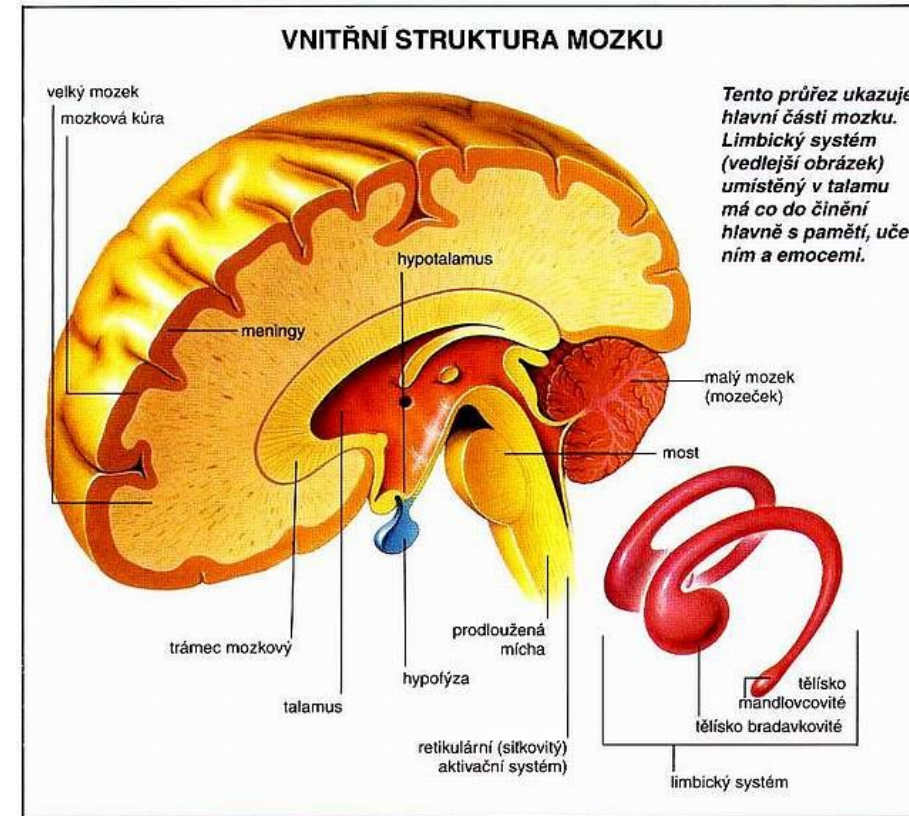
TYPY DÝCHÁNÍ

- **eupnoe** – normální klidové dýchání (respirační objem)
- **hyperpnoe** – prohloubené dýchání (rezervní objemy), nádech i výdech je zvětšený, zvýšená VKP (sportovci)
- **hypopnoe** – mělké dýchání, snížená VKP (poškození plic)
- **apnoe** – dočasná zástava dechu volním úsilím, po určité době je volní kontrola překonána; délka závisí na parciálním tlaku O_2 a CO_2 v arteriální krvi a na stupni útlumu inspiračního centra vlivem mozkové kůry; trvalá volní zástava dechu není možná; schopnost zadržet dech je individuální, závisí na tělesné zdatnosti, na stupni tréninku a dalších faktorech
- **inspirační apnoická pauza** = úmyslné zadržetí dechu po vdechu (60 sek); po hyperventilaci až 2-3 min
- **expirační apnoická pauza** = zadržetí dechu po výdechu (30 sek)
- **dyspnoe** – ztížené dýchání se subjektivním pocitem dušnosti (pocit krátkého dechu = dechové nedostatečnosti)
- abdominální (břišní) - muži vs. torakální (hrudníkové) dýchání - 80% žen (při těhotenství by se stlačoval plod)



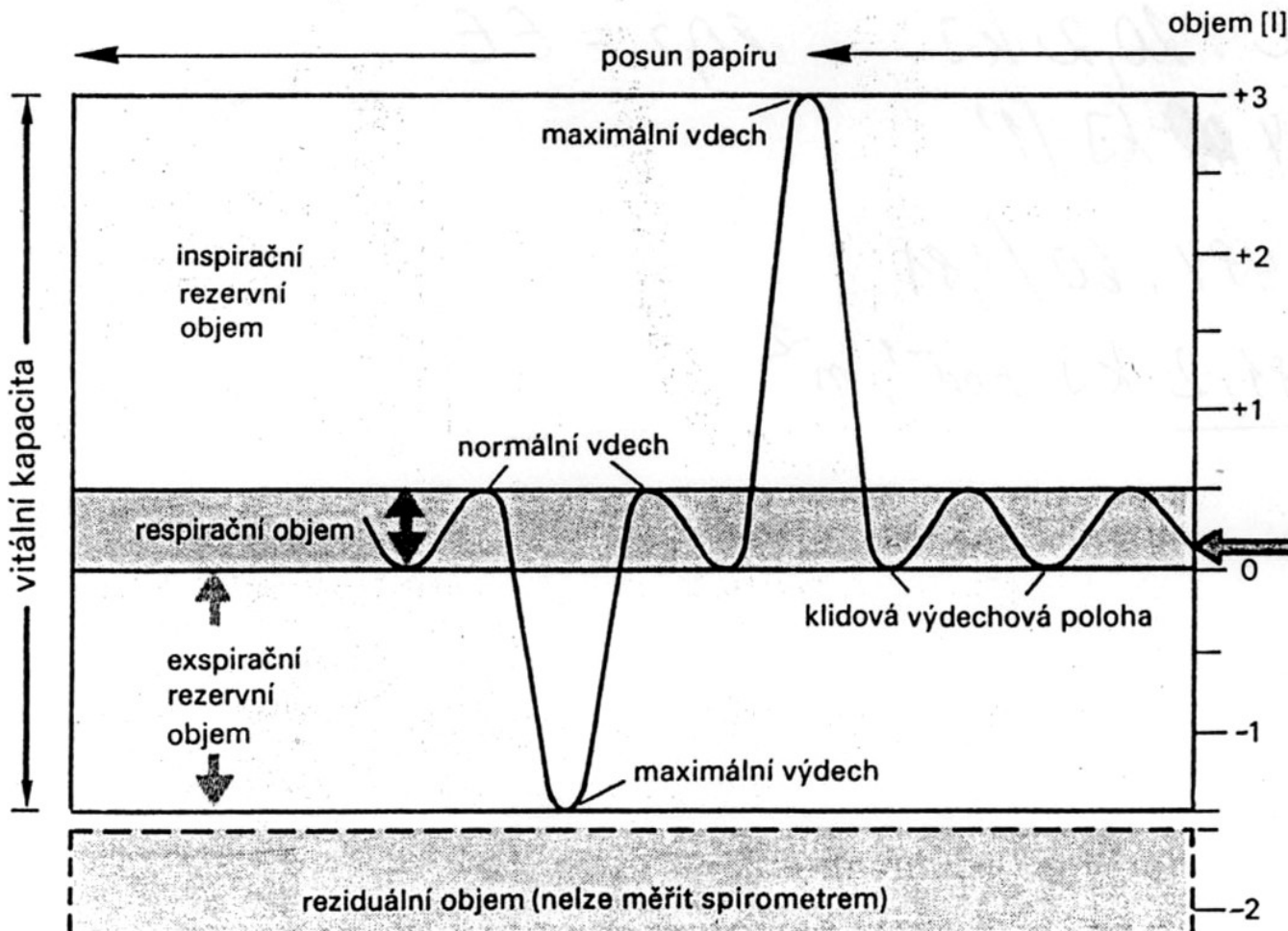
ŘÍZENÍ DÝCHÁNÍ (CENTRUM DÝCHÁNÍ)

- prodloužená mícha
 - *inspirační centrum* (řídí nádech)
 - *expirační centrum* (řídí výdech)
 - vzájemná inaktivace
 - regulace aktivity na základě změn chemizmu krve + korová centra
- do center přicházejí informace z:
 - baroreceptorů v plicích (↑ tlak aktivuje výdech)
 - chemoreceptorů v cévách (informace o pH krve - registrují nedostatek O₂, nadbytek CO₂)
 - proprioceptorů ve svalech a šlachách (práce zintenzivňuje dýchání)
 - termoreceptorů (teplo zintenzivňuje dýchání)
- z center vedou motorické neurony inervující dýchací svalovinu (bránici a mezižební svaly)
- při mluvení, kašlání, apod. se řízení dýchání účastní i vyšší nervová centra = mozková kůra, hypothalamus, limbický systém



PLICNÍ OBJEMY

Inspirační rezervní objem	2500 ml	} VKP
Respirační objem	500 ml	
Expirační rezervní objem	1500 ml	
Reziduální objem	1500 ml	

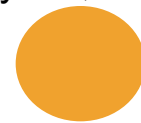


- elasticita plic a hrudní stěny, činnost bránice, mezižeberních svalů, odpor dýchacích cest i plic → rozvinutí hrudníku → aktuální objem vzduchu v plicích

- **měření plicních objemů** = ukazatel funkční zdatnosti a mechanických vlastností dýchacích orgánů

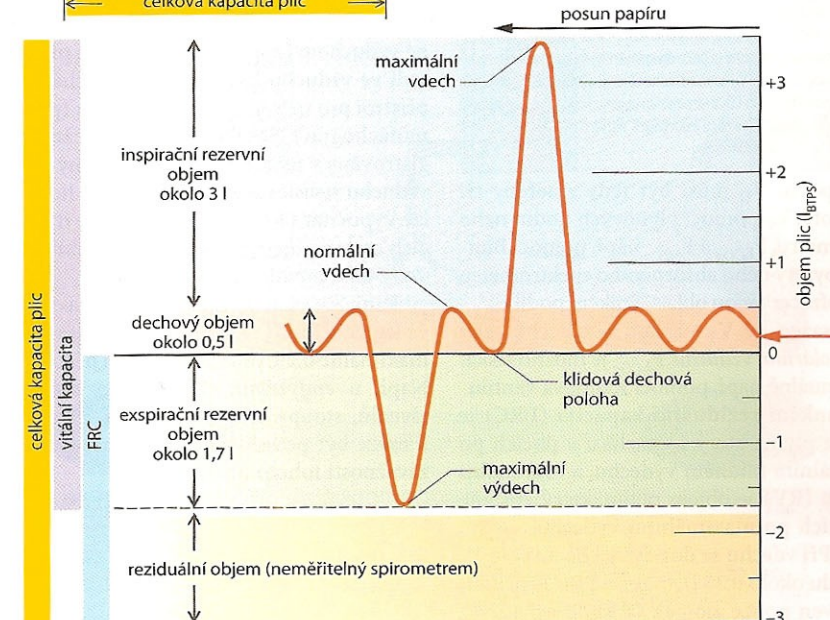
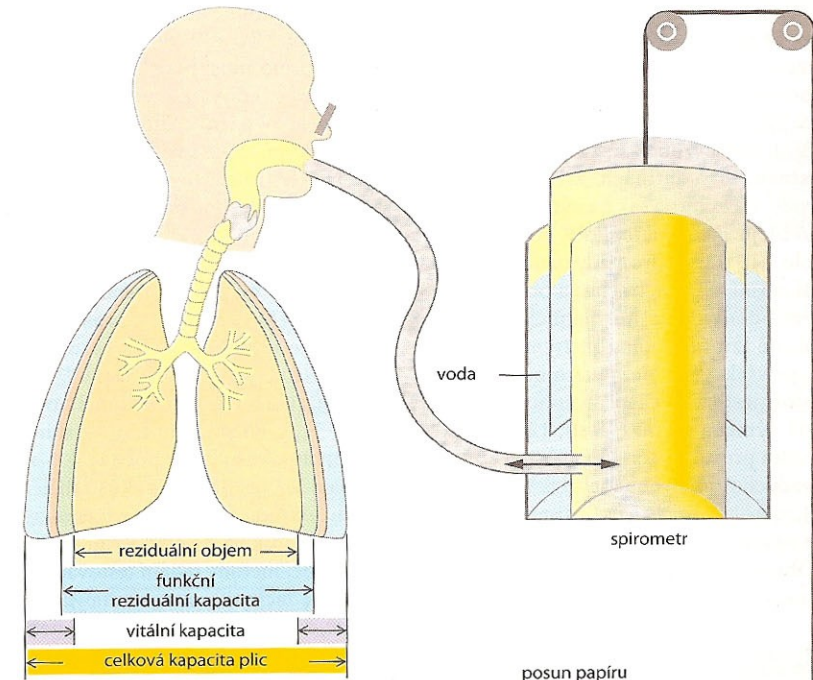
- posouzení změřených objemů - porovnání výsledků s normálními (náležitými) hodnotami

- **náležité hodnoty** - dle etnické příslušnosti, pohlaví, věku a tělesných rozměrů (váha, výška, tělesný povrch)

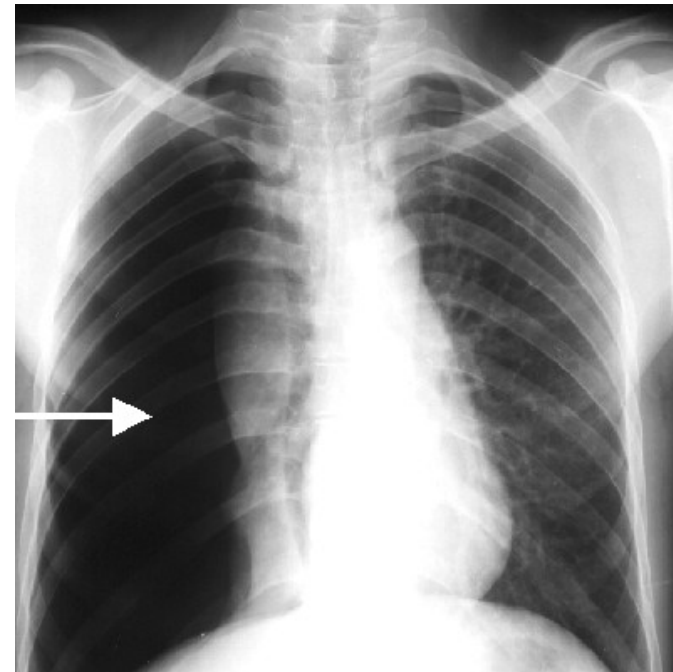
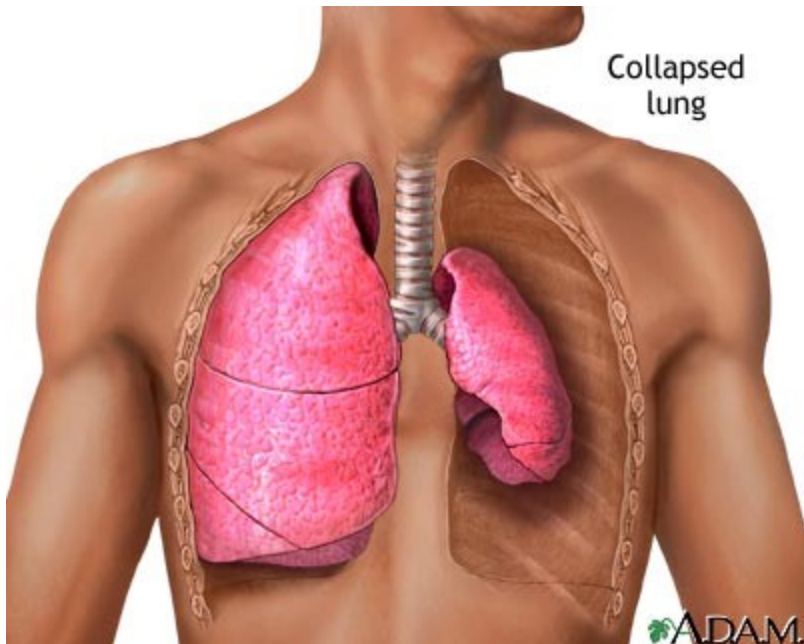


STATICKÉ PLICNÍ OBJEMY

- klidový respirační (dechový) objem (VT) = 0,5 l
 = rozdíl mezi vdechem a výdechem (množství vzduchu při nádechu nebo výdechu v klidu)
- inspirační (nádechový) rezervní objem (IRV) = 2,5 l (♂ 3,5 l; ♀ 1,2 l)
 = množství vzduchu, které lze volným úsilím nadechnout po klidovém nádechu
- expirační (výdechový) rezervní objem (ERV) = 1,5 l (2x VT; ♂ 1 l; ♀ 0,7 l)
 = množství vzduchu, které lze ještě vydechnout po klidovém výdechu
- reziduální objem (RV) = 1,5 l (♂ 1,2 l; ♀ 1,1 l)
 = množství vzduchu, které zůstává v plicích po maximálním výdechu; zabrání pneumotoraxu (splasknutí plíce); s věkem ↑ = *stařecký emfyzém*
- $VT + IRV + ERV = \text{vitální kapacita plic (VKP, VC)} = 4,4 \text{ l}$ (♂ 4,4 l, ♀ 3,4 l)
 = množství vzduchu vypuzené z plic max. výdechem po max. nádechu
- $VT + IRV + ERV + RV = \text{celková (totální) plicní kapacita (TLC)} = 6 \text{ l}$
 = maximální výdech po maximálním nádechu



- poranění hrudní stěny (protržení, proděravení) → plíce kolabuje - vypudí se z ní většina vzduchu (**kolapsový objem**) + velká část RV, rozšiřuje se hrudní dutina a dojde k vyrovnání tlaku s vnějším prostředím = **pneumotorax** (1. pomoc – zabránit průniku vzduchu)
- kolaps plic i po jejich vyjmutí z hrudníku - zůstává v nich malé množství vzduchu - **minimální objem** (první nádech po narození)
- zcela bezvzdušné plíce - pouze u plodu v průběhu nitroděložního vývoje a u mrtvě narozeného jedince; bezvzdušné plíce klesají ve vodě ke dnu, plíce s minimálním objemem vzduchu plavou na vodní hladině - zkouška v soudním lékařství (dítě narozené mrtvé)



DYNAMICKÉ PLICNÍ OBJEMY (ZÁVISÍ NA ČASE)

- klidová dechová frekvence (f) = **15 dechů/min** (♂ 16, ♀ 18, novorozenci 44 dechů/min)
 - *oligo-* (*bradypnoe*) – snížená frekvence dýchání
 - *poly-* (*tachypnoe*) – rychlé dýchání (zvýšená frekvence dýchání)
- klidová minutová ventilace (VE) = **5-8 l/min**
- maximální minutová ventilace
- sekundová expirační kapacita (SEK) = forced expiratory volume in 1sec (FEV1)
= maximální objem vzduchu vydechnutý za 1 sek
- relativní sekundová kapacita (RSK) = forced vital capacity (FVC) **RSK = SEK/VKP**
= objem vydechnutý s nejvyšším úsilím z polohy nejvyššího nádechu do maximálního výdechu; trvání ne delší než 5 vteřin; FVC < VKP = obstrukce dýchacích cest



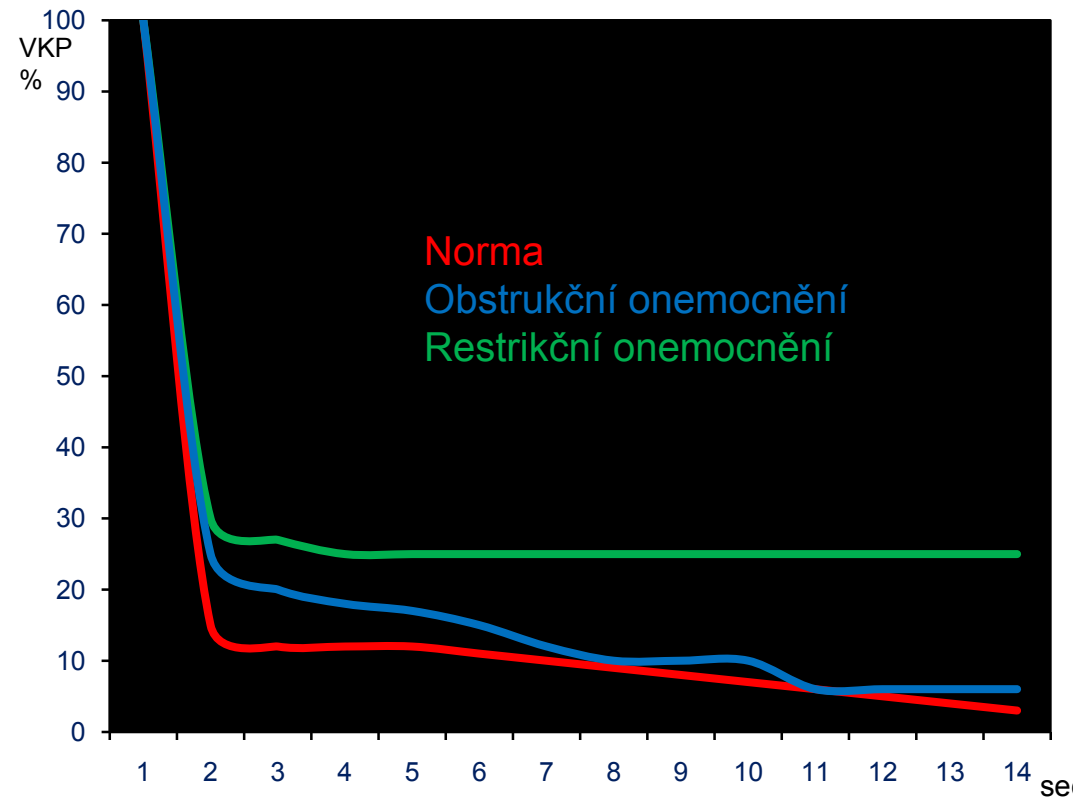
ONEMOCNĚNÍ TESTOVANÉ POMOCÍ SPIROMETRIE

Choroby restriktivní

- porucha plic
- dynamika proudění je v pořádku
- ↓ statické objemy (↓VKP, RSK v pořádku)
- *příčiny*: ↓ funkčního objemu plic (plicní edém, zánět plic), omezené rozpínání plic (deformace páteře)

Choroby obstrukční

- onemocnění dýchacích cest
- ↓ rychlost proudění vzduchu dýchacími cestami
- statické objemy stejné (↓RSK, VKP v pořádku)
- *příčiny*: zúžení dýchacích cest (astma, bronchitida, ochrnutí hlasových vazů, rozedma plic)
- v ČR 8% lidí



CYSTICKÁ FIBRÓZA

- kombinované onemocnění
- nadměrná produkce hlenu v plicních cestách (zpomalení výdechu) + menší kapacita plic
- autozomální recesivní vrozené onemocnění způsobené mutací genu produkujícího protein CFTR (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator) - na 7. chromozómu; kóduje protein klíčový pro chloridový transportér na buněčné membráně

Příznaky

- vysoká koncentrace Na^+ a/nebo Cl^- iontů v potu (koncentrace $\text{Cl}^- > 60 \text{ mmol/l}$) → „slané děti“
- časté (někdy trvalé) záněty dýchacího ústrojí způsobené bakteriemi (*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Haemophilus influenzae*, *Burkholderia cepacia*)
- 98% mužů je neplodných
- neprospívání, objemné mastné stolice
- záněty slinivky
- ↓ mobilita trávicí trubice či cirhóza jater

Léčba

- zejména dýchacího ústrojí - inhalace, fyzioterapie, antibiotika
- trávicí enzymy v kapslích
- polovina nemocných se v ČR dožívá alespoň 32 let



ROZEDMA PLIC (*EMPHYSEMA*)

- ztráta elasticity plic a ničení stěny alveol = vzduch protéká hůře a plicní tkáň se ztenčuje
- při výdechu je třeba velkého úsilí a je tedy pomalejší
- nahromadění vzduchu do plicních sklípků → potrhání přepážek mezi sklípky – nevratný stav

Příznaky

- chronický zánět průdušek (chronická bronchitida) - chronický kašel; dlouhotrvající → chronická obstrukční plicní nemoc + dušnost, zpočátku jen při námaze, později i v klidu – ↓ respirační kapacita plic; ↓ množství O₂ v krvi → promodralá kůže i sliznice (cyanóza)
- později hubnutí a celkové chátrání; zhoršený průtok krve plicemi → přetěžování a selhávání pravé srdeční komory
- infekční onemocnění dýchacích cest → možné náhlé zhoršení chronického stavu

Příčiny

- kouření, opakované akutní infekce dýchacích cest (neléčená chronická bronchitida), negativní vlivy pracovního a životního prostředí; vystavování se toxickým chemikáliím, prašné prostředí

Léčba

- nevratné poškození přepážek nelze léčit; v některých případech chirurgický zákrok; farmakoterapie + celková změna životního stylu; dechová cvičení



ASTMA (ASTHMA)



- bronchioly jsou v křeči, ucpou se mukózní sekrecí a průtok vzduchu je omezen
- spouštěcí mechanismy = infekce horních cest dýchacích, stres, alergenů (prach a pyl), znečištění vzduchu (kouř, výfukové zplodiny), extrémní změny teplot a cvičení
- dlouhodobý zánět sliznic v dýchacím ústrojí → ztížené dýchání až dechová nedostatečnost; dlouhodobý průběh → nevratné zúžení dýchacích cest

Výskyt

- v dětství nejčastější chronické onemocnění (10 % dětí, většinou ♂); v dospělosti více u ♀ (5% populace)
- pozdější výskyt → z určité části způsobeny specifickou alergickou reakcí
- alergické a nealergické astma

Příznaky a symptomy

- chronické zhoršené dýchání - dušnost, sípot, chrčení, kašel, svírání a svědění hrudníku, neschopnost fyzické aktivity

Příčiny

- **geneticky podmíněné faktory + vliv okolního prostředí** (pasivní kouření, kouření matek v těhotenství; znečištění vzduchu výfukovými plyny a nadměrné koncentrace ozónu; porod pomocí císařského řezu - důsledek vystavení pozměněné bakteriální populaci v porovnání s přirozeným porodem - vliv na IS → hypotéza přemíry hygieny; psychický stres)
- částečná ochrana = respirační onemocnění v útlém věku, společný život se sourozenci a pobyt v zařízeních denní péče

Astmatický záchvat

- o akutní zhoršení stavu nemocného (jinak nemusí být téměř nebo vůbec žádné známky choroby)
- o může se objevit náhle, trvání minuty až hodiny
- o příznaky: nedostatečnost dechu (dušnost), sípání, chrčení nebo kašel s vykašláváním průhledného hlenu; prodloužená fáze výdechu, zrychlení srdečního rytmu, chraplavé zvuky v plicích, paradoxní puls (puls je slabší při nádechu a silnější v průběhu výdechu) a nadměrné nadmutí hrudi
- o možné zmodrání v důsledku nedostatku O_2 , bolesti hrudi, ztráta vědomí + zástava dýchání a smrt
- o předtím často ztráta citlivosti končetin, ledově studená chodidla a pocení dlaní

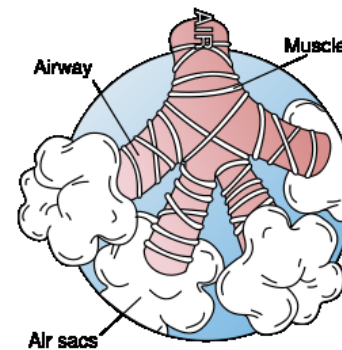
Patofyziologie

- o zánět průdušek + bronchokonstrikce (křeče průdušek) → zúžení dýchacích cest (zkrácení okolního hladkého svalstva, otok tkáně způsobený imunitní reakcí na alergeny)
- o zanícené průdušinky reagují na spouštěče v okolí → zúžení a zvýšené vylučování hlenu → ztížené dýchání

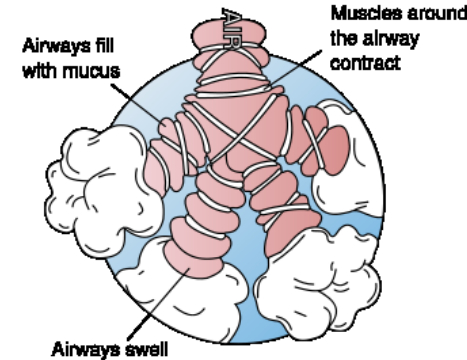
Léčba

- o inhalátor - rozprašuje lék přímo na postižené dýchací cesty → redukce odporu dýchacích cest
- o obsahuje svalové relaxans (zamezí křeči bronchů a indukuje dilataci bronchiol) + protizánětlivé látky
- o u častějších záchvatů pravidelná medikace nebo chirurgické odstranění příčin onemocnění

Before an asthma episode

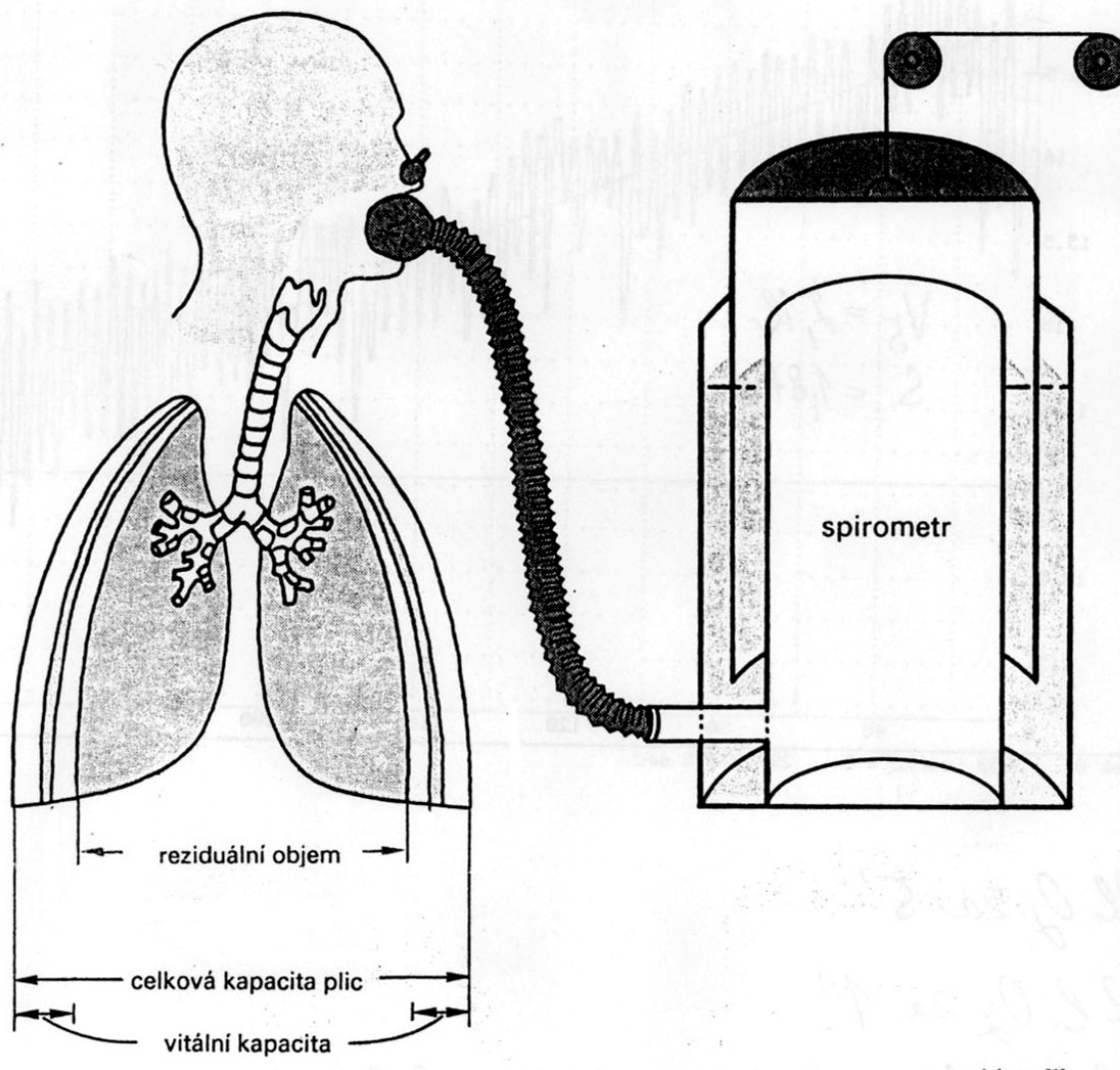


After an asthma episode



MĚŘENÍ PLICNÍ VENTILACE = SPIROMETRIE

KROGHŮV / HUTCHINSONŮV SPIROMETR



VKP závisí na:

- věku
- výšce
- hmotnosti
- povrchu těla
- pohlaví
- trénovanosti
- poloze těla

VKP se mění:

- za patologických stavů
- s přibývajícím věkem se zmenšuje



MĚŘENÍ VITÁLNÍ KAPACITY PLIC

= rozdíl mezi maximálním vdechem a maximálním výdechem

Hutchinsonův spirometr – válcová nádoba naplněná vodou; nad vodní hladinu je vyvedena trubka, do které vydechujeme vzduch (uzavřený systém); do vody je ponořen lehký zvon zvedající se proudem vydechovaného vzduchu; výška zdvihu se odečítá na měřítku na vnější straně zvonu; 1 dílek odpovídá 1ml vydechnutého vzduchu

- náustek před měřením nasunout na hadici spirometru
 - páčka na spirometru musí být ve správné poloze (uzavření systému)
 - po max. nádechu bude proveden max. výdech (na rychlosti nezáleží)
 - na stupnici odečteme objem vydechnutého vzduchu
 - přepnutím páčky vzduch ze spirometru vypustíme a *páčku vrátíme do původní polohy* (spuštění válce dolů); náustek sundáme a ponecháme pro další měření
 - nejvyšší hodnotu ze 3 měření zapíšeme
-
- velikost tělesného povrchu závisí na výšce a hmotnosti - tabulky nebo pomocí **normogramu**



John Hutchinson (1811–1861)



VÝPOČET VKP

- pro objektivní hodnocení slouží % vyjádření aktuální velikosti VKP z **náležitě hodnoty VKP (NVKP)** v ml - můžeme ji vypočítat z velikosti povrchu těla:

$$NVKP (\text{♂}) = \text{povrch těla (m}^2\text{)} \times 2500$$

$$NVKP (\text{♀}) = \text{povrch těla (m}^2\text{)} \times 2000$$

- nebo použijeme rovnici (Cournand a Beldwin, 1941), kdy jsou respektovány výška a věk:

$$NVKP (\text{♂}) = [27,63 - (0,112 \times \text{věk})] \times \text{výška v cm}$$

$$NVKP (\text{♀}) = [21,78 - (0,112 \times \text{věk})] \times \text{výška v cm}$$

- výpočet **teoretické VKP** (obyvatelé Evropy)

$$VKP_{\text{teoretická}} (\text{♂}) = 5,2 \times \text{výška (metry)} - 0,022 \times \text{věk (roky)} - 3,6 \quad (\pm 0,58)$$

$$VKP_{\text{teoretická}} (\text{♀}) = 5,2 \times \text{výška (metry)} - 0,018 \times \text{věk (roky)} - 4,36 \quad (\pm 0,42)$$

Zjistíme:

- VKP = maximální nádech – výdech (ml)
- VKP vztažená na velikost povrchu těla = VKP/S (ml/m²)
- VKP vzhledem k výšce a věku (Cournand-Beldwin)
- VKP teoretická



MĚŘENÍ SEKUNDOVÉ EXPIRAČNÍ VKP (SVKP, SEK, VKP_{SEK})

= objem vydechnutý maximálním úsilím

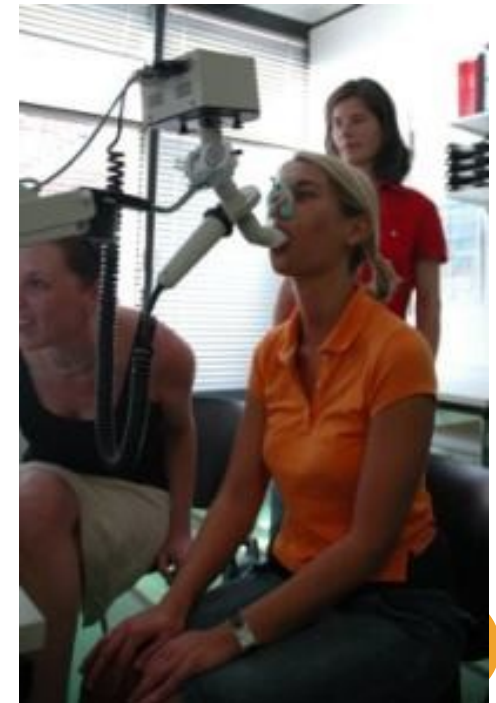
- po maximálním nádechu maximální výdech s co největším úsilím, co nejrychleji
- vydechnut musí být veškerý vzduch, který je možné vydechnout

= **Kroghův spirometr** - válec se závažím + náustek

- křivka musí mít hladký průběh a VKP se nesmí výrazně lišit od VKP zjištěné na Hutchinsonově spirometru

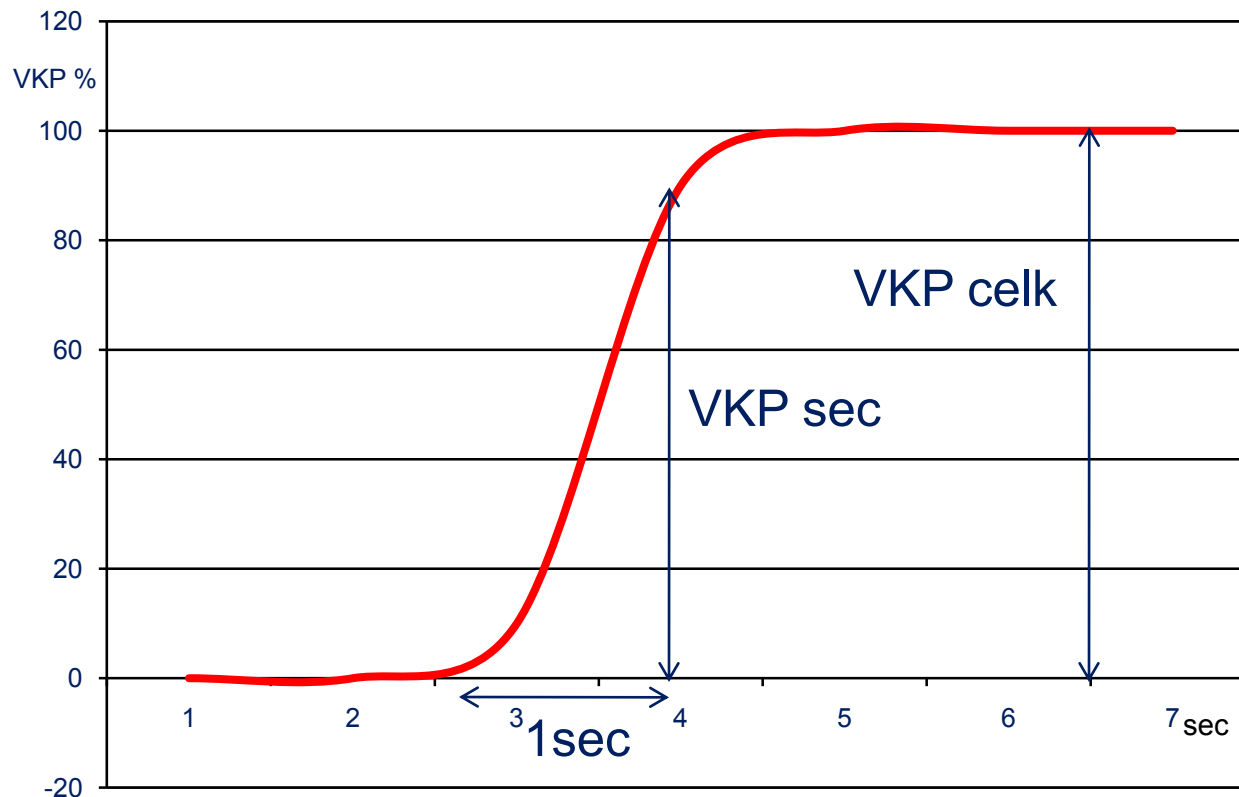
Zjistíme:

- VKP_{počítač}
- sekundová expirační kapacita (SEK)
- relativní sekundová kapacita (RSK) = SEK / VKP_{počítač} v %



Vyhodnocení

- normální křivka $\geq 80\%$
- obstrukční porucha (chronická bronchitida, astma) = 35%
- restrikční porucha (vada páteře, menší objem hrudníku) = 75%



MĚŘENÍ

1) Respirační objemy

- normální objemy (+ ERV – expirační rezervní objem; FVC – usilovná vitální kapacita)
- vliv průměru dýchací trubice → obstrukční choroby
- vliv omezení funkčního dýchacího prostoru → restriční choroby

2) Faktory ovlivňující respiraci

- surfaktant
- pneumotorax

3) Změny v dýchání – podle tělesných potřeb, regulace měřením P_{CO_2} a udržováním stálých hodnot P_{O_2} a P_{CO_2} v plicích a krvi

- rychlé dýchání - ↓ produkce CO_2
- opětovný nádech - ↑ P_{CO_2} v alveolách (a následně v krvi)
- zadržetí dechu – nedochází k žádné výměně plynů mezi alveolami a krví

4) Srovnávací spirometrie

- normální dýchání
- rozedma
- astma
- astma po použití inhalátoru
- cvičení

