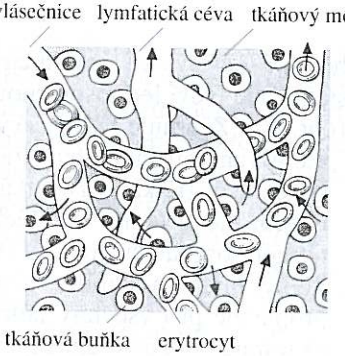
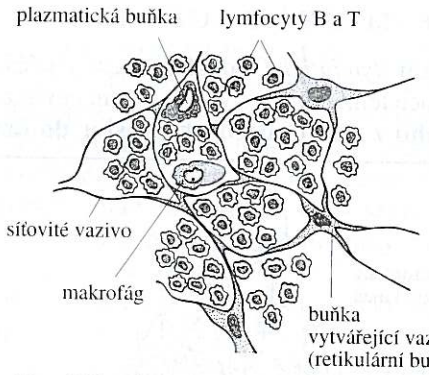


Obr. 41 Slepě zakončené lymfatické vlásečnice mezi krevními vlásečnicemi odvádějí přebytečný tkáňový mok; šipky znázorňují pohyb tekutiny



Obr. 42 Struktura lymfatické uzliny (základní buněčnou síť tvoří hvězdicovité retikulární buňky s dlouhými výběžky)

v síťovité tkáni (obr. 42) hromadí lymfocyty, které vytvářejí protilátky. V lymfatických uzlinách jsou rovněž uloženy fagocytující makrofágy. Lymfatické uzliny jsou proto bariérou proti šíření infekce. V uzlinách zasažených infekcí probíhají obranné reakce. Nastává zde zánět, uzliny se přitom zvětšují. Při rakovinném onemocnění se v lymfatických uzlinách zachycují nádorové buňky i ze vzdálených míst (*metastáze*).

Slezina

K oběhové soustavě a funkci krve má úzký vztah **slezina**, největší lymfatický orgán v těle. Je uložena v břišní dutině pod levou bráničí klenbou, hluboko při páteři. Tvarem se podobá kávovému zrnu o délce 12–20 cm. Je tvořena dvojím typem tkáně: červenou a bílou pulpou (dření). Denně jí protéká velké množství krve, 250–350 litrů. Slezinu můžeme pociťovat při delší námaze (např. běhu) tím, že zaznamenáváme píchání v levém boku.

V červené pulpě sleziny jsou v širokých cévách červené krvinky. U některých savců (kočka, pes, kůň) je tato tkáň skutečnou zásobárnou červených krvinek. U člověka však obsahuje jen 1 % objemu krve.

Bílá pulpa je tvořena uzlíčky tkáně složené převážně z lymfocytů. Dále jsou v ní monocyty, které se přeměňují na makrofágy. Makrofágy ve slezině odbourávají největší množství zanikajících červených krvinek (90 %).

Otázky a náměty ke studiu

1. Čím se liší stěny síní a komor a stěny tepen, tepének, vlásečnic a žil?
2. Proč nazýváme cévy zásobující srdce cévy věnčité?

3. Odkud vycházejí podněty k srdečním stahům?
4. Kdo byl J. E. Purkyně a proč si jeho jméno připomínáme v souvislosti s činností srdce?
5. Jak vzniká síla způsobující pohyb krve v cévách?
6. Jaké jsou hodnoty krevního tlaku u zdravého dospělého člověka?
7. Kde je uloženo centrum řídící činnost srdce a cév a jak pracuje?
8. Vysvětlete mechanismus, jímž je udržován krevní tlak na poměrně stálé hodnotě.
9. Uveďte vážná cévní onemocnění. Jak je jim možno předcházet?
10. Čemu se říká srdeční ischémie? Jak vzniká srdeční infarkt?
11. Jaké jsou hlavní funkce mízní soustavy?

2.4 DÝCHACÍ SOUSTAVA

Klíčové pojmy: dýchací orgány, dýchání vnější, dýchání vnitřní, vodivá část dýchací soustavy, respirační část dýchací soustavy, plíce, plicní ventilace, vitální kapacita plic, kyslíkový dluh, dechové centrum, nerespirační funkce dýchací soustavy, parciální tlaky plynů, formy transportu kyslíku krví, hemoglobin, formy transportu oxidu uhličitého krví

Buňky živočišného organismu získávají energii pro životní děje převážně z biologických oxidací. Potřebný kyslík přijímají z atmosférického vzduchu nebo rozpuštěný ve vodě. Mezi produkty metabolismu patří oxid uhličitý, který je z těla odstraňován stejnou cestou, jakou je přijímán kyslík, ale v opačném směru.

Jednobuněčné organismy mohou vyměňovat kyslík a oxid uhličitý s vnějším prostředím pouhou difuzí. U mnohobuněčných živočichů většina tělních buněk nemůže vyměňovat plyny přímou cestou, protože difuze tkáněmi stačí zajišťovat výměnu plynů jen na krátké vzdálenosti, a to maximálně na vzdálenost 0,5 mm (u živočichů se stálou tělesnou teplotou). U většiny mnohobuněčných živočichů zprostředkují výměnu plynů s vnějším prostředím **dýchací orgány**. U obratlovců se vyvinuly dva typy dýchacích orgánů: u vodních **žábry**, u suchozemských **plíce**. Zatímco žábry mají povrch určený k výměně plynů obrácen směrem ven z těla, povrch plic je obrácen dovnitř a tvoří dutinu, u savců bohatě členěnou – plíce.

Pohyb vzduchu do plic a z plic označujeme obvykle jako dýchání. Z fyziologického hlediska rozumíme **dýcháním** (*respirací*) tři oddělené, avšak vzájemně propojené funkce:

1. výměnu vzduchu mezi vnějším prostředím a plícemi – plicní ventilaci,
2. výměnu plynů (O_2 a CO_2) mezi vzduchem a krví (a) a mezi krví a tkáněmi (b),
3. oxidativní metabolismus tkání, při němž se spotřebovává O_2 a vydává CO_2 (tkáňové dýchání).

Plicní ventilaci a výměnu plynů mezi vzduchem a krví (1 a 2a) nazýváme společně **vnější dýchání**. Výměnu plynů mezi krví a tkáněmi a tkáňové dýchání (2b a 3) označujeme jako **vnitřní dýchání**.

Tím, že plyny mezi plícemi a tkáněmi přenáší krev, existuje úzká souvislost mezi soustavou dýchací a oběhovou. Činnost obou soustav musí být proto vzájemně koordinována s potřebami látkové výměny v tkáních, zvláště pak ve svalech. Tato koordinace je řízena z center v prodloužené míše. Souhru těchto činností zajišťuje kontrolní systém na základě informací o obsahu O_2 a CO_2 v krvi, který zaznamenávají smyslové buňky (receptory) v cévách v krevním oběhu i přímo v mozku. Kontrolní systém pracuje na principu negativní zpětné vazby.

2.4.1 DÝCHÁNÍ PLÍCEMI – VNĚJŠÍ DÝCHÁNÍ

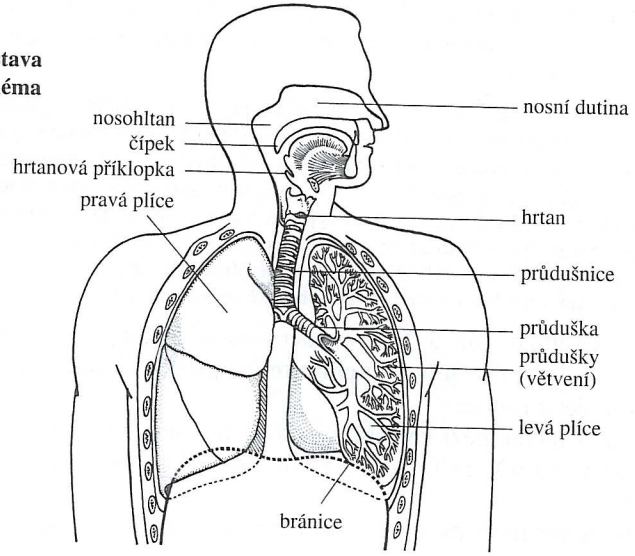
Dýchací soustavu rozlišujeme na *část vodivou* (dýchací cesty) a *část respirační*, tj. místo vlastní výměny plynů, což jsou **plíce** (*pulmo,* obr. 43). Dále k dýchací soustavě patří dýchací svaly.

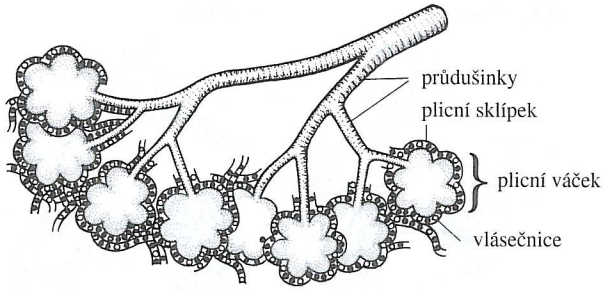
Vodivá část dýchací soustavy

Dýchací cesty (obr. 43A) začínají **nosní dutinou**, s níž jsou spojeny nepravidelné dutiny v lebečních kostech (vedlejší dutiny nosní – *paranazální si-*

Obr. 43A

Dýchací soustava – celkové schéma





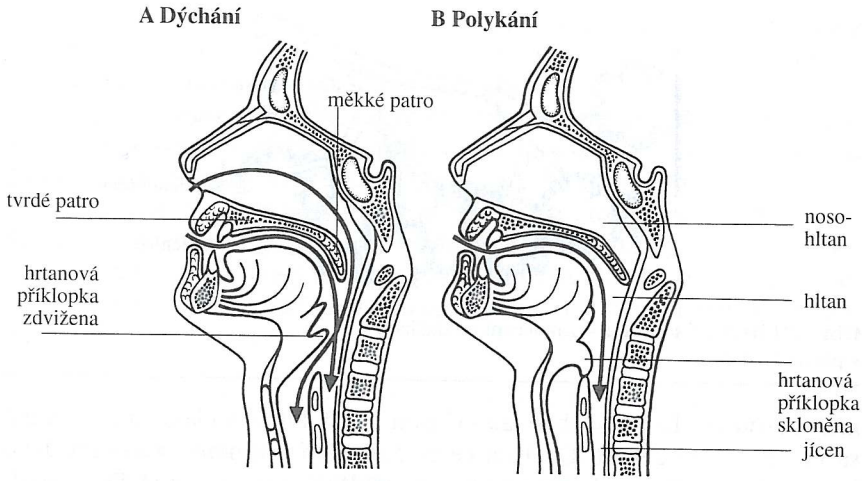
Obr. 43B Dýchací soustava – zakončení průdušinek v plicních váčcích

nusy). Jsou vystlány podobně jako vlastní nosní dutina tenkou sliznicí, která se může snadno zanítit. Dýchací cesty pokračují **hltanem** (*pharynx*). Jeho horní část je spojena s dutinou nosní – **nosohltan** (*nasopharynx*). Do nosohltanu ústí *Eustachova trubice,* spojující střední ucho s nosohltanem. V blízkosti obou trubic jsou lymfatické uzlíky – *nosohltanové mandle*. Střední část hltanu je otevřena do dutiny ústní (*oropharynx*) a dolní část do hrtanu (*laryngopharynx*). Dále dýchací cesty pokračují **hrtanem** (*larynx*) a **průdušnicí** (*trachea*). Dolní část průdušnice vstupuje do hrudníku, kde se rozděluje na dvě hlavní **průdušky** (*bronchy*), které se zanořují do plic. V nich se obě hlavní průdušky mnohonásobně větví na stále tenčí průdušky a tvoří bronchiální strom. Průdušky s průměrem menším než jeden milimetr se nazývají **průdušinky** (*bronchioli*). Končí v **plicních váčcích** (obr. 43B).

Hltan je trubice, kterou prochází vzduch i potrava. V dolní části se hltan rozděluje na dvě trubice, a to na jícen, kterým prochází potrava do žaludku, a hrtan, kterým je veden vzduch (obr. 44). **Hrtan** leží před dolní částí hltanu. Proti vstupu potravy je hrtan při polykání chráněn uzavřením hrtanovou příklopkou (*epiglottis*). Uzavírání probíhá reflexní cestou. V hrtanu jsou v hlasové štěrbině **hlasivkové vazy**.

Podle místa, kde se rozdvojuje dosud společná dýchací a trávicí trubice – hltan, se rozlišují dýchací cesty na **horní cesty dýchací** a **dolní cesty dýchací**. K *horním cestám dýchacím* tedy patří dutina nosní, vedlejší nosní dutiny, nosohltan, střední a dolní úsek hltanu, k *dolním cestám dýchacím* hrtan, průdušnice a hlavní průdušky.

Hrtan, průdušnice a průdušky jsou trubice zpevněné chrupavkami, které zajišťují jejich stálý tvar. Z hrtanových chrupavek nápadně vystupuje chrupavka štítná na přední ploše krku, patrná u mužů („ohryzek", „Adamovo jablko"). Ve vazivu průdušnice a průdušek je hladká svalovina, která může měnit jejich průměr. Sliznice vystýlající průdušnici a průdušky obsahuje



Obr. 44 Křížení dýchacích a trávicích cest: A Při dýchání je měkké patro volně svěšené dolů, hrtanová příklopka zdvižena. **B** Při polykání je měkké patro zdviženo směrem k nosohltanu a hrtanová příklopka zakrývá vchod do hrtanu

velké množství hlenových žlázek. Stěnu bronchiol tvoří rovněž sliznice a vazivo se snopečky hladké svaloviny. Protože průměr bronchiol je menší než jeden milimetr, může při chorobných stavech postihujících bronchioly dojít až k jejich uzavření, což způsobuje dušení.

Onemocnění, kdy dochází ke křečovitým stahům hladkých svalů bronchů a bronchiolů provázeném nadměrnou tvorbou hlenu, se nazývá **průduškové astma** (*asthma bronchiale*). Vyznačuje se zachvátovitou výdechovou dušností. Označení astma (z řeckého – žádný vítr) je obecný termín pro dýchací potíže.

Slizniční buňky ve vodivých dýchacích cestách mají na povrchu pohyblivé buněčné výběžky – řasinky (*řasinkový epitel*, obr. 48). Posouváním hlenu udržují průchodnost dýchacích cest. Jejich pohyb je výrazně tlumen kouřením. Hlen se tu u kuřáků hromadí, a zhoršuje se tak zánět dýchacích cest.

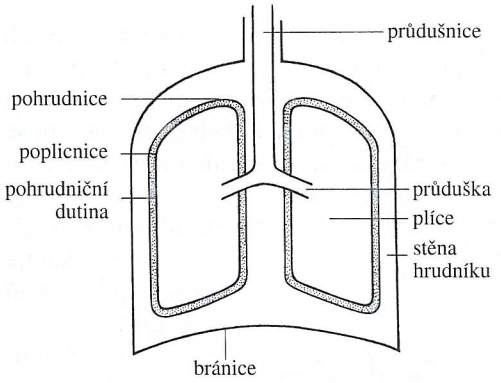
Obranným reflexem, který slouží k udržování průchodnosti dýchacích cest, je **kašel**. Vzniká podrážděním citlivých míst ve sliznici hrtanu, v průdušnici a průduškách. *Kýchnutí* je důsledkem podráždění sliznice nosní.

Respirační část dýchací soustavy

Vlastní dýchací orgán – **plíce**, mají kuželovitý tvar. Jsou uloženy v dutině hrudní a rozděleny na pravou a levou plíci. **Pravá plíce** je větší a je rozdělena na tři laloky, zatímco **levá** na laloky dva. Plicní tkáň je složena z větších

a menších trubic – průdušek a z plicních váčků. Je prostoupena cévami a nervy.

Na povrchu plic (obr. 45) je jemná blána – **poplicnice**, srůstající s plicním vazivem. Plíce nejsou prostřednictvím poplicnice přímo srostlé s hrudní stěnou. Na vnitřní straně hrudníku je rovněž jemná blána – **pohrudnice**. Mezi poplicnicí a pohrudnicí je štěrbina – *pohrudniční dutina*. Je vyplněna vodnatou tekutinou (o objemu 10–15 ml). Není-li prostor mezi poplicnicí a pohrudnicí porušen, plíce přiléhají k hrudní stěně v důsledku malého podtlaku v pohrudniční dutině. Plíce, které jsou elastické a mají tendenci se smršťovat, zůstávají proto rozepjaté.



Obr. 45 Schéma plic s poplicnicí a pohrudnicí, mezi nimiž je pohrudniční dutina vyplněná kapalinou

Vlastním místem výměny plynů jsou **plicní váčky**, jejichž stěny jsou vyklenuty v **plicní sklípky** – *alveoly* (obr. 43B). Stěny alveolů jsou tvořeny jen jednou vrstvou velmi plochých buněk (*respirační epitel*), ke které po většině vnějšího povrchu přiléhají plicní kapiláry. Celkový povrch alveolů činí u člověka přibližně 80 m^2, což je 40krát více než je povrch těla. Výměna plynů mezi vzduchem a krví probíhá difuzí přes alveolo-kapilární stěnu o tloušťce asi 2 μm, tvořenou jen dvěma vrstvami buněk. V plicích je tolik kapilár, že v každém okamžiku zde probíhá výměna plynů s jedním litrem krve.

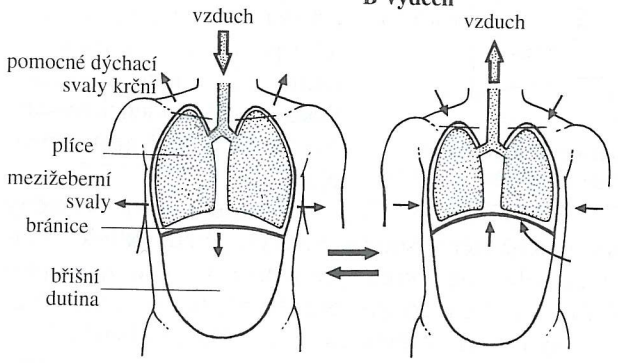
2.4.2 PLICNÍ VENTILACE

Plicní ventilace je mechanický proces, při kterém se pohybuje vzduch do plic a z plic. Dýchací ústrojí pracuje jako sací čerpadlo na základě změn tlaku v plicích. Dýchací svaly střídavě zvětšují objem hrudní dutiny ve všech směrech (obr. 46). Změny objemu hrudní dutiny se přímo přenášejí na plíce, které jsou k hrudníku připojeny prostřednictvím pohrudnice a poplicnice. Plíce se přitom chovají jako dva pružné vaky. Tlak vzduchu se při dýchání v plicích střídavě zmenšuje (při vdechu) a zvětšuje (při výdechu) a v důsledku toho proudí vzduch ve směru tlakového spádu do plic nebo je z nich vypuzován. Změny objemu vzduchu v plicích se v podstatě řídí Boylovým-Mariottovým zákonem, podle něhož tlak plynu je nepřímo úměrný jeho objemu

(jinak vyjádřeno: $p \cdot V$ = konst.). Vdechovaný atmosférický vzduch obsahuje (v % objemu – zaokrouhleno): 21 % O_2, 79 % N_2 a 0,03 % CO_2, vydechovaný vzduch 16 % O_2, 79 % N_2 a 4 % CO_2.

Vdech a výdech

Vdech se uskutečňuje pomocí stahů **bránice** a **mezižeberních svalů** (obr. 46), které zvětšují objem hrudní dutiny. Bránice, před začátkem vdechu kupolovitě vyklenutá v podobě zvonu, se stahem zplošťuje. Tlakem na útroby se zvedá břišní stěna. Stah bránice připomíná pohyb pístu, kterým se nasává do plic vzduch. Současně dochází ke stahu zevních mezižeberních svalů, které zvětšují hrudní dutinu směrem nahoru a dopředu. Pohyby hrudníku a bránice pasivně sleduje pružná plicní tkáň a vzduch se nasává do plic. Zatímco vdech je děj aktivní, výdech je děj pasivní – relaxace svalů po vdechu zpětným účinkem elastických složek plic a hrudníku. Při silném volním výdechu mohou pomáhat břišní svaly a vnitřní mezižeberní svaly.

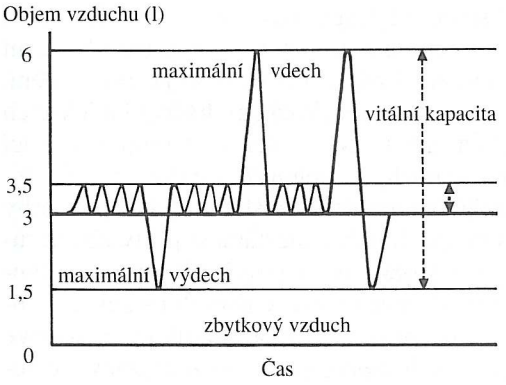


Obr. 46 Ventilační pohyby: A vdech, **B** výdech. Zvětšením hrudní dutiny činností vdechových svalů (bránice a mezižeberních svalů) se uvnitř plic snižuje tlak a vzduch proudí do plic. Po uvolnění svalů a návratem hrudní dutiny k původnímu menšímu objemu tlak uvnitř plic stoupá a vzduch je vytlačován z plic

Převládá-li při dýchání činnost žeber, mluvíme o *žeberním dýchání*, převládá-li činnost bránice, o *dýchání bráničním* (břišním). Brániční dýchání se má podílet na celkové plicní ventilaci značným dílem (asi 65 % u mužů). Proto je užitečné brániční dýchání cvičit. Velikost plicní ventilace závisí na dvou činitelích: na objemu vzduchu, který se jedním vdechem a výdechem vyměňuje (na hloubce dýchání), a na počtu vdechů za minutu (frekvenci dýchání).

Množství vzduchu vstupujícího a vystupujícího během jednoho dechu se označuje jako *dechový objem* (obr. 47). V klidu je to asi 500 ml. Frekvence dýchání v klidu činí asi 14–18 vdechů za minutu, takže průměrný objem činí 7–9 litrů vzduchu. Při jednom vdechu bez usilovného vydechnutí můžeme vdechnout celkem asi 3 litry vzduchu. Po usilovném vydechnutí však až

4,5 l (u mužů 4,8 l, u žen 3,1 l, u trénovaných osob až 6 l). Toto množství vzduchu se nazývá **vitální kapacita plic** (obr. 47). Jinými slovy vitální kapacita plic je objem vzduchu, který po hlubším vdechu usilovně vydechneme. Při těžké práci a dechové frekvenci asi 40 vdechů za minutu vdechujeme jedním vdechem asi 3,5 l vzduchu. Zřídka dochází k využití vitální kapacity plic na více než na 50 %. Rovněž se nevyužívá horní hranice dechové frekvence, která je asi 60 vdechů za minutu.



Obr. 47 Diagram znázorňující objem vzduchu, který se vyměňuje v plicích při dýchání. V klidu se vyměňuje přibližně 500 ml vzduchu (střední část grafu)

Při dýchání se ovšem nevyužívá všechen vzduch, který vstoupí do dýchací soustavy. Nevyužit zůstává vzduch v dýchacích cestách. Prakticky to znamená, že vdechneme-li 500 ml vzduchu, 150 ml zůstává v dýchacích cestách a jen 350 ml čerstvého vzduchu (nikoliv 500 ml) se dostává do alveolů. Prostor dýchacích cest se označuje z tohoto hlediska jako *mrtvý prostor.* Čím dýcháme povrchněji, tj. mělce, tím menší je využití dechového objemu. Například při dechovém objemu 300 ml dojde do plic již jen 150 ml čerstvého vzduchu. Malý dechový objem se projeví při tělesné práci vysokým zvýšením dechové frekvence. Zvětšení dechového objemu zvyšuje účinnost dýchání. Je možno ho dosáhnout fyzickým tréninkem. Sportovní činnost zvyšuje i vitální kapacitu plic.

Kyslíkový dluh. Po ukončení tělesného cvičení se spotřeba kyslíku, a tím i plicní ventilace, nevrací ihned k hodnotám před počátkem cvičení. Po určitou dobu přetrvává zvýšené dýchání. Kyslík, který se přitom v tkáních spotřebovává, je využíván ke splácení tzv. **kyslíkového dluhu**, který se vytvořil při cvičení. Kyslíkový dluh zahrnuje kyslík, který je třeba doplnit v hemoglobinu červených krvinek, dále kyslík, který se spotřebovává v důsledku zvýšené tělesné teploty tkání, a kyslík, který je třeba k oxidaci kyseliny mléčné, která se vytvořila při cvičení. Svaly v té době pracovaly do určité míry na kyslíkový dluh, protože získávaly část energie štěpením glykogenu na kyselinu mléčnou pochody anaerobní glykolýzy.

2.4.3 KONTROLA PLICNÍHO DÝCHÁNÍ

Při dýchání je třeba, aby byla zajištěna pravidelnost (*rytmicita*) činnosti dýchacích svalů a aby plicní ventilace svou rychlostí a hloubkou byla ve shodě s potřebami organismu.

Dýchací svaly se rytmicky stahují, čímž připomínají rytmickou činnost srdce. Původ obou těchto rytmů však není stejný. Srdeční sval má vlastní automacii, tj. má schopnost sám vytvářet rytmickou aktivitu. Nervy přicházející k srdci pouze mění základní srdeční rytmus, pro vznik srdečního stahu však nejsou potřebné. Naopak bránice a mezižeberní svaly jsou kosterní svaly, které se mohou stahovat jen prostřednictvím nervového podráždění. **Dýchání** proto zcela závisí na opakujícím se cyklickém dráždění dýchacích svalů nervy vycházejícími z páteřní míchy. Míšní nervy inervující dýchací svaly jsou aktivovány z prodloužené míchy z *dechového centra*.

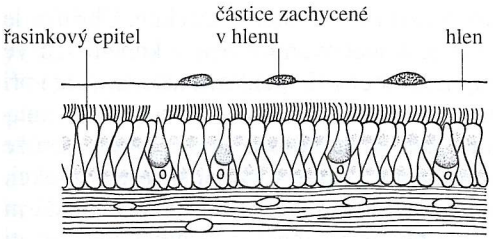
Neurony dechového centra mají schopnost samostatné cyklické tvorby vzruchů, tj. mají automacii a rytmicitu. Jejich samostatnost při tvorbě vzruchů není však úplná, protože na ně působí vlivy z jiných částí nervové soustavy. Prostřednictvím neuronů v prodloužené míše citlivých na zvýšení obsahu CO_2 a snížení O_2 se činnost dechového centra urychluje. Smyslové buňky reagující na změny CO_2 a O_2 (*chemoreceptory*) jsou uloženy i v některých cévách. Hlavním činitelem ovlivňujícím velikost plicní ventilace je parciální tlak CO_2, až na druhém místě parciální tlak O_2.

Zvýšení parciálního tlaku CO_2 v krvi stimuluje tedy receptory citlivé na CO_2. Signály z receptorů aktivují dýchací centrum, zvýší se plicní ventilace a hodnoty obsahu CO_2 v krvi se vrátí k normě. Přebytečný CO_2 je odstraněn a krev se současně obohatí v plicích kyslíkem. Kontrolní mechanismus zajišťuje stálost vnitřního prostředí – *homeostázu*. Při nízkém obsahu CO_2 naopak kontrolní mechanismus způsobí snížení plicní ventilace.

Činnost dýchacího centra ovlivňuje také aktivita vycházející z mozkové kůry a podkorových oblastí (např. při pocitu bolesti, emocích nebo horečce). Nervové mechanismy vycházející z mozkové kůry zprostředkují také volní dýchání. Dýchací pohyby můžeme vůlí udržovat, ale také zadržovat. Při zadržování dechu se však nahromadí v krvi tolik CO_2, že jeho stimulační vliv na dýchací centra převládne a potlačí volní inhibici dýchání. Není tedy možno se zadusit pouhým zadržením dechu.

2.4.4 NERESPIRAČNÍ FUNKCE DÝCHACÍ SOUSTAVY

Vedle trávicí soustavy je dýchací soustava nejrozsáhlejším vstupem, jímž se dostávají do těla různé látky, a to často i látky škodlivé. Vstupu drobných částic, které přicházejí do dýchacích cest obvykle v podobě prachu, se dýchací soustava brání. Kmitající řasinky epitelu dýchacích cest (obr. 48) posunují vylučovaný hlen, na nějž se zachycují prachové částice, často vázající mikroorganismy, směrem od plic do hrtanu a hltanu, kde jsou polknuty. Aktivitu řasinek potlačují oxid siřičitý (SO_2), nikotin a dehtové usazeniny vznikající z cigaretového kouře. Hlen a tekutina potom zůstávají a hromadí se v plicích a činí je náchylnými k infekcím. Dlouhodobě některé látky v tabákovém kouři mohou způsobit vznik rakoviny. Kouření může způsobovat i aterosklerotické změny v cévách a zvyšovat riziko srdečního infarktu.



Obr. 48 Řasinkový epitel dýchacích cest posunuje hlen směrem od plic, a tím odstraňuje v hlenu obsažené škodlivé částice směrem od plic

Dráždění dýchacích cest nahromaděným hlenem a pevnými částicemi vyvolává různé obranné reflexy, které se projevují kýchnutím nebo kašláním. Obranné reflexy vyvolávají i čpavé a jiné dráždivé látky.

Podráždění některých receptorů v plicích způsobuje reflexní stažení bronchiol jako odpověď na působení škodlivých činitelů (kouř a smog). Ke stahu hladkých svalů bronchiol dochází také při působení některých alergenů (cizorodých látek), což znesnadňuje dýchání (*bronchiální astma*).

Zvláštní funkcí dýchací soustavy u člověka je její účast na tvorbě **hlasu – řeči**, muzikálních projevů a rovněž různých zvukových projevů emocí. Na vytváření artikulované řeči se účastní hrtanové svaly, které pohybují hrtanovými chrupavkami. Přitom se mění napětí hlasivkových vazů a tvar hlasivkové štěrbiny, a tím i výška hlasu. Na tvorbě řeči se podílejí mluvidla (měkké patro, dásně, jazyk, zuby, rty).

Z dalších funkcí dýchacích cest je nutno jmenovat **ohřívání a zvlhčování vzduchu** před vstupem do plic. Vzduch se ohřívá kontaktem s hustě prokrvenou sliznicí zvláště v horní části dýchacích cest. Voda obsažená v hlenu vylučovaném slizničními žlázkami se současně odpařuje a zvlhčuje vzduch vstupující do plic. Tím je zajištěno udržování stálé vnitřní tělesné teploty a plicní tkáň je chráněna před vysoušením.

2.4.5 ONEMOCNĚNÍ DÝCHACÍ SOUSTAVY

Dýchací cesty jsou místem, jímž vnikají do organismu viry, způsobující nejrozšířenější virové onemocnění – *chřipku*. Dále jimi vstupují do těla také různé bakterie.

Chřipka je akutní onemocnění, které postihuje převážně horní cesty dýchací v podobě rýmy, suchého dráždivého kašle a někdy bolesti v krku. Projevuje se současně celkovými příznaky, jako jsou horečka, bolesti hlavy a kloubů. Nejčastějšími komplikacemi jsou záněty vedlejších nosních dutin nebo záněty středního ucha. Inkubace je poměrně krátká. Symptomy chřipky

se objevují poměrně rychle během prvních dvou dnů od infekce. Chřipka je onemocnění vysoce nakažlivé. Šíří se vdechováním virů v kapénkách ve vzduchu vydechovaném infikovanými osobami (kapénková nákaza), ale i při podání rukou. Velmi citlivé jsou děti ve věku mezi 5 a 14 lety, jejichž imunitní systém není ještě zcela vyvinut, ale i mladí dospělí lidé. Chřipka může být zvláště nebezpečná u lidí s oslabenou obranyschopností proti infekci. Zvláště ohroženi jsou starší lidé, diabetici a kardiaci v důsledku sekundární bakteriální infekce vyvolávající zánět plic nebo zánět srdečního svalu. Proti chřipce jako virovému onemocnění se sice začínají používat léky působící přímo proti vyvolavateli – *antivirotika*, ale přímou metodou boje proti chřipce stále zůstává *preventivní každoroční očkování*. U nás se však očkování účastní jen malé procento obyvatel.

Překonání chřipkového onemocnění vyžaduje teplo a klid na lůžku. Pomocnými léky jsou vitamin C a léky proti horečce – *antipyretika* (Paralen, Ibuprofen aj.). Podle novějších názorů není potřebné snižovat teplotu podáváním antipyretik, pokud horečka nepřesáhne 38 °C. Týká se to ale především mladších a zdravých lidí. Mírně vyšší teplota totiž přispívá k tvorbě protilátek. Při horečce člověk vypotí velké množství tekutin, které se musí doplňovat, nejlépe čajem s citronem. Teprve při navazující bakteriální infekci (superinfekci) předepisuje lékař antibiotika. Odolnost proti chřipce zvyšuje otužování, cvičení, čerstvý vzduch, strava bohatá na vitaminy, dostatek spánku a vhodné oblečení. Správná životospráva znamená předcházení nemoci zlepšením stavu sliznic a cév.

Známé jsou *tři typy virů chřipky*: typ A (nejvíce virulentní – prudce infekční), B a C. Očkovat je možno proti jednotlivým typům vakcinami obsahujícími bílkoviny chřipkového viru. Bílkoviny proteinového obalu virů vyvolávají tvorbu protilátek, ale nevyvolávají infekci. Protože se však objevují nové podtypy chřipkových virů jako výsledek změny v ribonukleových kyselinách, očkované osoby nejsou imunní proti novým podtypům. Nebezpečnost chřipky spočívá také v tom, že se šíří jako *epidemie*, resp. *pandemie* (epidemie na rozsáhlém území). Proto je v chřipkovém období důležité pobývat co nejméně v uzavřených prostorách, kde je mnoho lidí, a dodržovat osobní hygienu.

Lehčím méně závažným respiračním onemocněním je **nachlazení**, což je v podstatě také viróza, není však způsobena viry chřipkovými. Podobně jako chřipka může být i nachlazení doprovázeno infekcí bakteriální. Zima a nadměrná zátěž oslabují imunitní systém organismu, a proto vznik infekce podporuje prochlazení. Přenos virů se opět děje formou kapénkové infekce, ale i podáním ruky. Symptomy nachlazení jsou podobné jako při chřipce: rýma, chrapot, kašel, pálení v hrdle, zvýšená teplota a malátnost. Vysoká horečka však nebývá častá. Obranyschopnost organismu proti nákaze stejně jako při

chřipce posiluje otužování, strava bohatá na vitaminy a důsledná osobní hygiena. Prevence očkováním neexistuje.

Nejvážnějším infekčním onemocněním dýchacího ústrojí je dnes **zápal plic** čili *pneumonie*. Může být vyvolán bakteriemi i viry. Plicní sklípky jsou vždy zaplněny hlenem a tekutinou, což zhoršuje výměnu plynů. Onemocnění je doprovázeno podobnými příznaky jako chřipka, navíc ještě celkovou schváceností. Zvláště nebezpečná je pneumonie pro osoby celkově oslabené, zvláště ve stáří.

Výskyt jiného závažného infekčního onemocnění plic – **tuberkulózy**, vyvolávaného bakterií *Mycobacterium tuberculosis*, se podařilo ve vyspělých zemích díky moderní hygieně, účinné léčbě antibiotiky a jinými léky a očkováním potlačit na minimum. Přesto však zůstává tuberkulóza nebezpečným onemocněním, protože se objevují nové rezistentní kmeny bakterií, na něž neúčinkují obvykle používané léky proti tuberkulóze.

Tracheostomie. U pacientů s neprůchodností hrtanu nebo při uměle řízeném dýchání se provádí chirurgický výkon zvaný tracheostomie. Na krku se přitom v průdušnici vytvoří otvor umožňující trvalé dýchání. Otvor lze opět chirurgicky uzavřít. Podobná je *tracheotomie*. Při ní je aplikována trubice do průdušnice.

Otázky a náměty ke studiu

1. *Charakterizujte horní a dolní cesty dýchací.*
2. *Čím je vyplněna pohrudniční dutina (štěrbina)?*
3. *Které jsou hlavní dýchací svaly a jak jsou ovládány?*
4. *Jaká je fyzikální příčina toho, že vzduch při vdechu vstupuje do plic?*
5. *Proč je mělké, povrchní dýchání málo účinné?*
6. *Proč se nemůžeme zadusit prostým zadržením dechu?*
7. *Jaký je rozdíl mezi chřipkou a nachlazením? Jak se jim bránit a jak je léčit?*
8. *Které je nejzávažnější a poměrně časté onemocnění plic?*

2.4.6 PŘENOS KYSLÍKU A OXIDU UHLIČITÉHO

Z plicních sklípků přechází kyslík difuzí jejich stěnou do plicních kapilár a odtud je transportován krví do kapilár ve tkáních. Oxid uhličitý je přenášen opačným směrem.

Silou, která určuje směr a rychlost difuze, je rozdíl parciálních tlaků obou plynů ve vzduchu v plicních alveolech na jedné straně a v krvi v plicních kapilárách na druhé straně.

Parciální tlak O_2 (pO_2) v alveolárním vzduchu činí asi 14 kPa (ve vzduchu atmosférickém 20 kPa). Krev opouštějící plicní kapiláry je téměř zcela

v rovnováze s alveolárním vzduchem, takže pO_2 arteriální krve činí asi 13,3 kPa. Parciální tlak kyslíku (pO_2) ve tkáních v těle se pohybuje mezi 0 kPa až 5,3 kPa. Kyslík proto difunduje z arteriální krve tkáňových kapilár ke tkáňovým buňkám. Ve venózní krvi opouštějící tkáňové kapiláry zůstává určité množství O_2, a proto pO_2 má zde hodnotu okolo 5,3 kPa. Velmi činné svaly mohou však odebrat z arteriální krve téměř všechen kyslík, který krev obsahuje.

Podobně se podle tlakového spádu, ale opačným směrem pohybuje oxid uhličitý.

Přenos kyslíku krví

Kyslík se přenáší krví ve dvou formách:
1. fyzikálně rozpuštěný v plazmě,
2. vázaný na molekuly hemoglobinu v červených krvinkách.

Množství kyslíku přítomného v rozpuštěné formě je i při úplném nasycení velmi malé (3 ml O_2/l krve). Převážná část O_2 v krvi je vázána na hemoglobin v červených krvinkách (197 ml O_2/l krve). Z celkového množství kyslíku v krvi při úplném nasycení (200 ml O_2/l krve) je tedy více než 98 % přítomno ve vazbě s hemoglobinem.

Hemoglobin má dvě složky: bílkovinnou – globin (96 %) a nebílkovinný pigment – hem (4 %). Hem obsahuje železo s oxidačním číslem dvě (Fe^{II}). Jedna molekula hemoglobinu obsahuje čtyři hemové skupiny a čtyři polypeptidové řetězce. Její relativní molekulová hmotnost činí 68 000. Vlastnost hemoglobinu reverzibilně vázat kyslík závisí na Fe^{II} v hemu. Jedna molekula hemoglobinu váže tedy 4 molekuly kyslíku, na každou ze 4 hemových skupin jednu molekulu O_2. Oxidační číslo Fe^{II} v hemoglobinu se při vazbě s O_2 nemění.

Zjednodušeně:

$$Hb + 4\ O_2 \rightarrow Hb(O_2)_4$$

Hemoglobin, na který je navázán kyslík, nazýváme oxyhemoglobin, po uvolnění kyslíku deoxyhemoglobin nebo prostě hemoglobin. Oxygenace hemoglobinu je spojena se změnou barvy. Deoxyhemoglobin je modrý až červenofialový, oxyhemoglobin světle červený.

Za normálních podmínek v klidu, kdy tepenný pO_2 je asi 13,3 kPa a žilný 5,3 kPa, je hemoglobin nasycen v tepenné krvi asi z 97 % a v žilné krvi ze 75 %. Znamená to, že v klidu předává tkáním kyslík asi 23 % oxyhemoglobinu dostávajícího se v červených krvinkách do tkáňových kapilár.

Vazbou oxidu uhelnatého (CO) s hemoglobinem vzniká *karbonylhemoglobin* (dříve také označovaný jako karboxyhemoglobin). Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin velmi snadno, a tím znemožňuje vazbu hemoglobinu s kyslíkem. Afinita CO k hemoglobinu je 200–300krát větší než afinita kyslíku, a proto se CO váže na hemoglobin již při malém parciálním tlaku. Otrava oxidem uhelnatým může být smrtelně nebezpečná. Již 0,1 % CO ve vzduchu je nebezpečné a způsobuje vážné poruchy během 30–60 minut. Vazba CO na hemoglobin je podobně jako vazba O_2 reverzibilní, avšak odstranění CO z hemoglobinu je proces pomalý. Je třeba několika hodin na čerstvém vzduchu, aby se krev zbavila CO. Oxid uhelnatý vzniká při nedokonalém spalování uhlíkatých látek, jeho zdrojem ve vzduchu jsou dnes velmi často výfukové plyny motorových vozidel.

Přítomnost dusičnanů a dusitanů v potravě nebo v pitné vodě způsobuje oxidaci Fe^{II} v hemoglobinu na Fe^{III}. Vzniká *methemoglobin*, který není schopen přenášet kyslík. Na přítomnost dusitanů v pitné vodě jsou zvláště citliví kojenci.

Přenos oxidu uhličitého krví

Oxid uhličitý se přenáší krví ve třech formách:
1. fyzikálně rozpuštěný v plazmě,
2. ve formě HCO_3^-,
3. vázaný na hemoglobin.

Podobně jako kyslík, rozpouští se také oxid uhličitý v plazmě v poměrně malém množství, jež samo o sobě by nestačilo zajistit jeho přenos z tkání do plic. Na rozdíl od kyslíku však rozpuštěný oxid uhličitý přenášený plazmou (z celkového množství přenášeného CO_2 je to 8 %) nezůstává přítomen pouze v molekulární podobě, ale přeměňuje se na hydrogenuhličitanový ion (HCO_3^-). V plicích z něho opět vzniká oxid uhličitý (přeměna probíhá opačným směrem).

Reakci popisuje rovnice:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$$

Touto formou se přenáší 67 % CO_2. Zbývající část (asi 25 %) se váže na hemoglobin v tkáňových kapilárách a v plicích se zase uvolňuje. Hemoglobin pak opět může vázat kyslík.

Při vazbě hemoglobinu s kyslíkem se zvyšuje schopnost krve přenášet kyslík krví 70krát, zatímco vazba oxidu uhličitého na hemoglobin může zvýšit jeho množství v krvi podstatně méně.

Otázky a náměty ke studiu

1. Jak probíhá výměna plynů mezi vzduchem a krví?
2. Kolik molekul kyslíku váže jedna molekula hemoglobinu?