

## 5.2 Dýchací systém

Dýchání je v nejširším slova smyslu výměna plynů mezi organismem a zevním prostředím. Nasávání vzduchu do plic a jeho vypuzování z plic (ventilace) v důsledku změn nitrohrudního (pleurálního) tlaku vede ke změnám tlaků v plicních sklípcích (alveolech). Ke změnám dochází při cyklickém rozpínání hrudníku činností dýchacího svalstva. Hlavním svalem, který se uplatňuje při klidovém dýchání je bránice. Když se bránice aktivně stahuje (kontrahuje), zmenšuje se její vklenutí do hrudního koše, a tím se zvětšuje objem hrudní dutiny. Vedle bránice se na vdechu podílejí i zevní svaly mezižeberní. Při synchronní kontrakci s bránicí se zvedají žebra vzhůru, tím se hrudník vyklenuje a objem plic se rovněž zvyšuje. Plíce a hrudník jsou pružné struktury. Při výdechu elastické síly vracejí hrudník do výchozí polohy. Za klidových podmínek je výdech děj pasivní. Dýchání je za běžných podmínek zcela bezděčná, plně automatizovaná činnost.

Z funkčního hlediska můžeme dýchání rozdělit na systém zabezpečující transport vzduchu do plicních sklípků, výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi sklípkovým plynem a krví plicních kapilár, který probíhá pasivně podle zákonů difúze. Plyn z oblasti vyšší koncentrace difunduje do oblasti koncentrace nižší. Kyslík v plicích difunduje ze sklípků do krve a oxid uhličitý naopak. Tuto soustavu na sebe navazujících dějů označujeme jako vnější dýchání. Vnitřním dýcháním rozumíme výměnu plynů mezi buňkou a jejím okolím.

Krevní systém obstarává transport plynů mezi plicními sklípkami a buňkami tkání (obr č.15). Aby se krev mohla v plicích zbavit oxidu uhličitého a obohatit o kyslík, musí proudit v dostatečném množství kapilárami ventilovaných sklípků a naopak, aby byla využita sklípková nabídka kyslíku, musí být ventilované sklípky náležitě prokrveny (perfundovány). Jen správný poměr mezi ventilací a perfúzí zaručuje dokonalou výměnu dýchacích plynů.

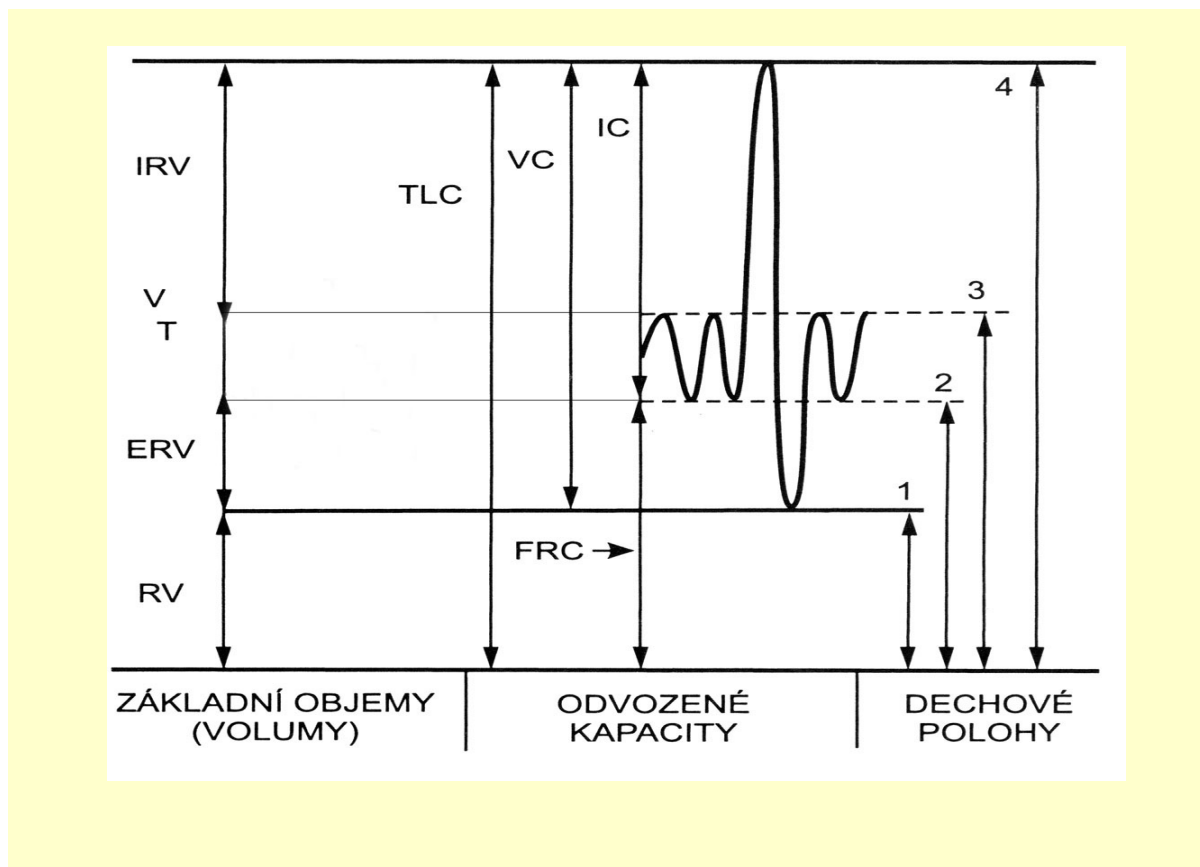
Souhru všech funkcí udržují za fyziologických okolností v klidu i při zátěži složité regulační mechanismy zabezpečující stálost vnitřního prostředí organismu. Tyto regulační mechanismy jsou reprezentovány především centry ústředního nervového systému na jedné straně a periferními receptory na straně druhé.

Protože výměna plynů mezi vzduchem a krví probíhá jen na úrovni alveolo-kapilární membrány, je z anatomie patrné, že existuje část dýchacích cest, kde žádná výměna plynů neprobíhá (nos, ústa, průdušnice, průdušky). Tento anatomický mrtvý prostor má objem kolem 150 ml. Protože však v klidu nejsou všechny plicní sklípky účinné při výměně plynů mezi vzduchem a krví plicních kapilár, existuje také fyziologický (funkční) mrtvý prostor a jeho ventilace je označována termínem ventilace funkčního mrtvého prostoru. Zbylá

ventilace je označována termínem efektivní alveolární ventilace. Tlak  $\text{CO}_2$  v tepenné krvi je přímo úměrný metabolické produkci a nepřímo úměrný sklípkové ventilaci.

Základní hodnoty plicních objemů a z nich odvozené veličiny se určují v jednotlivých dechových polohách – nádechu (inspiriu) a výdechu (expiriu) při klidném dýchání a maximálním nádechu a maximálním výdechu (obr. č.12 )

Objem vdechnutého a vydechnutého vzduchu v klidu je dechový objem ( $V_T$ ). Normální hodnota kolem 500 ml. Objem vzduchu získaný usilovným nádechem po nádechu klidném označujeme jako inspirační rezervní objem (IRV). Norma je kolem 3 litrů. Po klidném výdechu můžeme vydechnout další objem vzduchu (do 1500 ml), tzv. expirační rezervní objem (ERV). I poté v plicích zůstává určité množství vzduchu (reziduum), proto hovoříme o reziduálním plicním objemu (RV). Množství vzduchu, které vydechneme maximálním výdechem po maximálním nádechu je vitální kapacita ( $V_T + \text{IRV} + \text{ERV} = \text{VC}$ ). Její průměrná hodnota je 4 až 5 l u žen a 5 až 6 l u mužů. Součet  $\text{VC} + \text{RV} = \text{TLC}$  – totální plicní kapacita.  $\text{ERV} + \text{RV} = \text{FRC}$  – funkční reziduální kapacita.  $V_T + \text{IRV} = \text{IC}$  – inspirační kapacita.



**Obr. č. 12** Dechové objemy a odvozené veličiny

### 5.2.1 Reakce na zátěž

Obdobně jako u kardiovaskulárních ukazatelů můžeme při reakci parametrů odrážejících funkci dýchacího systému charakterizovat fázi úvodní s jejich zvýšením v rámci komplexu změn u předstartovních stavů. V průběhu vlastní dynamické zátěže konstantní intenzity do úrovně ANP rozlišujeme fázi iniciální do 45 s, kdy dochází k prudkému nárůstu hodnot. V následující přechodné fázi (2 – 3 min) je nárůst hodnot méně výrazný. Následná fáze s udržováním sledovaných parametrů na stejné úrovni je výrazem rovnováhy metabolických dějů rovnovážného stavu („steady state“). Při vysokých zátěžích není rovnovážného stavu dosaženo. Fáze zotavení po skončení zátěže je charakterizována poklesem hodnot a může trvat, podle délky a intenzity zátěže, i desítky minut. Při dynamické zátěži stupňované intenzity hodnoty stoupají lineárně. Na úrovni 60 – 70%  $\text{VO}_2$  max dochází ke zlomu a výdej  $\text{CO}_2$  a minutová ventilace (VE) vzrůstají rychleji než objem příjmu kyslíku ( $\text{VO}_2$ ). Bylo dosaženo anaerobního prahu. Dechová frekvence se při stupňovaném zatížení postupně zvyšuje. Pohybuje se v rozmezí od 20 – 30 dechů za minutu při lehčích zátěžích, do 40 – 60 dechů za minutu při zátěžích velmi těžkých. Dechová frekvence je vůlí ovlivnitelná. Při některých sportovních činnostech může být dýchání zastaveno, například při vzpírání, skocích, potápění, nebo synchronizováno s pohybem při cyklických aktivitách jako jsou běhy, veslování, plavání, cyklistika (Havlíčková, 2004).

Dechový objem (VT) se při vyšších intenzitách zátěže zvyšuje z klidových hodnot 0,5 – 0,6 l na 2 – 3 l. Při vyjádření v procentech individuální plicní kapacity při namáhavém výkonu představuje až 50% VC. Dechový objem se zvyšuje zpočátku postupným využíváním IRV, později, při dalším urychlení DF i ERV. To předpokládá, zpravidla po překročení DF 40 za minutu, zapojení i výdechového svalstva (vnitřní mezižeberní svaly i svaly břišní).

Vitální kapacita je klidovým parametrem, určeným při spirometrickém vyšetření v klidových podmínkách. Po mírné zátěži se může mírně zvýšit, naopak při dlouhodobých vyčerpávajících výkonech při únavě dýchacího svalstva může klesnout až na 60% výchozí klidové hodnoty .

Minutová ventilace stoupá v průběhu stupňované zátěže do úrovně anaerobního prahu, po jeho překročení dochází k jejímu zvýraznění – hyperventilaci, při výraznějším dráždění dýchacího centra v prodloužené míše vyšší hladinou  $\text{CO}_2$ . Zvyšuje se i množství vzduchu

proventilované plicemi, ze kterého si organismus odebere 1 l O<sub>2</sub>-ventilační ekvivalent pro kyslík (VEO<sub>2</sub>). Při kritickém zvýšení dechové frekvence může dojít ke snížení dechového objemu, a tím i minutové ventilace.

Minutová ventilace klesá po skončení zátěže v prvních 2 minutách rychle, později pozvolněji. Dosažení klidových hodnot se shoduje s klidovými hodnotami spotřeby kyslíku.

### 5.2.2 Mrtvý bod

Je označení pro komplex subjektivních příznaků a objektivních projevů, které se dostavují při výkonech střední až maximální intenzity trvajících déle než 40 – 60 min. Dochází ke zrychlení frekvence dýchání, pocitu nedostatku vzduchu (dušnosti), projevům únavy pracujících svalů, vzestupu tepové (srdeční) frekvence i krevního tlaku. Výsledkem je pokles výkonnosti. Pokud jsou obtíže překonány, dochází k jejich úpravě a nastupuje „druhý dech.“

### 5.2.3 Respirační kvocient a poměr respirační výměny

Jsou poměry mezi výdejem CO<sub>2</sub> a příjmem kyslíku. Respirační kvocient (RQ) platí pro výměnu plynů v buňce, kde je O<sub>2</sub> spotřebováván a CO<sub>2</sub> produkován. Klidová hodnota kolem 0,8. V klidu nebo při nižších zátěžích, které vedou k déle trvajícimu rovnovážnému stavu je ovlivňován druhem živin, které jsou metabolizovány.

Glycidy.....RQ=1,0  
Tuky.....RQ=0,7

Při zátěži překračující úroveň anaerobního prahu není zvýšení parciálního tlaku oxidu uhličitého způsobeno pouze CO<sub>2</sub> tvořeným při oxidativních reakcích v buňkách, ale i CO<sub>2</sub> vytěšňovaným z bikarbonátového nárazníkového systému při kompenzaci metabolické acidózy. Zvýšená produkce CO<sub>2</sub> může takto zkreslovat hodnotu respiračního kvocientu charakterizujícího energetický zdroj. Kvocient může stoupnout na hodnoty vyšší než 1 přesto, že jeho maximální hodnota při metabolismu cukrů může být rovna maximálně 1. Proto v běžné praxi při spiroergometrickém vyšetření hovoříme o RER – poměru respirační výměny (respiratory exchange ratio), který v rovnovážném stavu při aerobním způsobu krytí energie odpovídá RQ. Při intenzitě zátěže překračující anaerobní práh se zvýšenou produkcí CO<sub>2</sub> je jeho hodnota vyšší než RQ. Při intenzitě zátěže blízké individuálnímu maximu je větší než 1.

#### **5.2.4 Adaptace na zátěž**

Zlepšuje se mechanika dýchání, zlepšuje se pohyblivost bránice. Její podíl na plicní ventilaci je 50 – 60%. Zvyšuje se počet aktivních sklípků, zmenšuje se fyziologický mrtvý prostor, dýchání je ekonomičtější. Dechová frekvence je nižší při standardním i maximálním zatížení, je vyšší maximální dechový objem 3 – 5 l (60 – 80% VC). Trénovaní jedinci mají vyšší vitální kapacitu odpovídající 120 – 140% náležité hodnoty, nižší minutovou ventilaci při standardním zatížení, ale vyšší maximální hodnotu odpovídající 120 – 160% normy. Zvyšuje se extrakce kyslíku tkáněmi. Zvyšuje se úroveň anaerobního prahu jako výraz zlepšení aerobního způsobu získávání energie, vyšší maximální kyslíkový dluh svědčí pro větší anaerobní kapacitu.

