

# Lékařská fakulta v Plzni

Univerzita Karlova v Praze

## Poznámky k fyziologii a patofyziologii z pohledu anesteziologa a intenzivisty

Doc. MUDr. Eduard Kasal, CS.c.

*„Modernizace didaktických metod cestou podpory systému elektronického vzdělávání“,  
reg.č.CZ.1.07/2.2.00/28.0198*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato kapitola není učebnicí fyziologie, anatomie a patologické fyziologie. Obsahuje ve zkratce pouze poznámky z těchto oborů k připomenutí a snadnějšímu pochopení problémů, se kterými se denně setkáváme a zdůvodnění postupů, užívaných v každodenní klinické praxi anesteziologa a intenzivisty.

## 1. Základní životní funkce

Základní životní funkce jsou tři - vědomí, oběh a dýchání. Pro život je nutná rovněž stabilita vnitřního prostředí. Základní životní funkce jsou spolu vzájemně propojeny. Při selhání dýchání dochází k poruše vědomí a následně zástavě oběhu. Při primárním selhání vědomí dochází k obstrukci dýchacích cest, selhání dýchání a následně k zástavě oběhu. Při selhání oběhu dochází ke ztrátě vědomí se zástavou dechu.

### 1.1 Dýchání

Dýchání patří mezi základní životní funkce. Jeho hlavní funkcí je výměna životně důležitých krevních plynů kyslíku a oxidu uhličitého. Dýchání má ale i další funkce. Podílí se rovněž na:

- výměně vody
- regulaci tělesné teploty
- příjmu a vylučování látek (anestetika...)
- má rovněž vliv na oběh

**Dýchání dělíme na:**

- zevní = výměna plynů mezi vzduchem a krví a
- vnitřní = výměna plynů mezi buňkami a krví.

Spojovacím článkem mezi oběma typy dýchání je krevní oběh, který je další životní funkcí.

#### 1.1.1 Anatomie dýchacího ústrojí

Pro anesteziologa je důležitá v mnoha ohledech. Dýchací ústrojí zahrnuje:

- Dýchací cesty – Airways (A) - zajišťují průchod vdechované a vydechované směsi mezi zevním prostředím a plícemi
- Plíce - obsahují vlastní výměnnou plochu pro výměnu plynů.

**Dýchací cesty** přivádějí a odvádějí dýchací směs. Filtrují a ohřívají vdechovaný vzduch.

Nepodílejí se na vlastní výměně plynů a představují tak **anatomický mrtvý prostor**.

Dýchací cesty se dělí na **horní a dolní**, předělem mezi nimi je hlasivková štěrbina. Z pohledu možné obstrukce se podle typických příznaků dělí na **velké** (až po lobární bronchy) a **malé**, představované malými průduškami a průdušinkami.

Dýchací cesty mají několik úseků, které jsou z pohledu anesteziologa důležité.

### **Dutina ústní**

Představuje pro anesteziologa přístup do dýchacích cest. Při intubaci je důležitá schopnost náležitého otevření úst (normálně 30-35 mm), překážkou může být ztuhlost čelistního kloubu, viklavé nebo špatně konfigurované zuby, velký jazyk, ustupující brada, anatomické odchylky a rozštěpy.

### **Dutina nosní**

Filtruje a ohřívá vdechovanou směs. Představuje rovněž přístup do dýchacích cest a je cestou pro zavedení NG sondy. Častá je asymetrie nosní přepážky. Jedna třetina lidí má jeden z nosních průduchů neprůchodný.

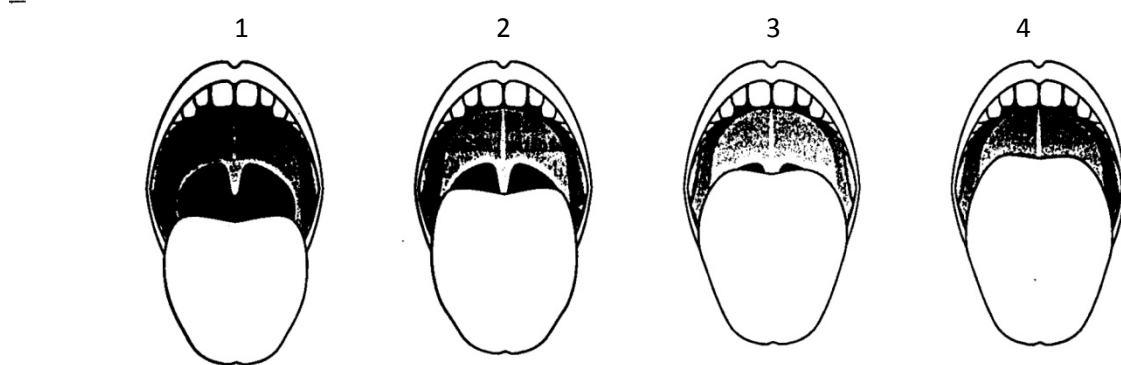
### **Hltan**

Hrtan se dělí na 3 úseky:

- **Nasofarynx**, který je bakteriálně kolonizován. Obsahuje adenoidní vegetace, které při zbytnění mohou představovat překážku při intubaci.
- **Orofarynx** - tvoří zadní stěnu dutiny ústní. Zbytnění tonsil může představovat rovněž překážku při intubaci.
- **Hypofarynx** - je místem, kde při poruše vědomí dochází k zapadnutí jazyka k zadní stěně hltanu, což představuje nejčastější příčinu obstrukce dýchacích cest.

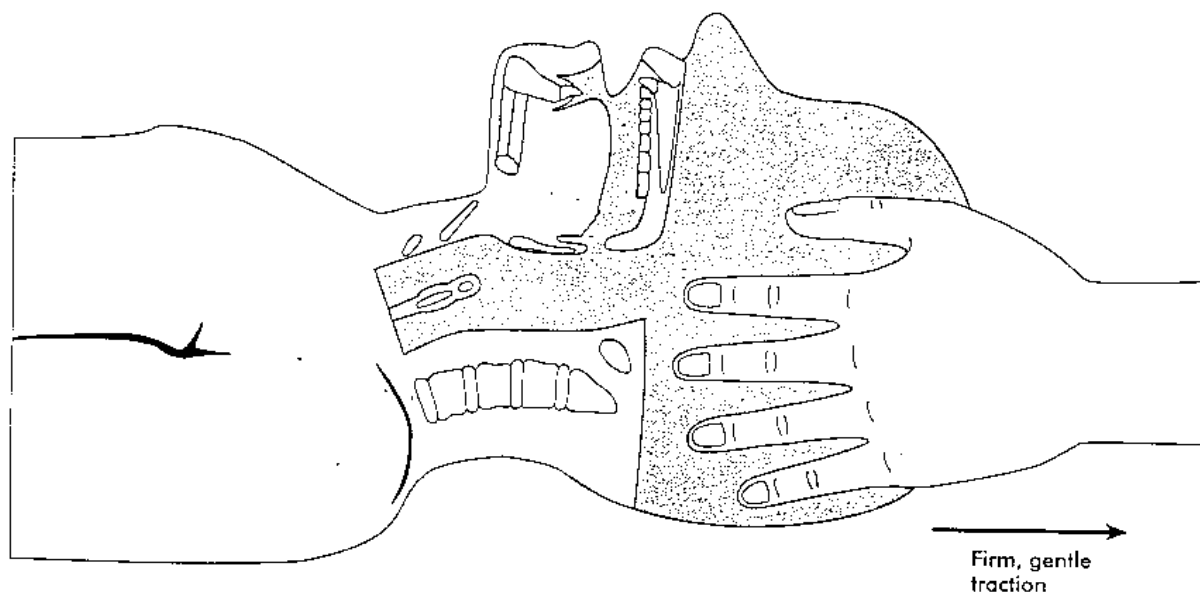
### **Hodnocení obtížnosti intubace**

U nemocného je třeba před anestezií posoudit řadu faktorů, které mohou představovat potenciální problémy při zajištění průchodnosti dýchacích cest. Pokud je pacient při vědomí, je možno vyhodnotit tzv. Mallampatiho skóre, při kterém se hodnotí pohledem poměry v dutině ústní a v hrdle. Skóre I představuje normální poměry s předpokladem bezproblémové intubace, při skóre IV je potřeba počítat s obtížnou intubací (difficult airways).

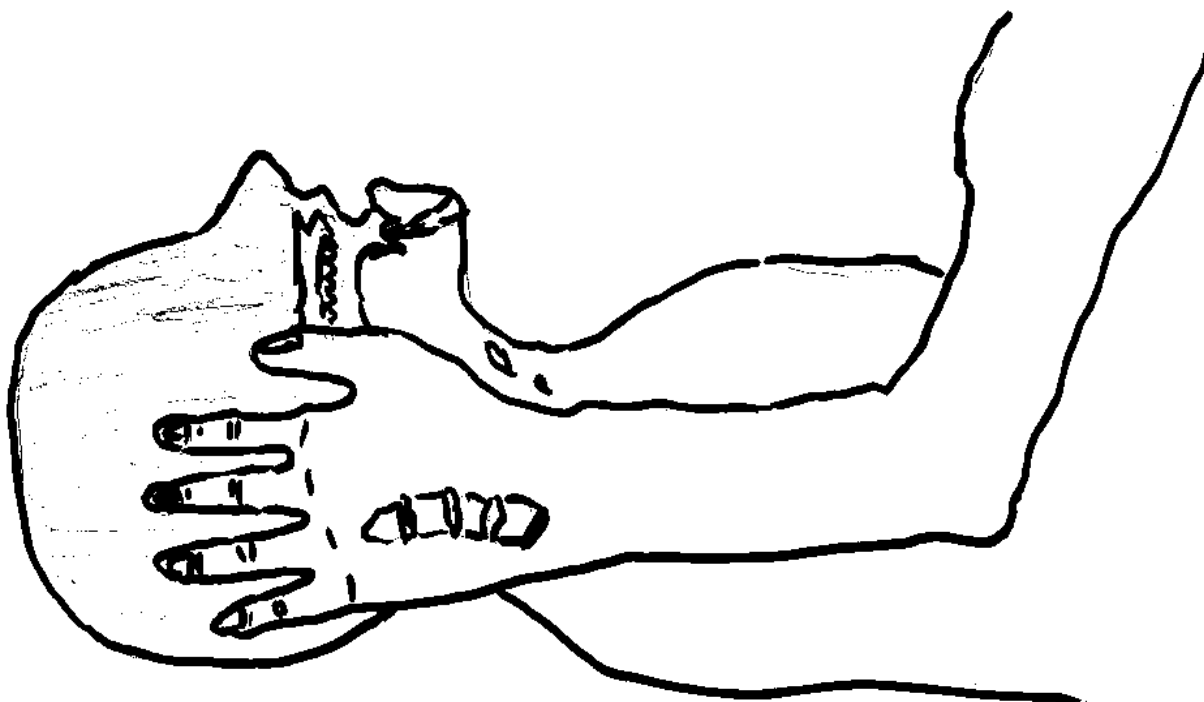


Mallampatiho skóre: 1 = normální stav, pravděpodobně intubace bez problémů, 4 = anatomické poměry nepříznivé, pravděpodobnost obtížné intubace

Při klinickém vyšetření před intubací kromě Mallampati skóre posuzujeme konfiguraci obličeje nemocného, stav chrupu (viklavé zuby, předkus...), schopnost otevření úst, thyreomentální vzdálenost (normálně kolem 6,5 cm), pohyblivost krční páteře a možnost záklonu hlavy. Pokud má nemocný nasazen fixační límec, nelze intubovat a fixační límec se musí uvolnit. V tom případě se musí krční páteř náležitě ochránit před možnými pohyby, případně je vhodné přizvat neurochirurga, aby rozhodoval o pohybovém omezení při pohybech hlavou. V urgentní medicíně při potřebě intubace lze užít 2 typy ochranných manévru:



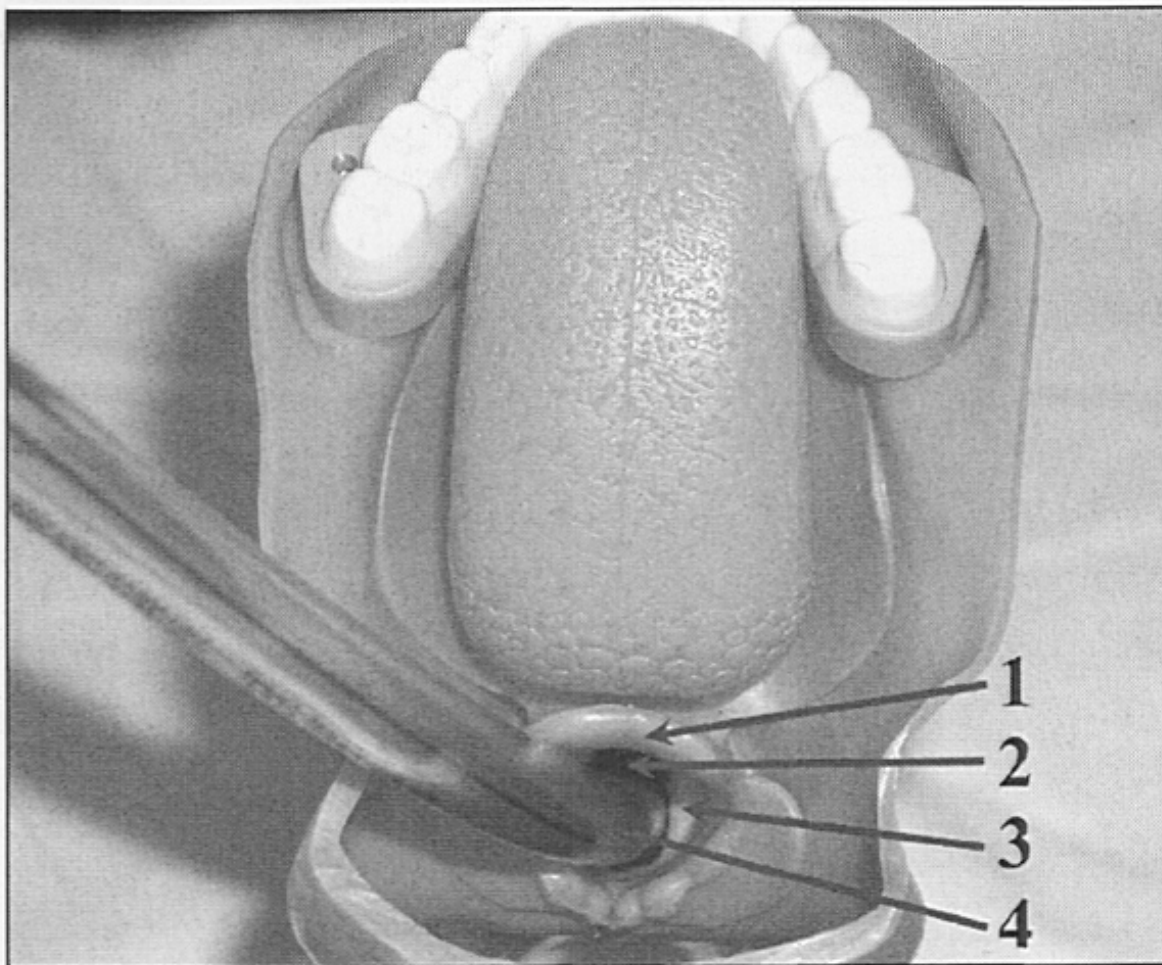
Manual in-line traction – jemný tah za hlavu dalším zachráncem při intubaci (není optimální, překáží).



Vytvoření bloku hlava – krk – trup rukama zachránce opřenýma na ramenou intubovaného, zachránce stojí proti inkubujícímu a brání volným pohybům hlavou.

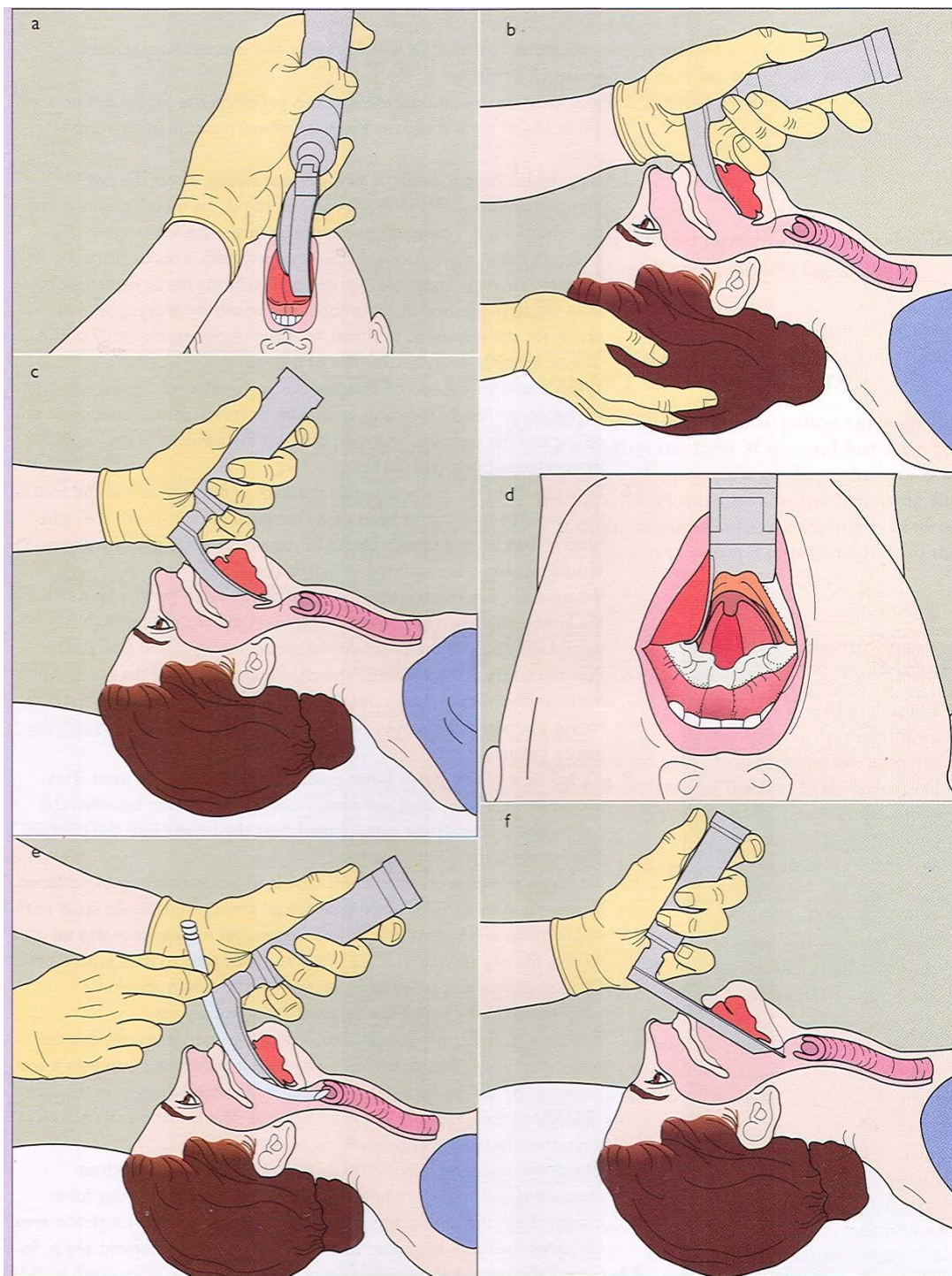
## Hrtan

- Představuje vstup do dolních dýchacích cest
- Je tvořen chrupavkami, klouby a příčně pruhovanými svaly
- Orientační bod - chrupavka štítná – ohryzek, pod kterou se nachází
- chrupavka prstencová = jediný uzavřený prstenec v průběhu dýchacích cest, jejím stlačením proti páteři lze komprimovat jícnem – tzv. Sellickův manévr užívaný k prevenci regurgitace žaludečního obsahu při intubaci.
- Ligamentum conicum – vaz, který se nachází mezi oběma chrupavkami, kde se provádí koniopunkce a koniotomie
- Inervace – n.vagus (zadní strana epiglotis) a IX. hlavový nerv (přední strana epiglotis)
- Epiglotis má funkci záklopky hrtanu, může být chorobně postižena zánětem = epiglottitis, často spojená se zbytněním a otokem – velké riziko obstrukce dýchacích cest.
- Předěl horních a dolních dýchacích cest tvoří hlasivky – v úrovni C4-6
- Hlasová štěrбина hraje důležitou roli při funkci mluvení, má tvar obráceného V a představuje nejužší místo dýchacích cest u dospělých.



Schématické znázornění vchodu do hrtanu po zavedení tracheální rourky

1 - epiglottis, 2 - hlasová štěrbina, 3 - hlasivka, 4 - zavedená endotracheální rourka



Postup při tracheální intubaci – laryngoskop se drží v levé ruce, lžice se zavádí z pravého ústního koutku a šetrně se svojí špičkou zavede do valekuly, kde je menší vegetativní odpověď než kdyby se zaváděla za epiglottis.

## Hrtan u dětí

- Odlišné uložení oproti dospělým - antepozice, je uložen výše a vpředu.
- Subglotický proror u malých dětí je užší, je zde snadno zranitelná sliznice, představuje nejužší místo v dýchacích cestách u malých dětí. Důsledky: při otoku dochází k rychlému rozvoji obstrukce, např. při dětské sufokující laryngotracheobronchitidě. Pokud se nutně musí intubovat rourkou s těsnicí manžetou, je třeba dát pozor na tlak v těsnicí manžetě, výhodnější je u malých dětí intubovat rourkou bez těsnicí manžety.

**Důležité pro praxi:** Při intubaci u dospělých, projde-li tracheální rourka přes hlasové vazy, je větší pravděpodobnost úspěšné intubace než u malých dětí, kde prostup rourky přes vazy nevylučuje možnost přetrvávání obstrukce dané subglotickým otokem. Pro intubaci se v této situaci musí volit značně menší tracheální rourka než by příslušela podle věku a anatomických poměrů v dýchacích cestách.

### Následky poruchy inervace hrtanu:

- Paréza n. recurrens: jednostranná – vede ke stridoru  
oboustranná – vyvolá obstrukci (převládne adduktor hlasivkového vazů)
- Plegie hlasivek – vyvolá identický problém
- Postižení všech nervů – má za následek střední postavení, vibrace při dýchání, tzv. kadaverozní postavení

## Laryngospasmus

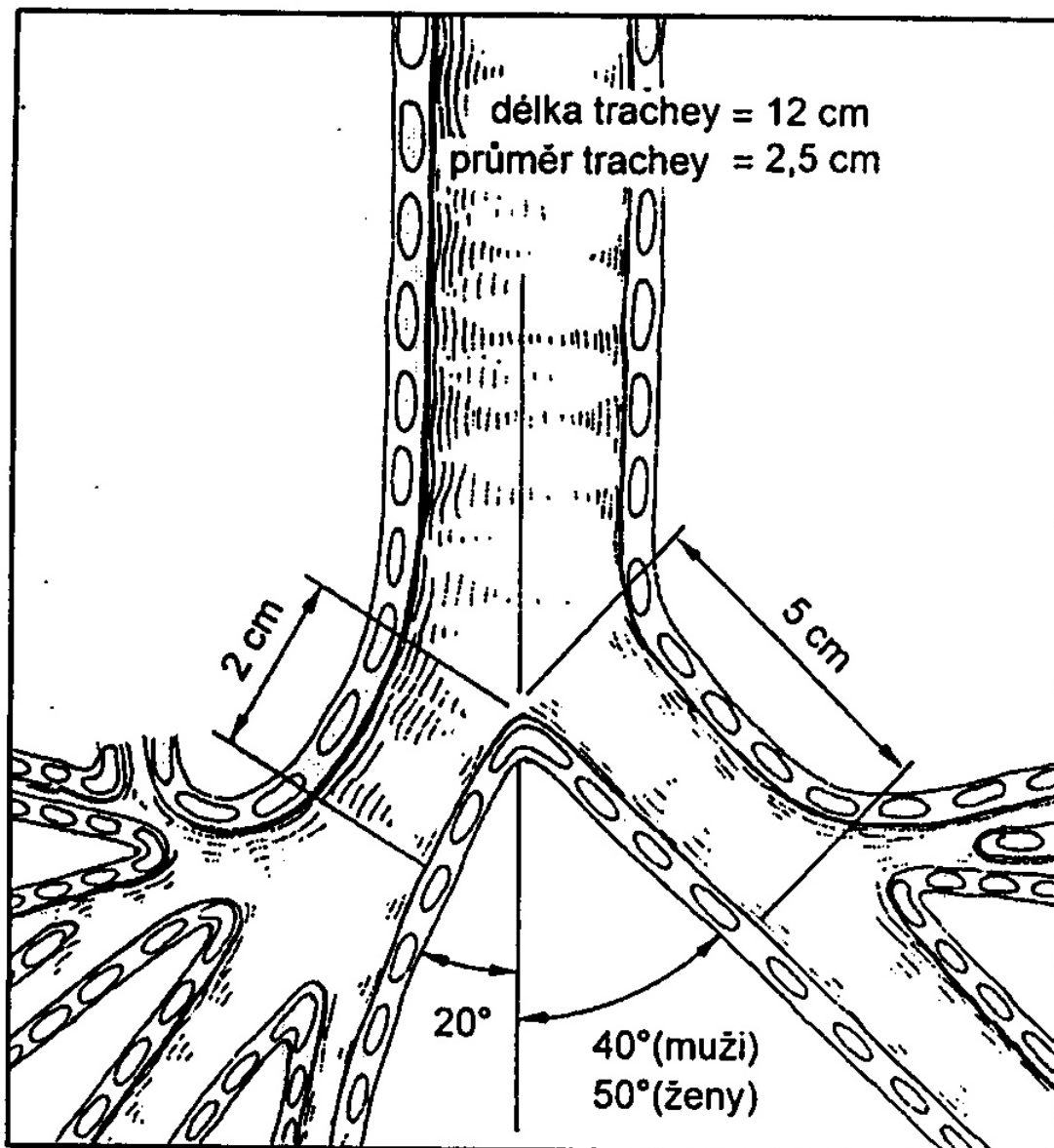
je ochranný reflex zprostředkovaný n. vagus.

- Příčiny: jedná se reflexní odpověď na:
  - přímé podráždění v oblasti hrtanu
  - nebo na stimulaci parasympatických pletení (anus, malá pánev, retroperitoneum, plicní hilus...)
- Projevy: inspirační stridor + sufokace.
- Význam inervace při intubaci: přední strana epiglottis – n. IX., zadní strana – n. X. , proto při stimulaci v této oblasti je větší reflexní odezva. Z tohoto důvodu se laryngoskopická lžice zavádí před epiglottis do vlekuly.
- Překážky pro intubaci představuje uložení hrtanu, otok, chorobná postižení (nádory, záněty epiglottis, poradiační změny...)
- Ochranné reflexy z dýchacích cest – nejvýznamnější a nejúčinnější je kašel.

- Oslabení reflexů u starých vyčerpaných lidí představuje snížení ochrany, proto při regurgitaci žaludečního obsahu do hltanu může vzniknout tzv. tichá aspirace.

## Trachea

- Tvoří ji 16-20 chrupavek, jejich průřez má tvar podkovy, je tvořena chrupavkami vzadu otevřenými.
- Pars membranacea – tvoří zadní stranu trachey, kde je možnost poranění při intubaci, odsávání nebo tracheotomii. Při užití široké tvrdé nasogastrické (NG) sondy a současné intubaci nebo tracheostomii při použití rourky nebo kanyly s těsnicí manžetou může dojít při přeplnění těsnicí manžety mezi ní a NG sondou ke vzniku dekubitu s následným vznikem tracheoesofageální píštěle. Jedná se jednu z nejhorších komplikací v intenzivní péči. Prevencí je užití kvalitních měkkých NG sond a pravidelné měření tlaku v těsnicí manžetě tracheální rourky nebo tracheostomické kanyly.
- Řasinkový epitel – pokrývá sliznici trachey a zajišťuje samočistící funkci – kmitá směrem ke vchodu do dýchacích cest. Tato funkce se významně oslabuje až zastavuje při inhalaci suché směsi plynů.
- Příčiny poruchy funkce řasinkového epitelu – hlavně z vyschnutí, pokud není použita zvlhčená vdechovaná směs plynů.
- **Tracheotomie** – při jejím provádění musí zůstat zachován 1. prstenec trachey.
- Větvení trachey – asymetrické, pravý bronchus u dospělých je téměř pokračováním trachey – což je hlavní příčina endobronchiálního zavedení tracheální rourky při intubaci do pravého bronchu. Bifurkace – karína – je velmi citlivá reflexogenní zóna. U dětí je odlišné větvení bronchů – úhel odstupu bronchů je symetrický, při endobronchiální intubaci je tudíž pravděpodobná možnost intubace do obou bronchů.
- Hlavní bronchy – viz obrázek



Znázornění větvení trachey u dospělých. Odstup lobárního bronchu vlevo je vzdálen cca 50 mm od větvení trachey, proto se častěji intubuje biluminární rourkou doleva. Při nutnosti pravostranné intubace, kde odstup pro pravý horní lalok je blízko větvení, je nutné užít speciální rourku s otvorem pro tento odstup umístěným nejčastěji v těsnící manžetě pro pravý bronchus.

## Rozměry dýchacích cest

| Věk         | Zuby-glottis cm | Glottis – karina cm | Průměr trachey cm |
|-------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| Novorozenec | 7               | 3,5                 | 0,5               |
| Žena        | 11 - 12         | 10 - 13             | 1,2 – 1,4         |
| muž         | 14              | 10 - 13             | 1,3 - 2           |

## Dechové parametry

| Věk         | Frekvence dýchání/min. | V <sub>T</sub>   | Mrtvý prostor V <sub>D</sub> |
|-------------|------------------------|------------------|------------------------------|
| Novorozenec | ➤ 40                   | 20               | 6 ml                         |
| Dospělý     | 16                     | 400-500 ml       | 150                          |
|             |                        | 6-7 ml/kg t. hm. | 2 ml / kg t.hm.              |

### 1.1.2 Plíce

Představují vlastní orgán, kde probíhá výměna plynů. Výměnná plocha plicních sklípků

je 55 – 70 m<sup>2</sup>. Mezi plicními sklípkami a kapilárami je alveolo-kapilární (A-K) membrána. Při intersticiálním otoku plic dochází k jejímu rozšíření a tím se zvětšuje vzdálenost pro přestup plynů (porucha difuze).

Plíce jsou uloženy v pleurálních dutinách, kde se nacházejí dva listy pleury: Pleura nástěnná a pleura viscerální, která je velmi citlivá. Mezi oběma listy pleury je negativní tlak, který udržuje plíce rozepjaté. Pokud dojde k porušení pleury a proniknutí vzduchu mezi oba listy, plíce vlivem elasticity plíce kolabuje a dochází ke vzniku **pneumotoraxu**. Plíce samotná nebolí, bolest pochází z pleury. Plicní hilus je bohatě vegetativně inervován a představuje významnou reflexogenní zónu, jejíž iritaci může dojít k oběhové nestabilitě. Levá plíce má dva laloky, pravá tři.

- **Plicní sklípky**- jejich stěna představuje vlastní výměnnou plochu. Sklípky udržuje rozepjaté filmová výstelka – surfaktant. Při jeho porušení (hypoxie, kontuze, tonutí, aspirace) nebo nedostatečné tvorbě (nedonošenost) sklípky kolabují a plíce se stává nevzdušnou.
- Síla A-K membrány = 0,2  $\mu$
- Plíce mají dvojí krevní zásobení: Nízkotlaké z plicního řečiště a vysokotlaké cévy z aorty -aa.bronchiales.
- **Pravá plíce** – zajišťuje 55% výměny plynů

- **Levá plíce** – 45% výměny plynů
- Klidné dýchání – zajišťuje bránice inervovaná ze segmentů C1-4. Vysoká transversální léze míšní vede k vymizení spontánní dechové aktivity.
- Mechanismus vdechu zajišťuje negativní nitrohrudní tlak způsobený distenzí hrudní stěny.
- **Umělá Plicní Ventilace (UPV)** – většinou se jedná o dýchání pozitivním tlakem, dochází k opačné změně tlaků, v inspiriu je v plicích pozitivní tlak.
- **Řízení dýchání** je zajištěno dechovými centry v prodloužené míše, mostu a kůře.
- **Chemické řízení dýchání** je zajištěno vlivem  $p\text{aCO}_2$ ,  $p\text{aO}_2$  a pH.
- Tlumivé účinky na dechové centrum mají zejména opioidy, anestetika a některé sedativní léky, vysoké hladiny  $p\text{aCO}_2$ .
- Ke stimulaci dechových center vede mírné zvýšení  $p\text{aCO}_2$ , hypoxémie, acidóza a některé léky (např. syntophyllin).
- Apnoe = vymizení spontánní dechové aktivity, eupnoe = normoventilace, bradypnoe = pomalá dechová aktivita, tachypnoe = zvýšená dechová frekvence, hyperventilace = zvýšení minutového dechového objemu, hypoventilace = snížení minutového dechového objemu, hlavně snížení minutové alveolární ventilace.
- **Hypoventilace vede k hyperkapnii, hyperventilace vede k hypokapnii.**

↓

Hyperkapnie =

$\text{PaCO}_2 \geq 6 \text{ kPa}$

↓

hypokapnie

$\text{PaCO}_2 \leq 5 \text{ kPa}$
- Oxygenaci je možno zlepšit nejen zvýšením koncentrace kyslíku ( $\text{FiO}_2$ ), ale i využitím pozitivního tlaku na konci výdechu (PEEP).
- Klidová spotřeba kyslíku = 250 - 300 ml/min.
- Hypoxie = nedostatek kyslíku ve tkáních.
- Hypoxémie = snížení  $\text{PaO}_2$  (<9 kPa)
- Hyperoxémie = zvýšení  $\text{PaO}_2$  (>19,9 kPa)

## Hypoxémie

Je stav, provázený poklesem  $\text{PaO}_2$  pod 9 kPa.

Vzniká z mnoha příčin (viz učebnice patofyziologie):

- Hypoxická hypoxie - nízkým parciálním tlakem kyslíku ( $pO_2$ ) např. nízké  $FiO_2$ , velké nadmořské výšky, A-V zkratky (šok...)
- Anemická hypoxie – nedostatkem erytrocytů a Hb, např. intoxikace CO (vazba CO na Hb je 200x silnější než vazba Hb s kyslíkem).
- Stagnační – cirkulační hypoxie – způsobena cirkulační poruchou (srdeční selhání, šok, ischemie)
- Histotoxická hypoxie- vzniká vlivem působení jedů (kyanid) – při narušení gradientu přestupu  $O_2$  do tkání, okysličená krev se proto dostává do žil

Důsledkem hypoxie jsou závažné metabolické změny plynoucí ze změny aerobního metabolismu na anaerobní s následným rozvojem laktátové acidózy a energetickým zhroucením (19x nižší produkce ATP z glukózy v anaerobních podmínkách oproti aerobnímu metabolismu). Při nedostatku kyslíku při anaerobním metabolismu vzniká jako vedlejší produkt laktát, který se hromadí a rozvíjí se laktátová acidóza se všemi následky. Hladina laktátu v krvi je proto důležitým markerem hypoxie a hypoperfuze, případně reperfuze.

#### **Klinické příznaky hypoxémie:**

- cyanóza
- neklid
- tvrdý puls
- arytmie
- bradykardie
- křeče
- koma

#### **Hyperkapnie**

Je stav provázený zvýšením  $PaCO_2$  nad 6 kPa.

Hladina  $PaCO_2$  odráží úroveň ventilace (viz výše).

### **Klinické příznaky hyperkapnie:**

- pocení
- zarudnutí
- arytmie
- hypertenze
- útlum
- svalové záškuby
- apatie
- zástava dýchání

#### **1.1.3 Náhlá zástava výměny krevních plynů při funkčním oběhu**

Při náhlé zástavě výměny plynů (zástava dechu, úplná obstrukce dýchacích cest) zůstává v organismu zásoba kyslíku, která je ve 2 složkách:

- 230 ml kyslíku v alveolárním vzduchu
- 1000 ml je vázaných na Hb v krvi
- Celková zásoba činí tudíž cca 1230 ml
- Při bazální spotřebě kyslíku (250-300 ml /min.) tato zásoba kyslíku vystačí na 4-5 minut (1230 : 300).

Při zástavě oběhu je srdeční masáží zajištěno maximálně 30% normálního oběhu, tzn., že dochází k perfúzi pouze koronárního řečiště a mozku, ostatní orgány jsou těžce hypoperfundovány nebo perfundovány nejsou. Proto zásoba kyslíku vystačí na dobu přibližně 3x delší, což umožňuje provádět resuscitaci oběhu při náhlém, zastiženém kolapsu nemocného bez dýchání samotnou srdeční masáží přibližně 3x déle, tzn. 10 – 12 minut.

#### **1.1.4 Transport kyslíku krví**

Je zajištěn ve 2 formách:

- Vázaný na oxy-hemoglobin - 1g Hb váže 1,34 ml O<sub>2</sub>

- Rozpuštěný v plazmě - 0,3 objem. %

Význam této formy transportu vyniká při hyperbaroxii, kdy se zvyšuje % rozpuštěného kyslíku v plazmě a tím se dostává více kyslíku do tkání.

### Toxicita kyslíku

Zvyšuje se hlavně u dětí, novorozenců a u nedonošenců. Čím menší dítě, tím je citlivější k toxicitě. Projevuje se účinkem na:

- Mozek, kde se projevuje neklidem, agitovaností, případně až křečemi.

Pozor u novorozenců a nedonošenců!! Může dojít až ke vzniku retrolentární fibroplazie, která může mít za následek doživotní slepotu.

- Plíce, kde dochází k rozvoji změn podobných ARDS.

### Denitrogenace

Před úvodem do inhalační anestezie je třeba nejdříve z organismu vyloučit dusík. Tzv. denitrogenace je navozena ventilací 100% koncentrací kyslíku po dobu 5-15 minut.

- **Význam:** inhalační úvod do anestezie je rychlejší a snazší.

V současné době se z ekonomických důvodů (plyny i inhalační anestetika jsou velmi drahé) i z důvodů hygienických (snížení poluce plynů a anestetik do okolní atmosféry) používají **anesteziologické systémy s nízkým příkonem plynů**. Nízký příkon plynů se nastavuje až po inhalačním úvodu, kdy se vyrovnají vdechované a vydechované koncentrace inhalačních anestetik.

- Při potřebě měnit významněji koncentraci anestetika se používají zvýšené průtoky plynů. Využití zejména:

- při úvodu

- při změně koncentrace anestetika

- při probouzení, po vysazení inhalačního anestetika, kdy je nutná inhalace kyslíku s  $FiO_2 = 1$ . Jinak hrozí riziko hypoxémie difúzí z rychlého uvolnění anestetika do alveolárního prostoru s následným poklesem koncentrace  $O_2$  pod hodnoty  $FiO_2 < 0,21$ .

### Příjem inhalačních anestetik

Pro posouzení účinnosti inhalačního anestetika se užívá hodnota tzv. minimální alveolární koncentrace (MAC), vyjadřující koncentraci anestetika, která zabrání pohybům při kožní incizi u 50% nemocných.

- MAC je výrazem potence/účinnosti inhalačních anestetik

- MAC se snižuje s věkem
- MAC se snižuje při užití N<sub>2</sub>O, kdy se uplatňuje anestetický účinek N<sub>2</sub>O, tzv. efekt 3. plynu.

Hodnoty MAC u inhalačních anestetik

| Inhalační anestetikum | MAC (%) |
|-----------------------|---------|
| Halotan               | 0,77    |
| Isofluran             | 1,15    |
| Enfluran              | 1,7     |
| Sevofluran            | 2,05    |
| Desfluran             | 6,0     |
| Oxid dusný            | 104     |

23 /

Nejpotentnějším anestetikem podle MAC byl halotan, z anestetik v současnosti užívaných je to Isofluran. MAC u oxidu dusného nelze dosáhnout jinak než s využitím hyperbarické oxygenoterapie, což je v praxi neproveditelné.

### Plíce – základní pojmy:

- **Ventilace** = doprava vdechované směsi ze zevního prostředí do alveolů a vydechované směsi zpět.
- **Distribuce** = rozdělování vdechované směsi v plicích. Není za všech okolností rovnoměrná a závisí na mnoha faktorech.
- **Perfuze** je prokrvení plic. Je ve vztahu k ventilaci v poměru  $V/Q = 4/5 = 0,8$
- **Difúze** = prostup plynů A-K membrár i 0,1sec.

Ke zhoršení difúze dochází při intersticiálním edému, ARDS, zvýšení extravaskulární plicní vody (EVLW).

## Výměna plynů

souvisí s pojmem mrtvého prostoru, tzn. prostoru, který je ventilován, ale ve kterém nedochází k výměně plynů. Rozeznáváme mrtvý prostor ( $V_D$ ):

- **anatomický** (představuje mrtvý prostor dýchacích cest) – velikost udávána jako 2 ml/kg t.hm.
- **fyziologický** – představován neadekvátně perfundovanými alveoly
- **mechanický** – představován obsahem dýchacího okruhu a spojek (maska, spojka k tracheální rource až po tzv. „kalhotky“ dýchacího okruhu)

Možnosti snížení  $V_D$  jsou důležité pro zvýšení efektivní alveolární ventilace.

- ☐ Intubace – snižuje  $V_D$  o 1/3
- ☐ Tracheostomie – snižuje  $V_D$  o 1/2

### Příklad kalkulace efektivní alveolární ventilace:

**U zdravého člověka:**

#### Kalkulace minutové ventilace:

$f$  (16/ min.)  $\times V_T$  (500 ml) = MV měřený ventilometrem (8000 ml)

**Efektivní alveolární ventilace je vyjádřena odpočtem mrtvého prostoru dýchacích cest od dechového objemu:**

$V_T$  (500 ml) -  $V_D$  (150 ml) = efektivní alveolární ventilace ( $V_{TA}$ ) (350 ml)

Skutečná alveolární ventilace:  $MV_A: 16 (f) \times 350 (V_{TA}) = 5600 \text{ ml}$

**Obdobná kalkulace při dechové nedostatečnosti u těžké tachypnoe s hypoventilací (50 dechů/min. nízké dechové objemy 160 ml), např. u dekompenzované CHOPN:**

#### Kalkulace minutové ventilace:

$f$  (50/ min.)  $\times V_T$  (160 ml) = MV měřený ventilometrem (8000 ml )

Efektivní alveolární ventilace je vyjádřena odpočtem mrtvého prostoru dýchacích cest od dechového objemu:

$V_T$  (160 ml) -  $V_D$  (150 ml) =  $V_{TA}$  (10 ml)

Skutečná alveolární ventilace:  $MV_A: 50 (f) \times 10 \text{ ml } (V_{TA}) = 500 \text{ ml}$

U těžké dechové nedostatečnosti s tachypnoí a malými dechovými objemy (rapid shallow breathing) se tudíž jedná o těžký stupeň alveolární hypoventilace na vrub ventilace mrtvého prostoru.

### **Compliance – poddajnost plic**

Compliance = nárůst objemu při zvýšení tlaku v dýchacích cestách.

Na complianci se uplatňuje i podíl odporu dýchacích cest, plic, hrudníku (např. i podíl svalové relaxace při anestezii).

Normální hodnota u bdělého člověka = 100 – 150 ml/ 0,1 kPa. Při anestezii se snižuje na 50 ml.

### **Možnosti vyšetření krevních plynů**

- Z arteriální krve –  $S_aO_2$
- Z arterializované krve – kapilární krev
- Z centrální žilní krve –  $S_{cv}O_2$
- Ze smíšené žilní krve – z plicnice –  $S_{MV}O_2$

### **Klinické pojmy v patofyziologii dýchání**

- **Dyspnoe** = subjektivní pocit
- **Ortopnoe** = usilovné dýchání se zapojením pomocných dýchacích svalů.
- **Cyanóza** (redukováný Hb >3,1 mmol/L)
  - ☐ Periferní (akra)
  - ☐ Centrální (rty + tělo)
- **Periodické dýchání** - většinou spojeno s poškozením CNS, zvláště mozkového kmene:
  - ☐ Cheyne-Stokes - dýchání se střídavým prohloubením a změkčením dýchání
  - ☐ Biotovo dýchání s apnoickými pausami
- **Paradoxní dýchání** znamená paradoxní pohyby hrudníku nebo jeho částí, případně nekoordinované souhyby břicha – např. při narušení integrity hrudní stěny, vrátkové zlomenině žeber, pneumotoraxu...
- **Mechanika dýchání** = normální koordinovaná souhra všech složek podílejících se na ventilaci.

## 1.2 Patofyziologie oběhu

Oběh je vitální funkcí.

- Má 4 hlavní funkce:
  - ☐ Transport  $O_2$  a  $CO_2$
  - ☐ Udržování homeostázy
  - ☐ Udržování termoregulace
  - ☐ Dopravu živin, hormonů, enzymů...

Oběh je zajišťován oběhovým ústrojím.

### 1.2.1 Oběhové ústrojí

- Srdce působí jako pumpa – má schopnost zvýšit výkon až 5x  
*Ventilace se může zvýšit až 16x !!!*
- Cévní soustava má několik částí.
  - ☐ Artérie – představují distribuční úsek
  - ☐ Kapilární řečiště – slouží jako výměnná plocha (v klidu otevřeno pouze 7%)
  - ☐ Žilní systém – má sběrnou a kapacitní funkci

Oběh se dále dělí na:

- Vysokotlaký systém – velký oběh
- Nízkotlaký systém – malý oběh

Srdce spotřebuje 1 L  $O_2$  /min. = 5%  $V_{O_2}$

**Srdeční výdej** = tepová frekvence x systolický objem (4-8 L/min.)

**Srdeční index** (CI) = CO přepočtený na 1 m<sup>2</sup> povrchu těla (2,5 – 4,8 L/m<sup>2</sup>/min.)

**Centrální žilní tlak:** Normální hodnota (CVP) je: 0 – 8 mm Hg,  
u nemocných s UPV je hodnota CVP vyšší: 8-12 mm Hg

## Kardiogenní šok

Je definován poklesem  $CI < 2L / m^2 / min.$

### Preload

Je charakterizován jako náplň komory srdeční před systolou

- Závisí na velikosti žilního návratu a délce diastoly
- Žilní návrat je ovlivněn:
  - ☐ Objemem krve v řečišti
  - ☐ Polohou (vliv gravitace) - Využití: při šokové poloze
  - ☐ Nitrohručním tlakem – vliv dýchání – negativní nitrohruční tlak v inspiriu. Negativní vliv má pozitivní nitrohruční tlak při UPV, rovněž při vyšších hodnotách PEEP.
  - ☐ Žilním tonem
- Při tachykardii se délka diastoly zkracuje, při extrémní tachyarytmii se srdce nestačí plnit a dochází k hypotenzi, případně až známkám zástavy oběhu.

### Afterload

- představuje zbytkový objem krve nevypuzené z komory
- Je ovlivněn odporem aorty a plicnice – čím větší, tím je afterload objemnější.

## Kontraktilita – stažlivost – inotropie

Její **zvýšení** je způsobeno:

- ☐ Zvýšeným tonem sympatiku –  $\beta_1$  mimetická složka
- ☐ Léky - inotropika: dobutamin, střední dávky dopaminu, isoprenalin, dopexamin, digoxin, ketamin...

**Snížení** kontraktility působí:

- ☐ Látky s negativně inotropním účinkem: thiopental, propofol, lokální anestetika, hypoxie, hypotermie, acidóza, ...

## Frekvence srdeční

- **Tachykardie** = zvýšení frekvence nad 100/min. Dochází k ní při zátěži, stimulaci sympatiku, např. při šoku, vlivem některých léků, při horečce atd.  
**Výhody:** zvýšení srdečního výdeje, při extrémních hodnotách je ale riziko hypotenze a snížení srdečního výdeje (CO) způsobeného zkrácením diastoly a tudíž sníženým plněním srdce.
- **Bradykardie** = snížení frekvence pod 60/min. Je přítomna např. u trénovaných sportovců, účinky některých léků (např. sukcynylcholin, některá anestetika...), při nitrolební hypertenzi, vlivem stimulace parasymptického nervového systému atd. Vykytuje je rovněž při těžké hypoxémii. Extrémní hodnoty jsou spojené s rizikem hypotenze.
- Novorozenci a malé děti - mají fyziologicky vysokou tepovou frekvenci, bradykardie bývá nejčastěji důsledkem hypoxie a je pro tuto věkovou skupinu extrémně nebezpečná.

### Faktory ovlivňující srdeční frekvenci:

- **Teplota** – horečka ji zvyšuje, při 32 °C se výrazně zvyšuje výskyt arytmií, při 28 °C dochází k fibrilaci komor, při 22 °C dochází k asystolii. Pozor při KPR, při hypotermii se resuscitace provádí déle. Při těžké hypotermii není obnovení oběhu možné, pokud se nemocný nezahřeje, což je obtížné. Jedinou možností je napojení na mimotělní oběh.
- **Sympatikus**, např. při stresu, šoku, po podání ketaminu – zvyšuje tepovou frekvenci.
- **Parasympatikus** – n. X.- zpomaluje srdeční frekvenci.
  - ❑ Stimulace reflexogenních zón parasympatiku vede k bradykardii: oční bulbus, plicní hilus, anus, hrtan, intubace v anestezii tiopentalem bez svalové relaxace, varle, stopkaté orgány...
  - ❑ Úloha atropinu: riziko těchto bradykardií působících reflexů lze snížit, např. užitím vagolytické premedikace atropinem. V současné době je konzervativnější přístup k této premedikaci. Existují ale situace, kdy je výhodná (děti, riziko aspirace, výkony v dutině ústní, při vagotonu atd.).

## Arytmie

Nejčastější příčiny v anesteziologii a intenzivní péči jsou:

- Hypoxie
- Hyperkapnie (např. při vyčerpání absorpční schopnosti náplně v pohlcovači CO<sub>2</sub>, při nevhodně nastavené ventilaci...)
- Vliv anestetik

- Reflexy z operačního pole
- Přímé dráždění srdce
- Chronické arytmie

### **Distribuce krve do jednotlivých orgánů při normálně fungujícím oběhu**

- Mozek 15%
- Myokard 5%
- **Při KPR:** mozek 50-90%  
srdce 20-50%  
ostatní orgány – zanedbatelné množství, cca 5%

Význam pro praxi: při KPR se léky podávají pouze i.v. nebo intraoseálně, z ostatních tkání (podkoží, svaly...) se nevstřebají.

### **Redistribuce**

Např. při šoku – tzv. centralizace oběhu (kompenzační mechanismus u šoku)

- Redistribuce ve prospěch: životně důležitých orgánů
- Na úkor: splachniku, kůže, plic a svalů
- Mobilizace krevních zásob při šoku vlivem vasokonstrikce – ze sleziny, jater a plic („autotransfuze“) = kompenzační mechanismus u šoku
- Kapacitní cévy splachniku – jsou schopné pojmout až 50-60% objemu krve, možnost zvýšení kapacity 6x.

**Fenomén posouzení kapilární perfúze** (capillary refill) – test kvality kapilárního prokrvení.

Po několikavteřinové kompresi nehtového lůžka se za normálních okolností obnoví krevní náplň téměř okamžitě, u těžce šokovaných přetrvává lůžko bledé delší dobu.

## **Zástava oběhu – možné příčiny**

### Nedefibrilovatelné poruchy rytmu:

- Asystolie
- Bezpulzová elektrická aktivita

### Defibrilovatelné - léčitelné defibrilací:

- Fibrilace komor
- Bezpulzová komorová tachykardie

## **Selhání levé komory srdeční – nejčastější příčiny:**

- Akutní koronární příhoda, AIM
- Přetížení tekutinami
- Kardiomyopatie

### Klinické projevy:

- otok plic
- hypotenze
- poslechově na plicích známky přetížení (chrůpky)
- arytmie

## **Selhání pravé komory srdeční – nejčastější příčiny:**

- Embolizace plicnice
- Vazokonstrikce při podání inkompatibilní krve
- Vazokonstrikce při septickém šoku
- Dekompensace chronického cor pulmonale u chron. pulmopatů

### Klinické projevy:

- Přehlnění velkých žil
- Otoky
- Tachykardie
- Zvětšená bolestivá játra

## 2. Krev

### 2.1 Funkce

- ☐ **Transport a výměna kyslíku** – erytrocyty + rozpuštěný v plasmě
- ☐ **Transport a výměna CO<sub>2</sub>**
- ☐ **Onkotický tlak** – rovnováha výměny v kapilární oblasti (filtrace do intersticia závisí na filtračním tlaku krve, průnik tekutin z intersticia zpět do cévního systému je závislý na onkotickém tlaku bílkovin)
- ☐ **Udržování acido-bazické rovnováhy** – závislé na funkci nárazníkových systémů (Hb+ fosfáty+bikarbonát+bílkoviny)
- ☐ **Hemokoagulace** – závislá na přítomnosti a normální funkci koagulačních faktorů + trombocytů a erytrocytů
- ☐ **Termoregulace**

### 2.2 Objem krve

- ☐ Dospělý = 1/13 hmotnosti
- ☐ 70 ml/ kg
- ☐ Novorozenec 75 ml/ kg
- V klidu – využívána jen část krve
- Zbytek deponován v rezervních orgánech – pooling:
  - ☐ Slezina
  - ☐ Játra
  - ☐ plíce

### Nepoměr mezi kapacitou a náplní krevního řečiště

- Náplň převyšuje kapacitu – vede k přetížení = selhávání levé komory
- Snížená kapacita při normální náplni = hypertenzní krize
- Nižší náplň než kapacita řečiště = šok

## 2.3 Viskozita krve

Zvýšení:

Příčiny: dehydratace, nedostatečná úhrada ztrát tekutin, hemokoncentrace, polyglobulie při chronickém cor pulmonale. Má řadu nepříznivých následků:

- Větší odpor při proudění
- Větší zátěž myokardu
- Zhoršené reologické vlastnosti → predispozice tromboembolických komplikací – TEN (tromboembolická nemoc)

## 2.4 Hemokoagulace

- Hyperkoagulace → např. u DIC  
→ zvýšené riziko vzniku TEN
  - Léčba: antikoagulační léky  
antitrombotika
- Hypokoagulace → riziko krvácení
  - Léčba: Substituce koagulačních faktorů (plasma, trombo, fibrinogen,  $\text{Ca}^{++}$ ...)
  - Hemostatika
    - lokální
    - celková -rFVIIa

### 3. Normální hodnoty nejčastěji užívaných parametrů hemodynamiky

| Parametr  |   | Rozmezí hodnot | Zkratka               |
|---|---|----------------|-----------------------|
| Povrch těla   | $\text{m}^2$                                      | 1,6-1,9        | BSA                   |
| Srdeční index   | $\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$                  | 2,8-4,2        | CI                    |
| Tepový objem  | ml  | 60-130         | SV                    |
| Tepový index  | $\text{ml}/\text{m}^2$                            | 30-65          | SVI                   |
| Systémová cévní rezistence                                  | $\text{dyne}.\text{sec}/\text{cm}^5$              | 900-1400       | SVR                   |
| Indexová hodnota  | $\text{dyne}.\text{sec}/\text{cm}^5 / \text{m}^2$ | 1600-2400      | SVRI                  |
| Plicní cévní rezistence                                     | $\text{dyne}.\text{sec}/\text{cm}^5$              | 150-250        | PVR                   |
| Indexová hodnota  | $\text{dyne}.\text{sec}/\text{cm}^5 / \text{m}^2$ | 200-400        | PVRI                  |
| Dodávka kyslíku   | $\text{ml O}_2/\text{min}$                        | 640-1400       | $\text{DO}_2$         |
| Indexová hodnota  | $\text{ml O}_2/\text{min}$                        | 520-720        | $\text{DOI}_2$        |
| Spotřeba kyslíku  | $\text{ml O}_2/\text{min}$                        | 180-280        | $\text{VO}_2$         |
| Indexová hodnota  | $\text{ml O}_2/\text{min}$                        | 110-180        | $\text{VOI}_2$        |
| Poměr extrakce kyslíku                                      | %   | 22-32          | $\text{O}_2\text{ER}$ |
| Plicní zkrat  | %   | 3-5            | $\text{Qs}/\text{Qt}$ |
| <b>Dynamické parametry měřené méně invazivními metodami</b> |   |                |                       |
| Stroke volum variation                                      | %   | < 10           | SVV                   |
| Pulse pressure variation                                    | %   | < 10           | PPV                   |
| Extravaskulární plicní voda                                 | ml/kg   | 3-7            | ELWI                  |
| Globalní enddiastolický objem                               | $\text{ml}/\text{m}^2$                            | 680-800        | GEDI                  |
| Globální ejekční frakce                                     | %   | 25-35          | GEF                   |

Indexové hodnoty jsou přepočtené na  $1 \text{ m}^2$  povrchu těla.

Dynamické parametry měřené méně invazivními monitorovacími metodami mají klinicky významnější výpovědní hodnotu.

## 4. Rychlé orientační vyhodnocení EKG křivky v urgentní medicíně (podle European Resuscitation Council)

EKG křivku v urgentních situacích hodnotíme většinou na monitoru nebo z jednoduchého záznamu. Její rychlé a jednoduché vyhodnocení zahrnuje 6 základních kroků a umožní pohotově identifikovat základní poruchy rytmu a podniknout příslušná léčebná opatření. Detailní vyhodnocení EKG vyžaduje dostupnost 12 svodového EKG.

Šest základních otázek:

1. Je přítomna elektrická aktivita?
2. Jaká je frekvence komorové akce (QRS)?
3. Je QRS rytmus pravidelný nebo není?
4. Je šíře QRS komplexu normální nebo větší?
5. Je přítomna síňová aktivita?
6. Jaký má vztah činnost síní k činnosti komor?

### Určení frekvence srdeční ze záznamu EKG:

5 velkých čtverců = 1 sec.

- Kolik je velkých čtverců (5mm) mezi dvěma po sobě jdoucími QRS komplexy?
- Vyděl číslo 300 počtem velkých čtverců (5mm) mezi dvěma po sobě jdoucími QRS komplexy = P (tepová frekvence)

---

### U nepravidelného rytmu:

Počet QRS komplexů v 50 velkých čtvercích (=10 sec.) vynásob číslem 6

---

Další možnost výpočtu srdeční frekvence:

1500 vyděl počtem malých čtverečků mezi následnými QRS komplexy