

Patofyziologie UPV.

Poznámky z mecha- niky UPV, respirační rovnice

Tlak (P) je síla (F) působící na jednotku plochy (S) : **(1) $P = F/S$** . Proud (Flow) je změna objemu(V) za čas (T) : **(2) $Flow = V/T$** . Mechanika UPV se zajímá o **tlak** , který je nutný k vytvoření **proudu** , který vstoupí do plic a zvýší jejich **objem**. Compliance (C) je změna objemu připadající na změnu tlaku(P): **(3) $C = V/P$** , odpor = rezistence je změna tlaku připadající na změnu proudu: **(4) $Rezistence = P/Flow$** .

K rozpětí plíce je nutné překonat elastický tah plíce a hrudní stěny , z rovnice (3) vypočteme tlak k tomu nutný $P = V/C$, zjednodušeně **(a) $P = \text{objem}/\text{compliance}$** . Tlak nutný k překonání odporu dýchacích cest vypočteme z rovnice (4) $P = \text{rezistence} \times \text{Flow}$, zjednodušeně **(b) $\text{odpor} \times \text{proud}$** . Celkový tlak nutný k rozpětí plic je součet výrazu a+b:**(5) $\text{objem}/\text{compliance} + \text{odpor} \times \text{proud}$** .

Tento tlak je vytvořen **svaly** prostřednictvím transrespiračního tlaku (= tlak v dýchacích cestách minus tlak na povrchu těla) a je dodán ventilátorem - **ventilátorový tlak**.

Tímto jsme se dostali k pohybové rovnici respiračního systému:

$\text{tlak svalů} + \text{ventilátorový tlak} = \text{objem}/\text{compliance} + \text{odpor} \times \text{proud}$.

Tlak v těchto rovnicích je tlak nad PEEP, objem je objem nad FRC.

Řídící proměnné

Ventilátory lze klasifikovat podle základní řídicí veličiny, tedy podle toho co řídí na tlakové nebo proudové či objemové, v některých případech na časové. V jednotlivém dechu může ventilátor řídit **jen jednu** proměnnou: tlak, objem nebo proud , čas. Tato proměnná se nazývá řídicí proměnná.

Tlak

je-li řídicí proměnnou tlak, generuje ventilátor nastavený tlak (samozřejmě mluvíme o pozitivním tlaku), po dodání proudu do plic jsou ostatní veličiny = zejména dechový objem závislé na poddajnosti a rezistenci dýchacího systému.

Objem

V případě objemu, jako řídicí proměnné, ventilátor udržuje přibližně konstantní objemovou křivku a **měří přímo objem** . Samozřejmě tlak v tomto případě bude proměnnou , která je závislá na mechanických vlastnostech dýchacího systému. Jako příklad objemového ventilátoru je píst nebo vak Pozor: celá řada ventilátorů měří **objem nepřímo - integrací proudu**, a i když zde nastavujeme objemově řízenou ventilaci, není zde řídicí proměnná objem ale proud, ventilátor je proudový.

Proud

Když dechový objem zůstává shodný při změnách poddajnosti a rezistence a když není objem přímo měřen a používán k řízení, je ventilátor považován za proudový. Příkladem jsou dětské ventilátory, u Siemens Servo 900C ventilátor měří proud a nastavuje podle něj inspirační chlopeň (nůžková chlopeň), tak

udržuje inspirační proudovou křivku v konstantní bez ohledu na zátěži.

Čas

je-li jedině čas řízenou veličinou - to jest ventilátor řídí jen inspirační a expirační čas, tlak a objem jsou měněny v závislosti na plicní mechanice. Příkladem je high-frequency ventilation.

Fázové proměnné

Období mezi začátkem jednoho dechu a začátkem dalšího dechu lze podle Maplesona rozdělit 4 fáze: změna expirace na inspiraci, inspirace, změna inspirace na expiraci a expirace. V každé této fázi je měřena proměnná, která slouží k zahájení, udržení a ukončení fáze, nazývá se fázová proměnná.

Spouštěč- trigger.

Trigger určuje **co zahájí** inspiraci, proměnná trigger popisuje zahájení ventilace, nebo-li inspirium je zahájeno je-li dosaženo hodnot, které byly nastaveny (pro trigger). Triggerování u řízené ventilace je **časové**, to znamená že dech je zahájen po uplynutí nastaveného času, čas je většinou nepřímo nastaven dechovou frekvencí a poměrem I:E. Další typické spouštění je **tlakové**, ventilátor zahájí inspirium po vyvinutí určitého negativního tlaku pacientem. Spuštění dechu může být také **manuální**. Přístroje nověji mají spouštění **proudové** a některé **objemové** (inspirium je zpuštěno nadechne-li pacient jistý objem).

Limitování.

Inspirace je definována jako časový interval od zahájení inspiračního proudu do zahájení expiračního proudu. Během tohoto intervalu narůstají hodnoty tlaku, objemu a proudu nad hodnoty měřené na konci výdechu. Jestliže jedna, nebo více těchto **hodnot nenarůstá nad nastavenou hodnotu hovoříme o limitující proměnné**. Limit se často plete klinikům s cyklováním. **Dosáhne-li limitní proměnná nastavenou hodnotu, neznamená to, že dojde k ukončení inspira**. Příklad: u tlakově řízeného dechu s plateau 35 cm H₂O je limitní proměnná plateau 35 cm H₂O, ventilátor během inspira téměř okamžitě dosáhne této hodnoty tlaku v dýchacích cestách a nedojde kvůli tomu k přepnutí na expirium, ventilátor jen již **nejde nad tuto hodnotu**. Další co je matoucí, je fakt, že někdy je tlak měřen ve vztahu k atmosféře jindy ve vztahu k basálnímu tlaku (tlak nad PEEP). Navíc na celé řadě ventilátorů se nastavuje tlakový limit, **což není limitem ve výše popsaném slova smyslu, ale vlastně nastavení alarmu vysokého tlaku**.

Cyklování

Inspirace končí, když jistá proměnná dosáhne určité hodnoty. Cyklování určuje, **za jakých podmínek má ventilátor přepnout na expirium**, to jest jaká hodnota určité proměnné (čas, tlak, proud, objem) má ukončit expirium. Zde opět by mohly vzniknout zmatky. Například objemově řízený dech, by se mohl zdát, že je objemově cyklováný. Ve skutečnosti u klasické řízené objemově ventilace je cyklování časové, klinik nastaví čas inspira (většinou nepřímo na základě DF a I:E) a ventilátor po uplynutí času přepne na expirium. Mimo časového cyklování je dále velmi časté **proudové u PSV**, kdy ventilátor

přepne na expirium poklesne-li prouš na 25% proudu špičkového, možné (méně časté) je i cyklování **tlakové, objemové**.

Výchozí proměnná.

Tato fázová proměnná je řízena během expirace, lze ji stotožnit s **PEEPem**. Je nutné si uvědomit že na některý ventilátorech jsou tlakové hodnoty uváděny jako " cm H₂O nad PEEP", v tomto případě je výchozí proměnná (PEEP) pro ventilátor chápán jako nula. U některých jsou vztaženy hodnoty k atmosférickému tlaku, PEEP je pak chápán jako pozitivní tlak.

Řídící a fázové proměnné určují různé ventilační režimy . ventilační režimy lze rozdělit **na plně kontrolovaná ventilace (PCV, CMV) částečně podporované ventilace (IMV, SIMV, PSV, BIPAP, MMV) a nepodporovaná ventilace (CPAP)**.

Ventilační režimy a nastavení ventilátoru.

Controlled mechanical ventilation, CMV

Dechy jsou triggerované časově, mohou být objemově nebo tlakově řízené.

- Je-li řídicí proměnou objem (Volum Controlled, VC), režim je pak VC - CMV, ale často se užívá se popisuje jen jako **CMV**.
- V případě tlakově řízeného dechu se jedná o Pressure Controlled (PC), tedy PC-CMV, užívá se však většinou zkratky **PCV** (pressure control ventilation).

U CMV nastavujeme objem u PCV tlak (plateau pressure), u obou režimů pak DF, I:E a tím vlastně nepřímo délku inspira a expira.

- Je-li I>E hovoříme i Invers ratio CMV, které může být nastavena u objemových dechů: IR-CMV, nebo u tlakově řízených dechů IR-PCV(nebo PCIRV).

Obecný rozdíl mezi CMV a PCV je, že u CMV se **dosahuje vyšší špičkových tlaků, ale pacient má zaručený minutový objem (MV)**. U tlakově řízených dechů **nedojde k překročení nastavených tlaků, ale MV je závislý na elastických vlastnostech dýchacího systému**. U řízených dechů při zachování dechového úsilí dochází **k interferenci pacienta s ventilátorem**.

Assist/control, Assisted mechanical ventilation.

Assist control označuje control mechanical ventilation (viz výše) s tím že dechy jsou triggerovány pacientem, minimální dechová frekvence (pro případ , že by pacient neměl spontánní dechové úsilí) je nastavena klinikem.

U Assisted mechanical ventilation (AMV, AV) jsou všechny dechy spouštěné pacientem, nemá-li pacient dechové úsilí ventilátor nedýchá.

IMV, SIMV

Při Intermittent mandatory ventilation pacient dostává nastavený počet řízených dechů, mezi nimiž je pacientovi umožněno dýchat spontánně (při spontánním dechů se otevře !!! inspirační chlopeň, CPAP, u velmi starých přístrojů se nadechoval z atmosféry). U SIMV je navíc řízený dech triggerován pacientem a tak sladěn s jeho dechovým úsilím. Při SIMV po uplynutí

doby vymezené pro spontánní dýchání čeká přístroj na dechové úsilí pacienta, dojde-li k nádechu pacienta přístroj spustí dech, pokud v "časovém okně" nespustí pacient ventilátor, přístroj dodá nesynchronizovaný dech. Spontánní dechy mohou být podporovány v režimu PSV. Řízené dechy mohou být objemové (VC-SIMV) nebo tlakové (PC-SIMV).

Pressure support ventilation, PSV

Při PSV je dodán **tlakově řízený dech, triggerovaný pacientem**, přepnutí na expirium je když **poklesne proud** (klesá pacientovo dechové úsilí) na určité procento špičkového proudu (na 25 % procent u Siemens, nebo u jiných ventilátorů lze toto procento nastavit). Strmost nárůst tlaku lze (jako u PCV) nastavit, čím větší strmost tím rychleji pacient přepne na expirium, čím nižší strmost (natlakování) tím větší riziko zvýšené práce pacientem. U tohoto režimu pacient sám určuje dechovou frekvenci, při pokračujícím nádechu pacienta vykonává sám dechovou práci a zvyšuje tím TV. Například máli pacient velké dechové úsilí (měřeno pleurálním tlakem např. -10 cm H₂O) při inspiriu stihne "nasát" z ventilátoru určitý objem (např. 300ml, za podmínky), k tomu ještě ventilátor dodá dalších objem (například dalších 500ml, celkem 1000ml). Při velkém úsilí pacienta tak dojde k velkým dechovým objemům a rychlejšímu přepnutí na expirium (je rychleji ukončeno pacientovo úsilí po dosažení velkého dechového objemu), což vede k tachypnoe a velkému MV. V tomto případě přidáme-li tlakové podpory tachypnoe a vysoký TV ještě prohloubíme. Má-li pacient normální dechové úsilí, pak příliš vysoko nastavená podpora povede k bradypnoe a apnoickým pauzám. Při naopak nízko nastavené podpoře dochází k poklesu MV, tachypnoe - v tomto případě je nutno podporu přidat. Konečně nemáli pacient dechové úsilí, nespustí tlakově podporovaný dech, dojde k apnoe.

PSV je dobře tolerován, obecně je používán ke snížení dechové práce. Často se malá podpora (3-5 cm H₂O) používá k překonání průtočného odporu TR (avšak věc je složitá, protože odpor není lineární, závisí na průtoku, lepší na překonání odporu TR je snad režim tracheal tube compensation), dále k odvykání od ventilátoru, u lehčího postižení plic.

Mandatory minute ventilation, MMV

Režim umožňuje pacientovi ventilovat spontánně, ale je zajištěn nastavený MV. Zajištění jisté úrovně MV je dosaženo buď zvýšením frekvence řízených dechů, nebo zvýšením PS. U různých ventilátorů je jiný algoritmus tohoto mechanismu. Hlavní problém je, že zpětná vazba je u těchto režimů na základě minutové ventilace, to znamená ventilátor nerozezná máli pacient 6 dechů po 600 ml nebo 40 dechů po 150 ml, vždy to bude hodnoceno jako minutová ventilace 6 000ml, může tak při tomto režimu dojít k tachypnoe.

CPAP

Je režim (nezaměňovat s PEEPem) spontánního dýchání při kontinuálním přetlaku, nejsou při něm mechanicky řízené dechy. Ideální CPAP okruh by měl zajišťovat konstantní tlak v okruhu. Aplikuje se TR, nebo obličejovou maskou, nosní maskou. Z hlediska konstrukce jej lze seřadit z jednoduchých komponent **systémy s kontinuálním proudem**. Zvhlčená směs kyslíku a vzdu-

chu (**zvlhčovač**) kontinuálně plní vak (**10 litrů**), z kterého pacient nadechuje, a vydechuje přes **PEEP ventil**. Mimo tuto konstrukci existují speciální ventilátory na principu **on demand**, kdy je inspirační proud dodán po trigeringu s otevřením inspirační chlopně, některé ventilátory mají demand ventil, který je zároveň inspiračním a expiračním ventilem.

CPAP zvýší FRC, sníží dechovou práci, zlepší oxygenaci snížením zkratu. Sníží preload, zvýší nitrohruční tlak, zvýší plicní cévní rezistenci. Užívá se u městnavé srdeční slabosti, u COPD, po extubaci pacientů.

Bipap, Biphasic Positive Airway Pressure.

Je popisován jako střídání dvou úrovní přetlaku (PEEP a P_{insp}, P_{dolní} a P_{horní}) v dýchacích cestách, na obou úrovních přetlaku je pacientovy umožněno dýchat. Je nutné si uvědomit, že přechod ze spodní úrovně (PEEPu např 5 cm H₂O) na horní tlakovou úroveň (například 15 cm H₂O) není pasivní proces, ale ventilátor musí insuflovat plíce (v daném příkladě o 10 cm H₂O). Jedná se tedy PCV (nebo SIMV) s tím rozdílem, že je pacientovi umožněno na tlakovém plateau spontánně dýchat.

Pressure regulated volum control,

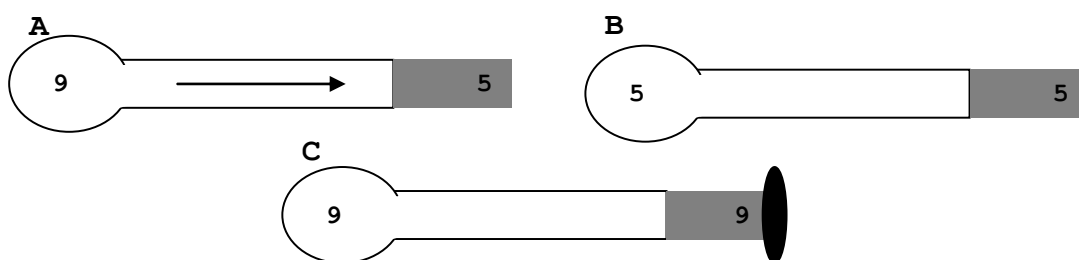
Tyto režimy jsou formou zpětnovazebné ventilace s cílem zajistit dostatečný MV. U Pressure regulated volum control (PR-VC) se jedná o PCV, s tím že ventilátor upraví plateau tak, aby bylo dosaženo nastaveného dechového objemu. U Volume support se jedná o PSV, kde opět úroveň tlakové podpory (PS) je upravena ventilátorem tak, aby bylo dosaženo žádaného TV.

PEEP, auto PEEP

Je arteficiální udržování pozitivního (supratmosférického) tlaku po dokončení expirace. PEEP je zejména účinný u plicního edémů, kdy při jeho aplikaci dochází k znovuootevření uzavřených alveolů (**recruitment**), **zvýší se FRC**, sekundárně (při dobrém nastavení) se **zlepší plicní poddajnost**, dojde k **vzestupu oxygenace**. Za jistých okolností může snížit dechovou práci (u COPD), používá se i prevenci VILI (ventilátor induced injury), i když tato indikace je sporná. **Výška PEEPu** je nastavována individuálně v rozsahu většinou v rozsahu 5- 20 cm H₂O, PEEP by neměl překročit dorsoventrální vzdálenost mezi sternem a páteří, 5 cm H₂O je relativně malý PEEP ("profylaktický"), 5-15 cm H₂O je střední výška PEEPu, nad 15 cm H₂O lze hovořit o relativně vysokém PEEPu, za best PEEP někteří označují PEEP při kterém je dosaženo nejvyšší hodnoty dodávky kyslíku (DO₂). Aplikace PEEPu má i samozřejmě své **negativní důsledky a rizika**: zvýšení středního alveolární tlaku může vést k **barotraumatu a volumotraumatu** (PNO, hpneumoperikard, bronchopleur. fistule atd.) což vede k ventilatory induced injury. Jeho oběhové účinky spočívají zejména **ve snížení venosního návratu**, je možný i vliv na zvýšení plicní rezistence, další účinek může spočívat ve vytlačení septa pravé komory do komory levé. Výsledkem všech mechanismů je **pokles kardiálního výdeje**. PEEP také interferuje **s měřením tlaku v zaklínění**, kdy PEEP může převýčit PAOP, bude-li konec katetru v zóně I.

Auto PEEP (= intrinsic PEEP) je rozdíl mezi alveolárním tlakem a externím PEEPem **na konci expira**. Může vzniknout tak, že je obstrukce kladena proudu v expiriu (COPD, asthma), pacient není schopen pro tuto limitaci vydechnout vše, a

na konci expiria zůstane vzduch v alveolech, a s tím spojený tlak. Druhou možností je, že expirium nebude dokončeno (IRV) a opět zůstane v alveolech nevydechnutá část(dynamický auto-PEEP). V obou případech to znamená , že je mezi alveolem a externím PEEPem tlakový gradient(= auto PEEP) směřující od alveolu do ústí TR, tento gradient vede také k tomu, že na konci expiria stále proudí proud směrem k ústí TR, kde je tlak roven nastavenému externímu PEEPu, což je tlak který ventilátor naměří (obr. A). Kdybychom prodloužili nějakým způsobem trvání expiria došlo by k vyrovnání mezi alveolárním tlakem a externím PEEPem(na hodnotu externího PEEPu)(obr. B). Ucpeme-li na konci však expirační větve dýchacího systému, dojde k vyrovnání tlaku mezi alveolem a ústím TR na hodnotu Auto PEEPu (obr.C).

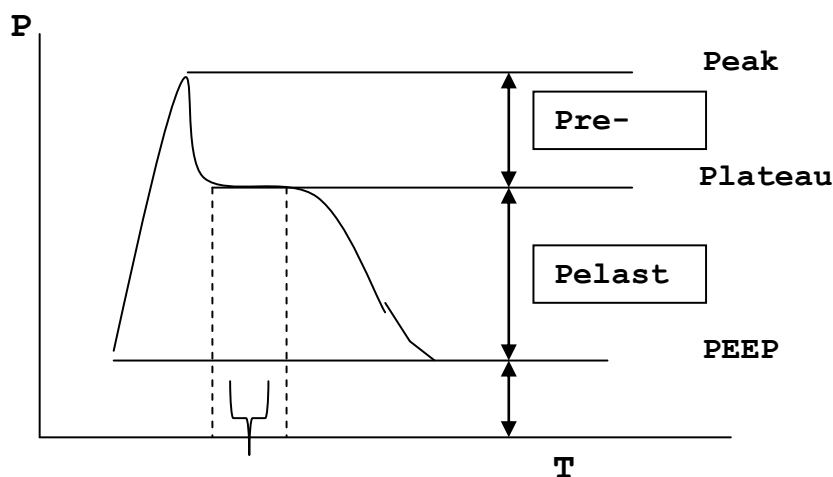


Tento princip je využit k měření autoPEEPu ,při použití **end expirační okluze** například na Simens ventilátorech, nebo s užitím Braschiho ventilu. Další možnost jak měřit autoPEEP vychází z toho, že při existenci auto PEEPu v době kdy pacient triggeruje inspirium lze zaznamenat na proudové přetrvávající expirační proud. Tlak (záporný , pleurální) který pacient musel vyvinout, aby došlo změně **expiračního proudu na inspirační** je roven Auto PEEPu, tento tlak se změří pomocí tlaku snímaného v jícnu.

Auto-PEEP: zvyšuje **dechovou práci u stavu s obstrukcí** dýchacích cest tím že pacient musí nejprve vyvinout podtlak rovnající se Auto PEEPu, teprve po té další podtlak povede k insulaci plic, řešením je aplikace externího PEEPu. Auto PEEP navíc zvyšuje střední alveolární tlak, při velkých hodnotách je riziko barotraumatu poklesu kardiálního výdeje, navíc auto PEEP interferuje s měřením compliance a určováním dolního inflexního bodu a tlaku v zaklínění.

Plicní complian- ce a střed- ní tlak v dýchacích cestách

Během **objemově řízeného dechu za konstantního proudu** u zrelaxovaného pacienta získáme na tlakové křivce během dechu vý-



Inspirační Pausa

še znázorněný průběh tlaku, vřadíme-li do inspirační pauzy (= dýchací okruh je utěsněn a dojde k zástavě proudu), můžeme identifikovat špičkový tlak P_{peak} , tlak po tlakovém vyrovnání Plateau. Rozdíl špičkového tlaku a plateau je odrazem **odporu dýchacích cest** (proud "narazí na odpor"), plateau je tlak po vyrovnání a odpovídá tlaku na překonání **elastických vlastností** plic. Compliance lze vypočítat jako $\text{Objem (V, získaný při tomto dechu) / Pelast}$. Pelast je roven $\text{Plateau} - \text{PEEP}$, rovnice pak bude následující:

$$C = \frac{V}{\text{Plateau} - \text{PEEP}}$$

Při měření touto metodou získáme **statickou compliance plic**, (normální hodnoty 100ml/ 1 cm H₂O) při měření poměru V/P, které provádí software ventilátoru v reálném čase i bez dosažení ekvilibria tlaků hovoříme o **dynamické compliance**, při ní většinou ventilátor dosazuje do vzorce P_{peak} (tedy do tlaku je zahrnuta i Prezist), výsledná dynamická compliance je pak nižší než statická. Inversní hodnotou compliance je **elastance** (P/V).

Odečtení Prezist z křivky může sloužit k určení odporu v dýchacích cestách, jeho zvýšení nad 10 cm H₂O většinou odráží obturaci TR.

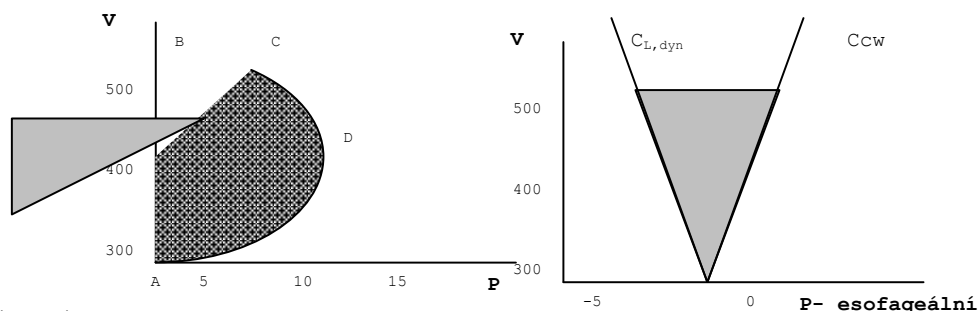
Střední tlak v dýchacích cestách (mean airway pressure), je důležitou hodnotou v uvažích o ventilačních parametrech a oxygenaci. Odpovídá **ploše pod tlakovou křivkou** v průběhu celého dechového cyklu. Je **vyšší**: je-li větší dechový objem (u objemové ventilace), zvýšen Plateau tlak u PCV, zvýšena frekvence dechů, zvýšen PEEP, je-li delší inspirium, je-li zvolena decelerační proudová křivka (u objemové ventilace), je-li prodloužena end expirační pauza (u objemové ventilace).

Dechová práce

Dechová práce je práce zejména proti **elastickým** silám plic (nahrudníku) a proti **odporu** proudu dýchacích cest. Obecně ji lze vypočítat jak $P \times V$ (tlak krát objem), vyjadřuje se v J/min, nebo v J/l (litr).

Tlak (síla), který rozpína plíce je roven: tlak v alveolech minus tlak pleurální (transalveolární tlak), u spontánně ventilujícího pacienta tlak alveolární je 0 (rovná se atmosférickému, na rozdíl od UPV), rozhodující pak pro úvahy o dechové práci při spont. ventilaci bude jen **pleurální tlak**. Tlak, který rozpíná hrudní stěnu je roven: tlak pleurální - tlak atmosférický (na povrchu těla). Pleurální tlak se v klinice měří pomocí tlaku oesophageálního (spec. oesophageálního phag. čidlo).

Dechová práce se stanovuje z tlakově objemových křivek (P-V).



Řízená ventilace.

Tlak P je v tomto případě tlak v dýchacích cestách, Křivka ADC (šrafovaně) představuje inspirační dechovou práci ventilátoru proti odporu v dýchacích cestách, křivka ACB (šedě) je práce proti elastickým silám.

Spontánní ventilace.

V případě spontánní ventilace je na ose x tlak esofageální (v průběhu inspiračního jde do záporných hodnot). Dále jsou zde 2 křivky: dynamická compliance plic $C_{L,dyn}$ a statická compliance hrudní stěny C_{CW} . Oblast uzavřená inspirací křivkou a čarou compliance plic (šrafovaná) je inspirační práce při spont. ventilaci proti odporu dýchacích cest, trojúhelník vymezený oběma křivkami compliance (šedý) je práce proti elastickým silám.

Přístroje nastavují většinou průměrnou compliance hrudníku (neměří ji). Změření dechové práce u **podporované ventilace je obtížné**, je nutno pacienta zrelaxovat a řízeně ventilovat a změřit dechovou práci ventilátoru, po té změřit dechovou práci u asistované ventilace, po odečtení dostaneme práci pacienta. Normální dechová práce v klidu je 4 j/l nebo 0.5 J/l. Pacienti neúspěšně odpojení od ventilátoru mívají dechové práce 10-15 J/min, nebo větší než 1-1.5 J/l.

ARDS

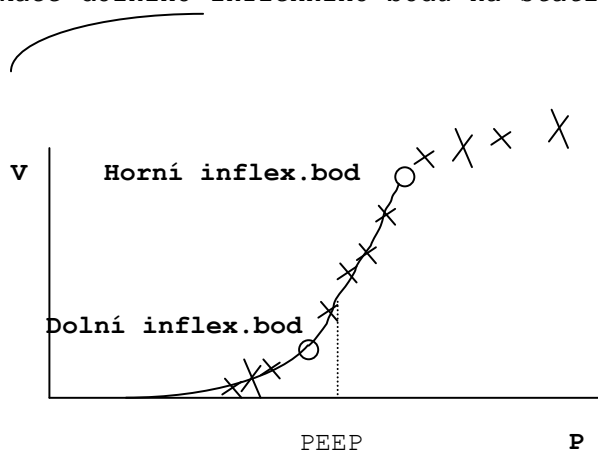
ARDS je indikací k UPV. Z hlediska mechaniky je to stav spojený s nižší poddajností plic, s existencí kolabovaných alveolů, kolaps je způsoben únikem tekutiny a buněčnou infiltrací intersticia plic a alveolů a ztrátou surfaktantu. Otázky spojené s umělou plicní ventilací tohoto stavu zahrnují: Objemová nebo tlaková ventilace, nastavení PEEPu (dolní a horní inflexní bod), FiO_2 , recruitment manévry, rescue postupy. (pronační poloha).

Objemová nebo tlakově řízená ventilace u ARDS.

Lze užít **objemově i tlakově řízené UPV**. U objemové ventilace je větší riziko vysokých inspiračních tlaků a s tím spojené riziko barotraumatů, výhodou je, že zajištěn nastavený minutový objem. U tlakově řízené ventilace nepřesáhneme nastavené tlaky, ale minutový objem bude proměnná závislá na poddajnosti respir. systému. Existuje konsenzus, že by tlaky neměly přesáhnout **35 cm H₂O**, neboť ARDS není homogenní porucha, lze (na CT) indentifikovat populace alevolů "zdravých" a populaci alevolů "kolabovaných" (zejména dorsálně), při vyšších tlacích dochází k hyperinflaci alevolů zdravých a jejich volumo či barotraumatů.

PEEP

PEEP je použit s cílem udržet **otevřené alveoly** (ne "vytlačit" edémotózní tekutinu !!). Jeho nastavení je možné empiricky (8-15 cm H₂O), nebo lze užít metody vyházející z identifikace dolního inflexního bodu na statické nebo pseudo sta-



tické P-V křivce.

Ke stanovení statické křivky je nutno pacienta zrelaxovat a postupně aplikovat různé objemy a změřit příslušný tlak (například metodou velké stříkačky- super syringe), získáme tak body (označené křížkem). U stanovení za pseudostatických podmínek aplikujeme na ventilátoru u opět zrelaxovaného pacienta různé objemy (CMV) a měříme Plateau tlaky, nebo použijeme-li PCV aplikujeme různé tlaky a měříme objemy. Na takto stanovené křivce se snažíme identifikovat dolní inflexní bod a horní inflexní bod. Tyto oblasti odrážejí patofyziologii ARDS: U kolabovaných alevolů je nízká poddajnost, aplikovaný tlak insufluje plíce jen malými objemy. Při aplikaci tlaku na úrovni dolního inflexního bodu dojde k otevření alevolů a prudce vzroste objem, následuje pak relativně lineární vzestup objemu v závislosti na tlaku, až do horního inflexního bodu, kdy opět poddajnost systému klesá, z důvodu hyperinflace. Ventilace by měla probíhat v lineární části této P-V křivky. PEEP je nutno nastavit nad dolní inflexní bod, plateau tlaky by neměly dosahovat nad horní inflexní bod.

FiO₂

Snahou je vzhledem k toxicitě O₂ nastavit nejnižší koncentraci kyslíku. Akcetována je hranice 0.6, což však neznamená, že krátkodobě lze akcetovat i FiO₂ 1.0 při závažné hypoxemii.

Otevírací manévry

Otevírací manévr (opening maneuvers), jsou opakované (1 x i vícekrát denně), krátkodobé (5-10 minut) aplikace vyšších objemů a tlaků s cílem otevřít kolabované alveoly. Tento koncept předpokládá, že po otevření kolabovaných alveolů je nutno k udržení otevřených alveolů již menších tlaků než bylo před tímto manévrem. Krátká aplikace vyšších tlaků nezpůsobí barotrauma. Doposud není stanoven jednotný postup, Amati například aplikuje PEEP 40 Cm H₂O po dobu 40 sekund. Postupy jsou v souladu s konceptem "open the lung and keep it open". Někteří radí i použití **pronační polohy** do těchto manévru. Patofyziologickým podkladem je fakt, že u ARDS je často kondenzace plicní tkáně zejména v dorsálních částech plic (dependentních částech), při pronaci dojde k lepší distribuci ventilace do těchto kondenzovaných částí (stanou se nondependentní), navíc se ukazuje, že v pronační poloze je poměr ventilace-perfuze obecně příznivější (není na rozdíl v supiní poloze tak graitálně distribuován).

Rescue postupy

Jsou poslední možnosti terapie ARDS při selhání konvenční ventilace, zpravidla kdy i při vysoké FiO₂ a maximálních laticích nelze doasáhnout adekvátní oxygenace. Zde lze zařadit: vysokofrekvenční nebo oscilační ventilaci, ECMO (extracorporeal membrane oxygenation), liquid ventilation.

Oběhové účinky UPV

UPV přetlakem působí svými tlaky na cévy a srdce, jako orgány hrudníku. Nejdůležitějším ovlivněním je **snižování venosního návratu**, který vede ke snížení preloadu a tím kardiálního výdeje. Dalším mechanismem, který snižuje kardiální výdej při UPV je zvýraznění mechanismu tzv. pulsus paradoxus, kdy při expiraci je zvýšen venosní návrat, septum pravé komory **se vyklene do levé komory**, čímž sníží její výdej, při invazivním měření tlaku v artérii v případě UPV zaznamenáme pokles tlaku během expira. Dále UPV má klinicky relativně nevýznamný vliv na **zvýšení rezistence v plicním řečišti** (utlačení alveolárních kapilár). UPV **snižuje afterload**, neboť afterload je dán napětím vláken v systole, přetlak působením tlaku na srdce z venku sníží toto napětí.

Nežádoucí účinky UPV

Skupiny komplikací tvoří komplikace spojené s tracheální intubací a se vznikem ventilátorové pneumonie.

Dalšími komplikacemi je: **barotrauma a volumotrauma** = aplikace vysokých tlaků vede k poškození alveolů, obdobně aplikace vysokých objemů. V extrémním případě dojde k úniku vzduchu do pleurální dutiny se vznikem PNO, pneumomediastina, podkožního emphysemu.

Poškození plic UPV (i při relativně nízkých tlacích) je označováno ventilator induced lung injury (VLI), mechanismem jsou **střížné síly mezi alveoly** (poškozené a nepoškozené alveoly jsou mechanicky svázané) a **cyklické otevírání alveolů při inspiraci**.