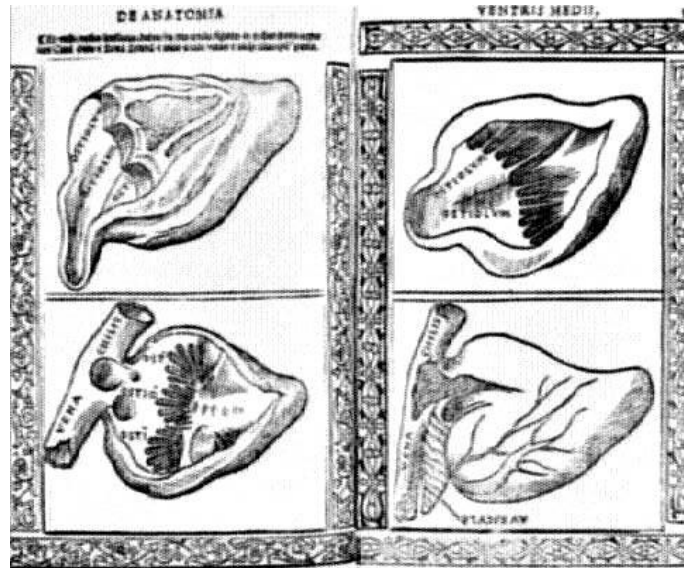


# Hemodynamika krok za krokem



**Michael Želízko**  
**Klinika kardiologie IKEM**

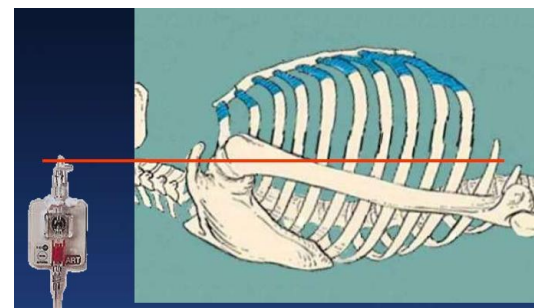
# Základy hemodynamických měření

- Invazivní měření tlaků
- Minutový výdej srdeční
- Měření gradientů
- Plochy ústí

# Invazivní měření tlaků

## 1. Nula=referenční hladina

1. Midchest level – střed hrudníku
2. Skiaskopicky



*CAVE: nula není v rovině kapsle, ale v rovině otevřeného kohoutu*

## 2. Kalibrace systému

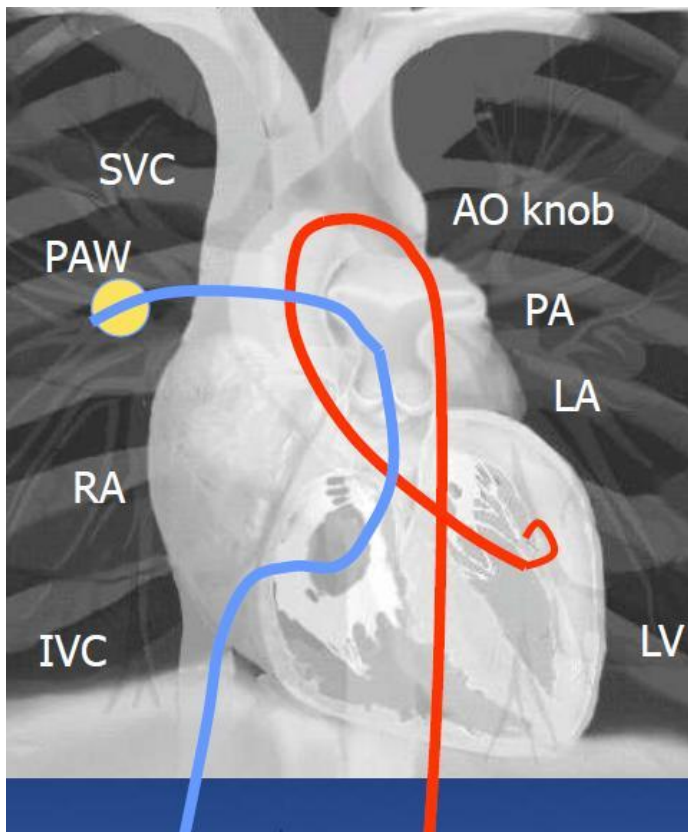
1. Elektronický range
2. Vodní sloupec

40 mmHg – 200 mmHg

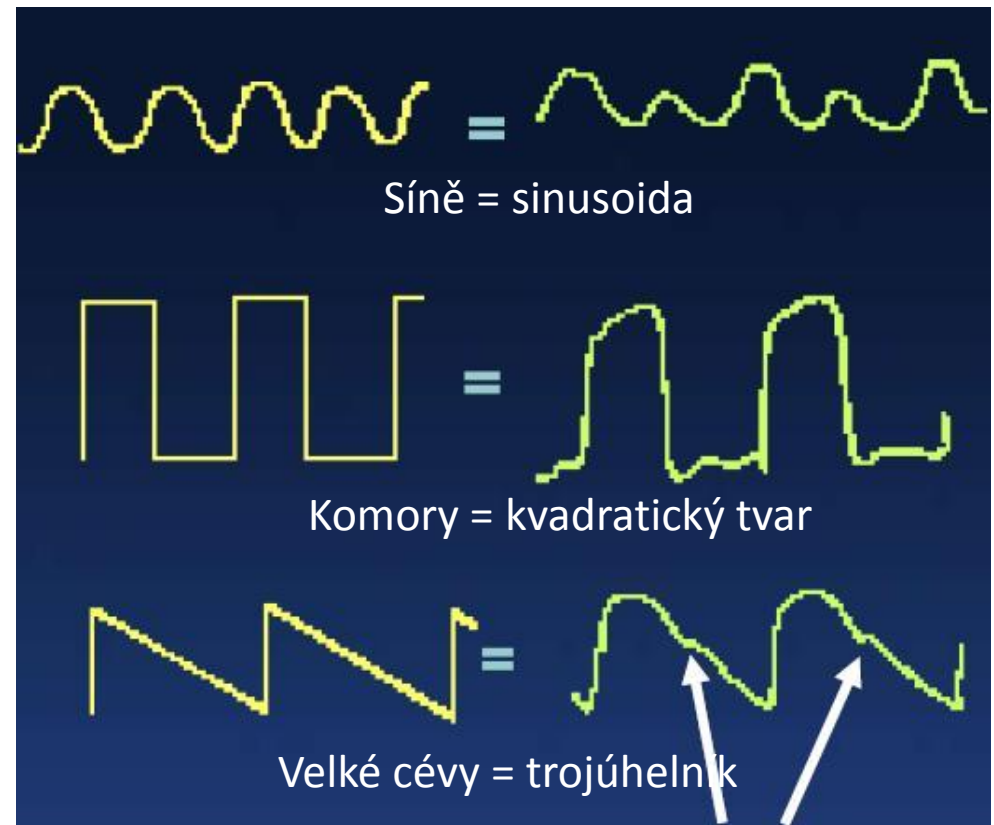
**1 mmHg = 1,36 cm  
vodního sloupce**

# Snímání tlakové křivky

## Typické místo (skiaskopie)

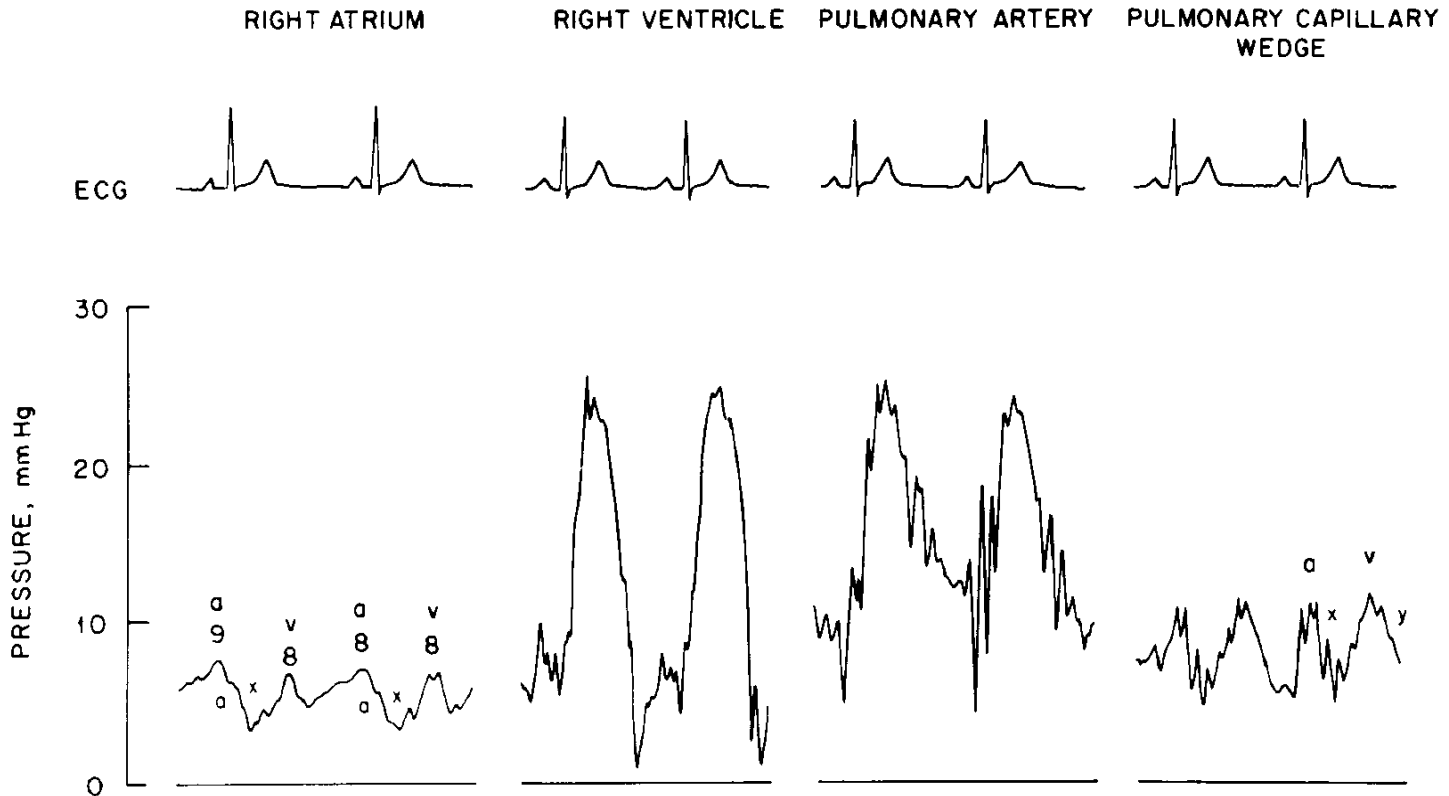


## Typický tvar křivky



**Dikrotický zářez = uzávěr semilunární chlopně**

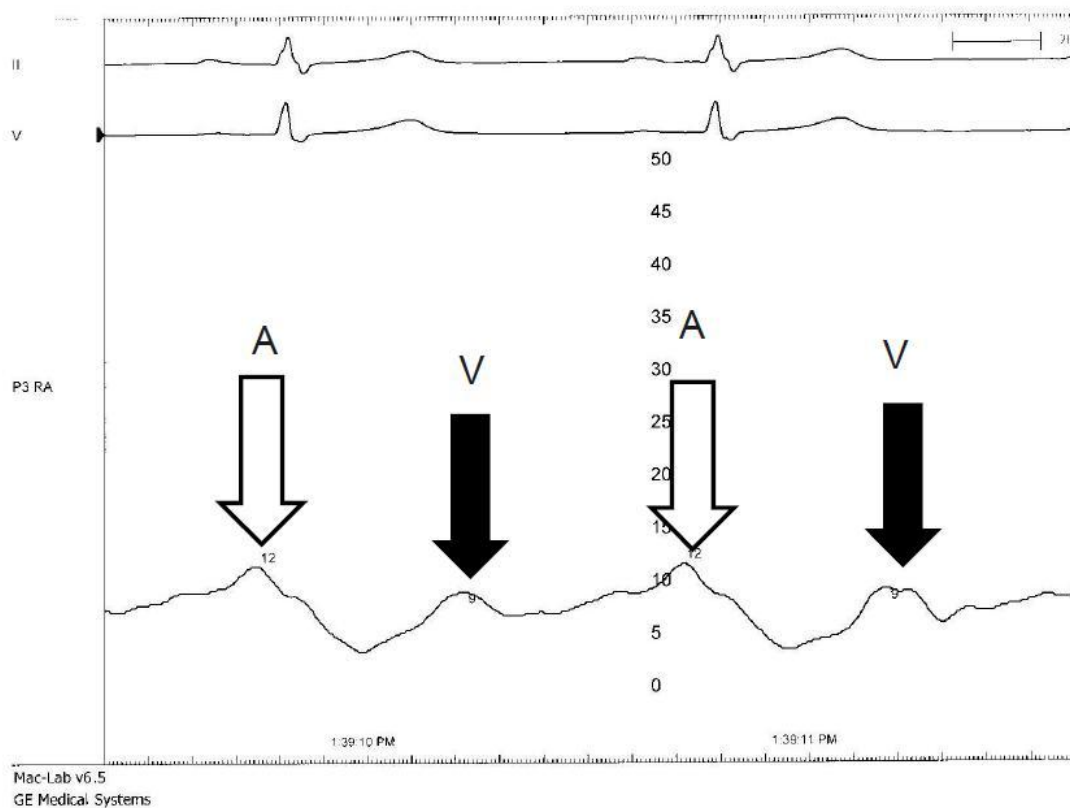
# Normální tlakové křivky



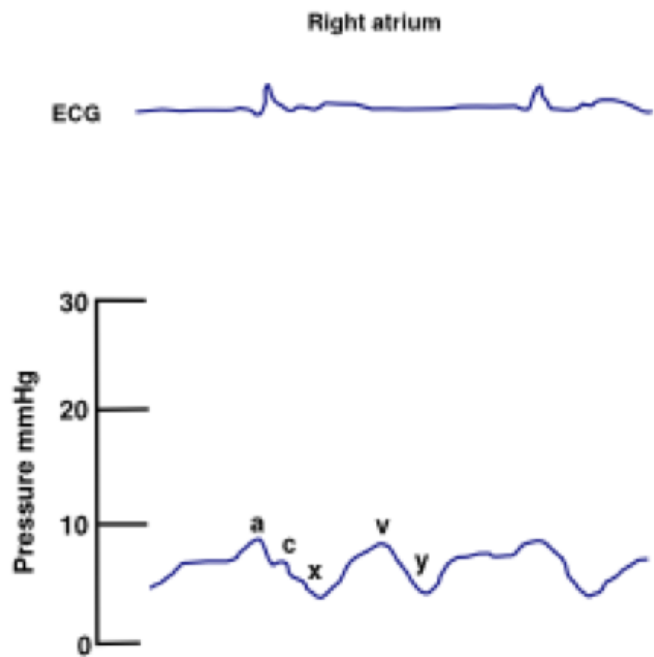
## Normální hemodynamika:

Tlak v PS odpovídá diastol. tlaku v PK, systola PK odpovídá systole PA, diastola PA odpovídá PCW, PCW odpovídá LS a diastole v LK, systola v LK odpovídá systole v aorty

Pravá síň: 0-8 mmHg,  
vlna a (systola síně) 2-10 mmHg,  
vlna v (uzávěr a-v chlopně) 2-10 mmHg



# Tlaková křivka z pravé síně



- a = systola síně
- x = relaxace síně (pokles tlaku)
- c = uzávěr Tri chlopně
- v = systola komor
- y = diastola komor, pasivní plnění komory
- a = systola síně
- ...

# *Normální hodnota PS= 6 mmHg*

## **Zvýšení tlaku v PS**

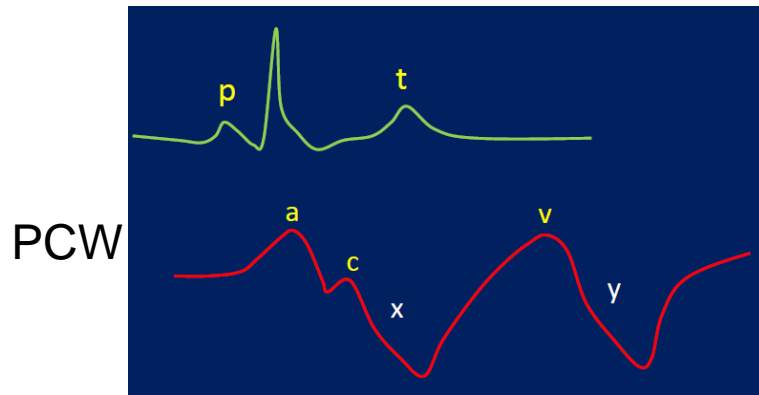
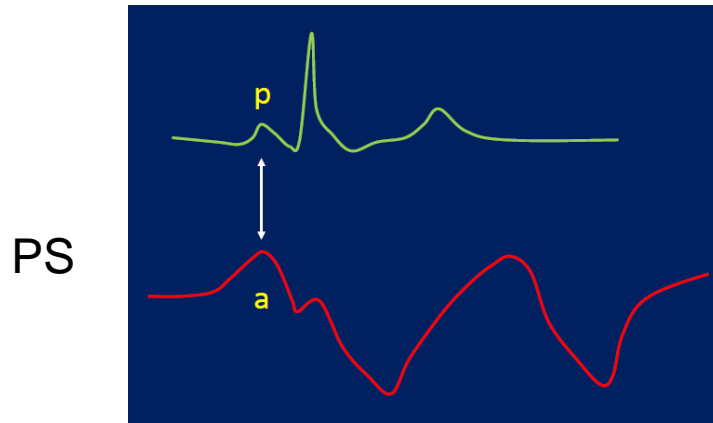
- HYPERVOLEMIE
- IM pravé komory
- Plicní hypertenze
- Levo-pravý zkrat
- Trikuspidální regurgitace
- Tamponáda
- Konstrikce perikardu
- Restriktivní KMP

## **Snížení tlaku v PS**

- HYPOVOLEMIE
- Vagová reakce

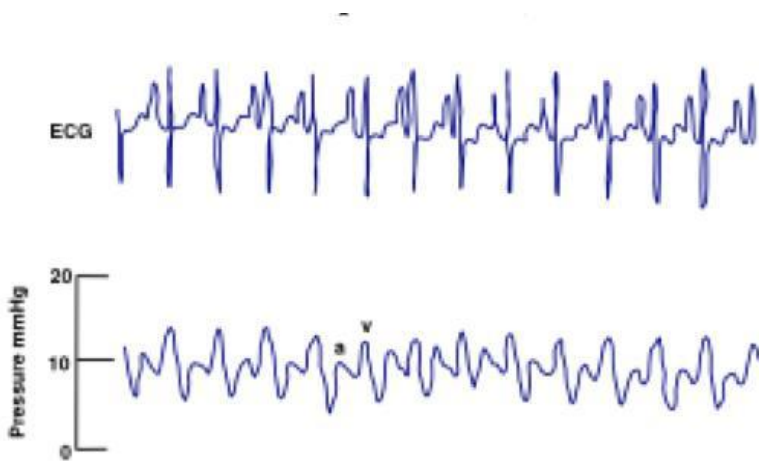


# Vlna „a“ – systola síní



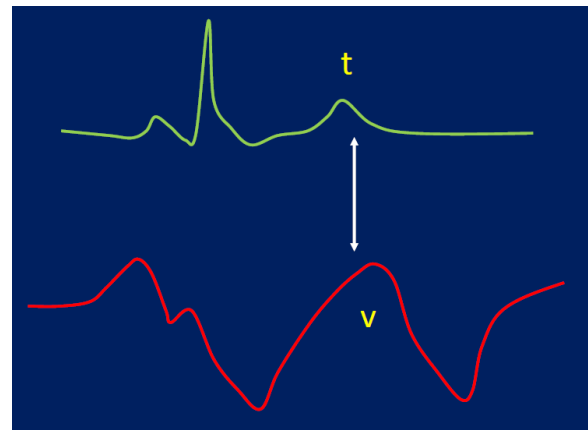
- Vysoká vlna „a“ v PS
  - Porucha vyprazdňování PS
    - Trikuspidální stenóza
    - Myxom pravé síně
  - Dysfunkce PK –
    - stenóza plicnice
    - Restriktivní KMP
- Chybějící vlna „a“
  - Fibrilace síní

# Vlna „v“ v PS



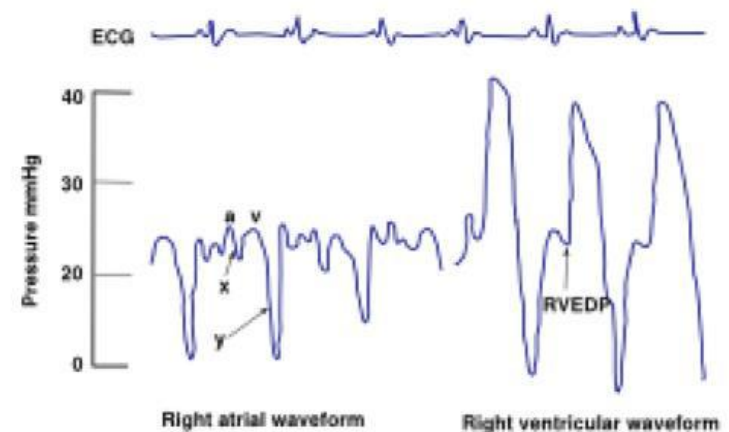
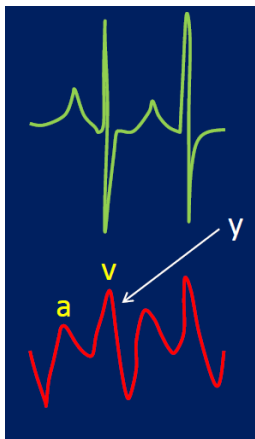
- Vlna „v“ v PS je způsobena přítokem krve z HDŽ a DDŽ do PS ke konci systoly, trikuspidální chlopeň je uzavřena
- Koreluje s vlnou „T“ na EKG

- Vysoká vlna „v“ v PS
  - Trikuspidální regurgitace
    - Současně rychlý pokles „y“
  - Selhání pravé komory



# Rychlá pokles vlny „y“ a plateau (**dip and plateau**) + ekvalizace tlaku v PS a RVEDp

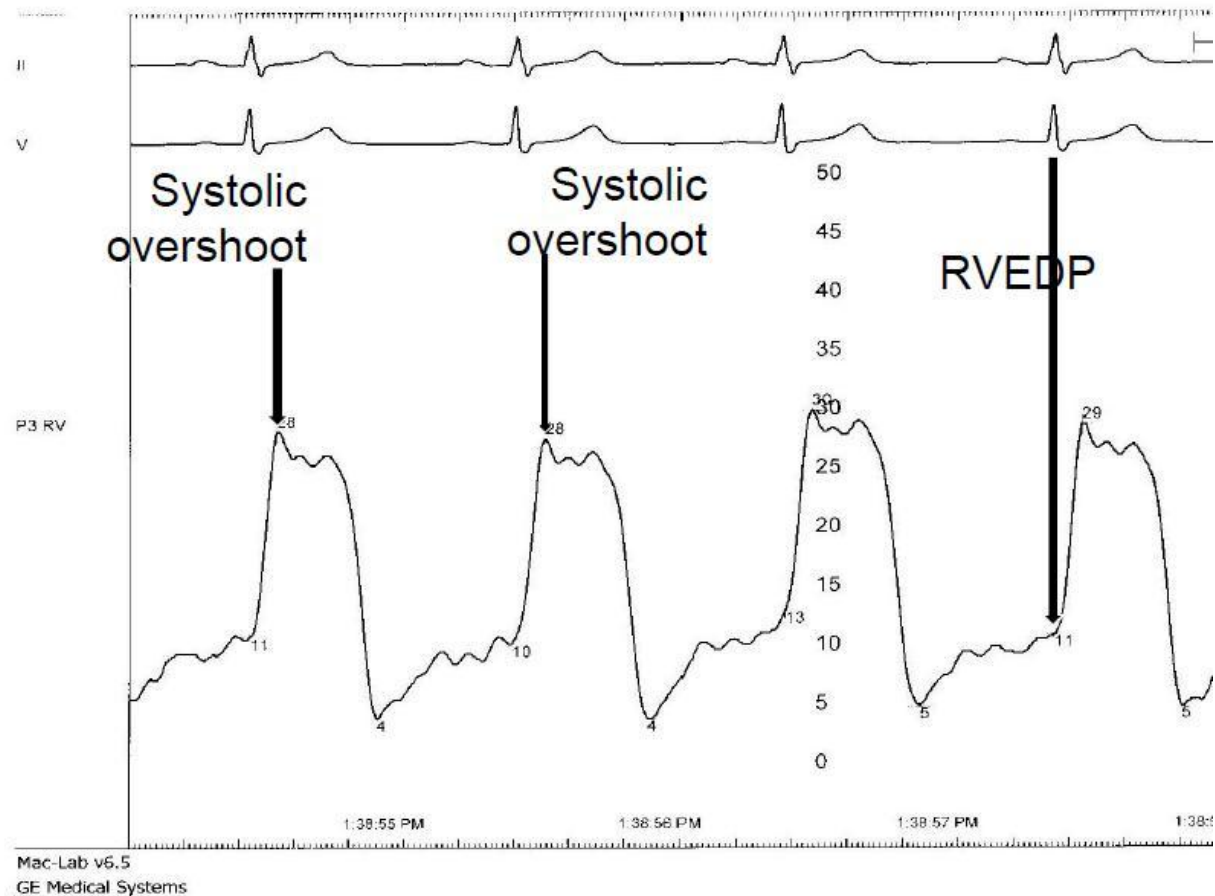
- Svědčí pro poruchu plnění PK
  - Konstrikce
  - Restrikce



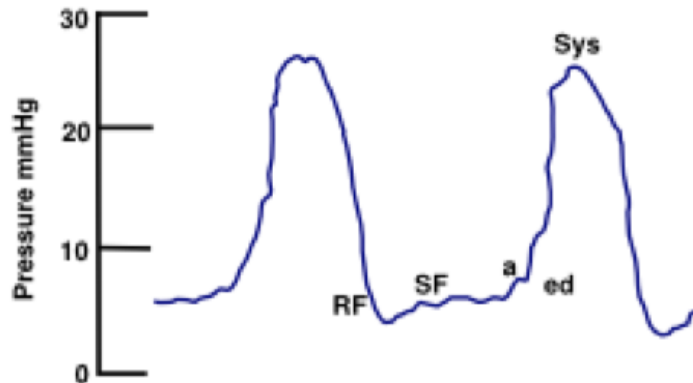
*POZOR: podobný obraz má Tri regurgitace („y“), ale ta má i vysokou vlnu „v“*

# Pravá komora

systola 15-30 mmHg,  
enddiastola (RVEDp) 0-8 mmHg



# PK



- Sys = systola
- ED = tlak na konci diastoly (RVEDp)
- SF = slow filling – pomalé (pasivní) plnění)
- A = kontrakce síně

## Zvýšení tlaku v PK:

Plicní hypertenze  
Stenóza plicnice  
Významný L-P zkrat  
(ASD, VSD)  
Plicní embolizace

## Snížení systol. tlaku v PK:

hypovolemie, kardiogenní šok, tamponáda

## Snížení RVEDp:

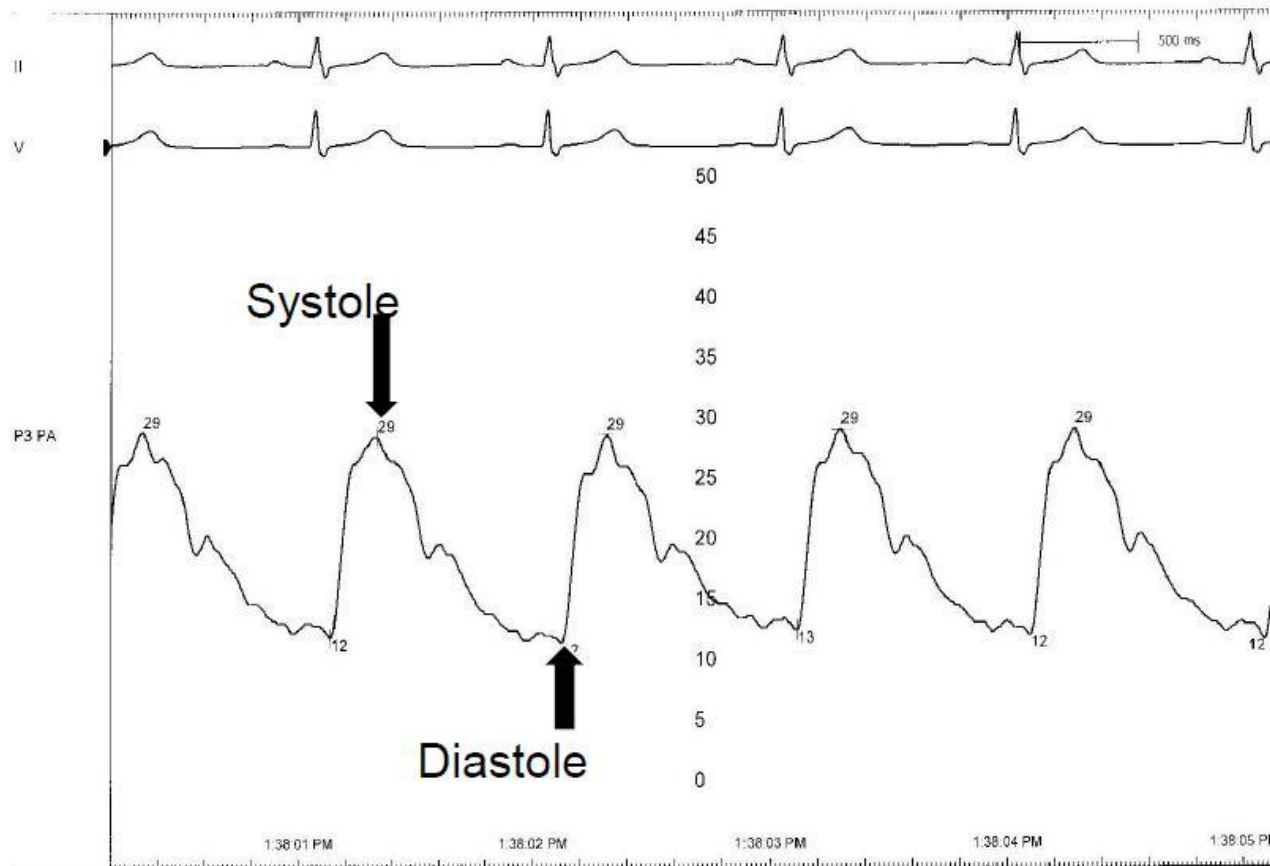
trikuspidální stenóza (unloaded RV)

## Zvýšení RVEDp:

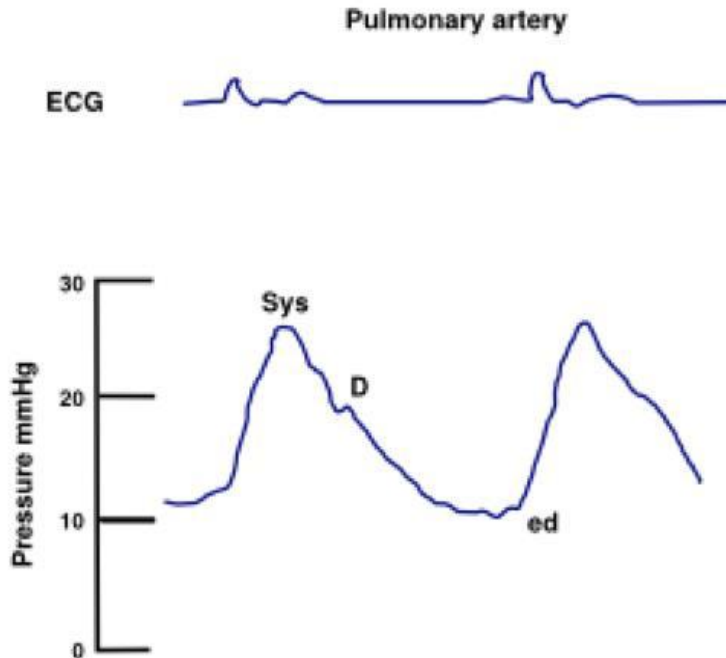
dysfunkce PK, tamponáda, konstrikce/restrikce

# Plicnice

systola 15-30 mmHg, diastola 6-12 mmHg,  
střední tlak (PA mean)=9-20 mmHg



# Plicnice



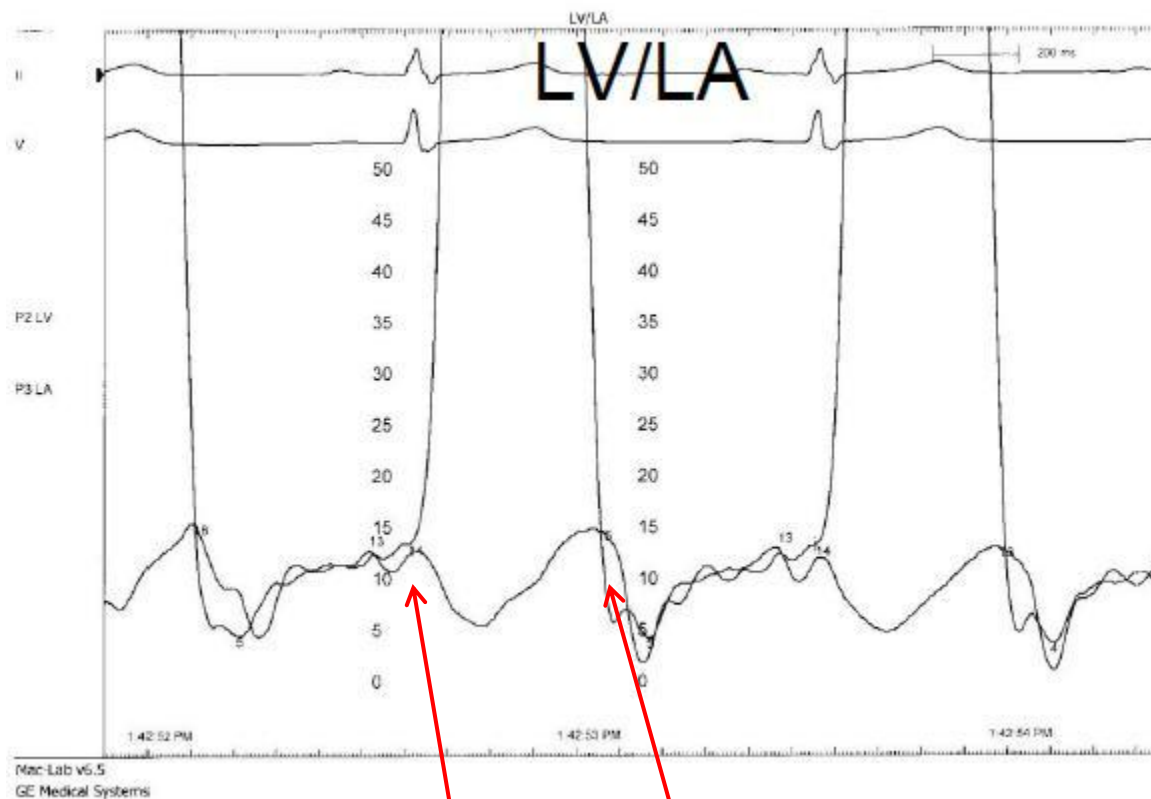
Sys = systola

D = dikrotický zářez (uzávěr chlopně plicnice)

Ed = enddiastola

- **Zvýšení tlaku v plicnici**
  - Plicní hypertenze
  - Plicní embolizace
  - L-P zkrat
  - Postkapilární
    - Mitrální vady
    - KMP
    - Srdeční selhání

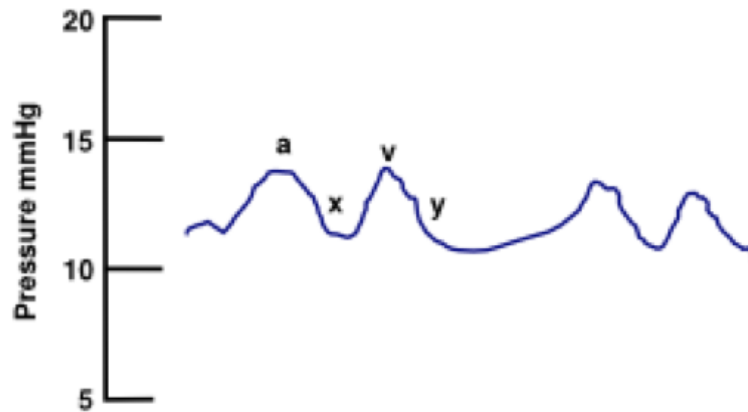
PCW (pulmonary capillary wedge) = levá síň  
mean 4-12 mmHg, vlna a 4-15, vlna y 4-15mmHg



vlna a      vlna y



# PCW



- a** = kontrakce LS
- x** = relaxace síně
- v** = kontrakce LK
- y** = pasivní plnění LK
- a** = kontrakce LS
- ...

Vysoká vlna „a“  
...mitrální stenóza

Vysoká vlna „v“  
...mitrální regurgitace

- Za normální situace:  
**PCW = LS = LVEDp**
- Snížení tlaku v PCW
  - Hypovolémie
- Zvýšení tlaku v PCW
  - V důsledku zvýšení LVEDp = PCW (**postkapilární**)
    - .... dysfunkce LK
    - Hypervolemie
    - tamponáda
  - PCW > LVEDp (**prekapilární**)
    - Mitrální stenóza(regurgitace, myxom LS)
    - PPH
    - Plicní embolizace
    - Respirační selhání (hypoxemie s plicní vasokonstrikcí)

# Normální hodnoty

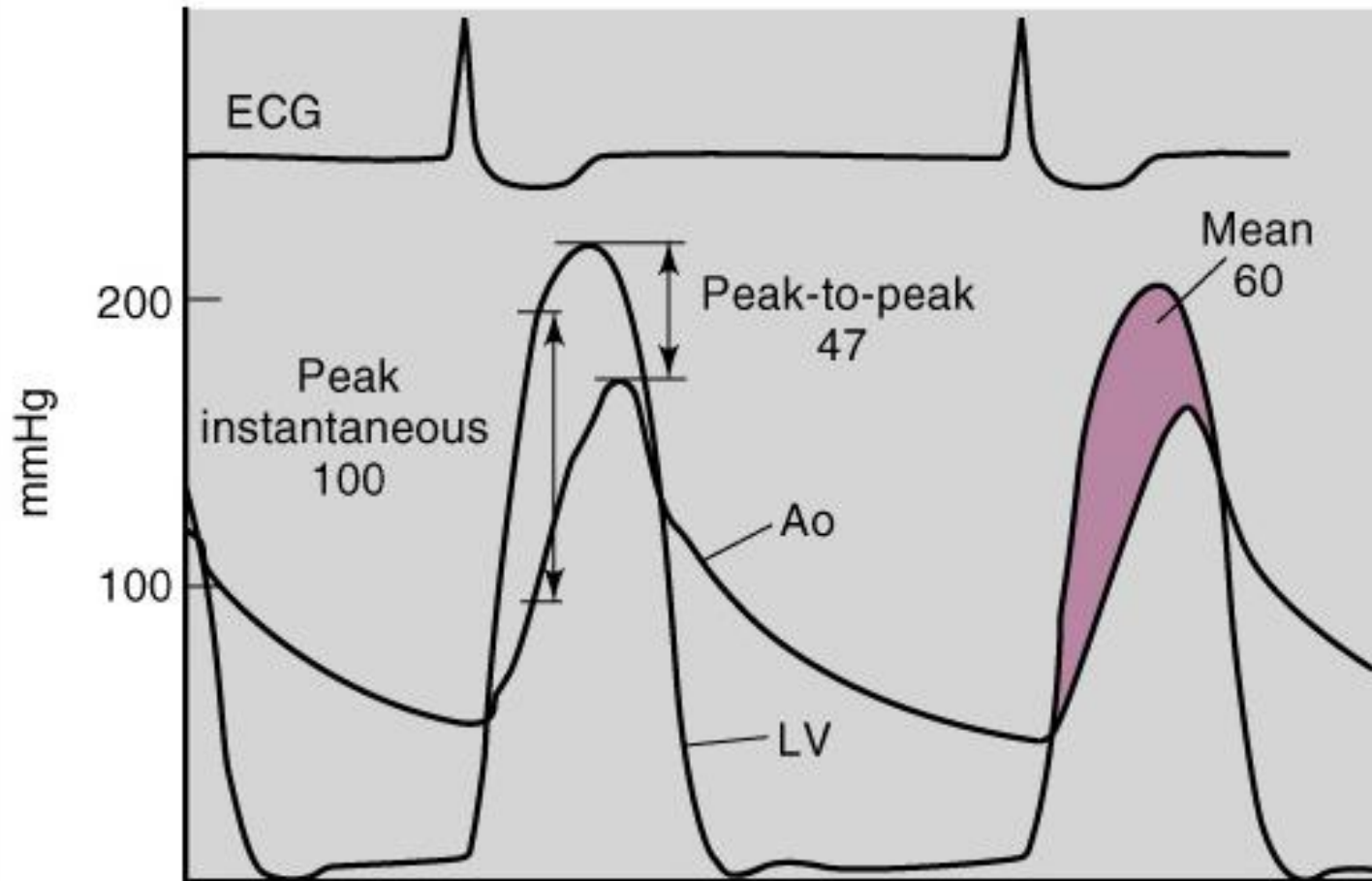
Srdeční oddíl	Systola mmHg	Diastola mmHg	Střední mmHg	Vlna a/v mmHg
Pravá síň	-	-	<b>6</b>	<b>10/10</b>
Pravá komora	<b>30</b>	<b>6</b>	-	-
Plicnice	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>20 (25)</b>	-
PCW nebo LS	-	-	<b>12</b>	<b>15/15</b>
Levá komora	<b>140</b>	<b>12</b>	-	-
Aorta	<b>140</b>	<b>85</b>	-	-

# Gradienty

**Tlakový gradient mezi  
dvěma srdečními oddíly je  
známkou zúžení**

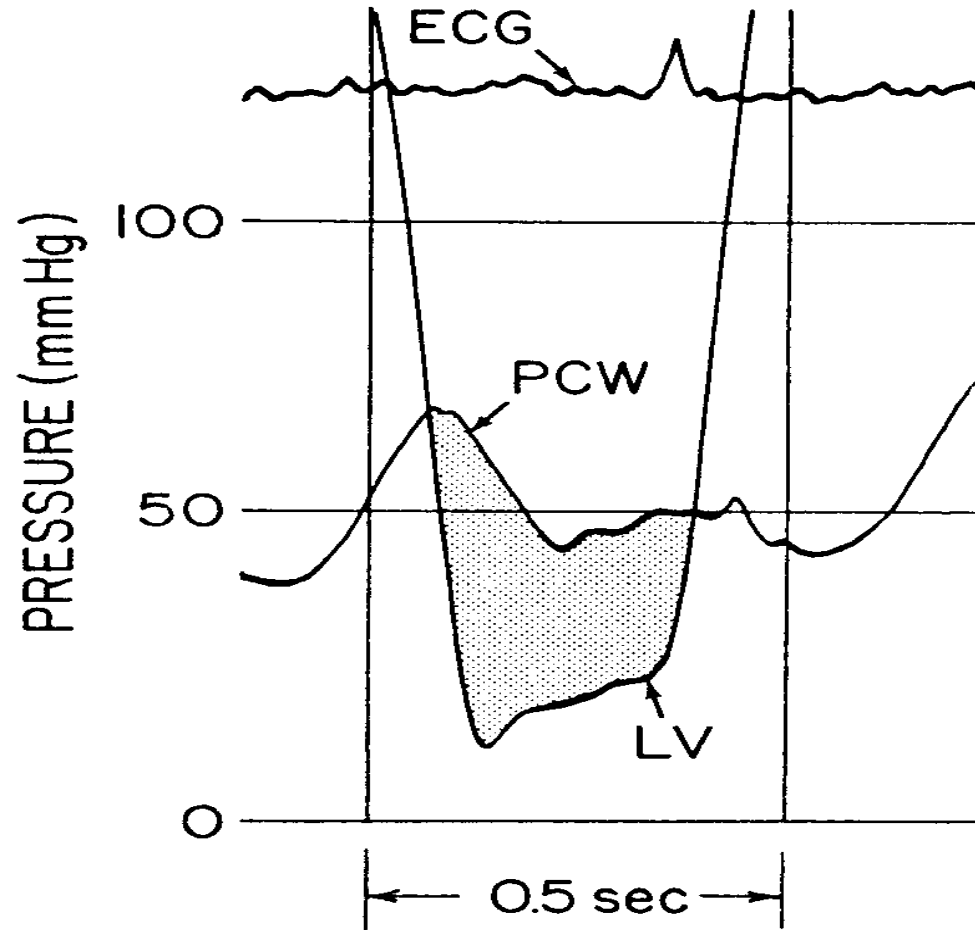
# Gradient Ao chlopně: levá komory vs aorta

simultánní měření (metoda „pull-back“ pouze při sinusovém rytmu bez extrasystol)



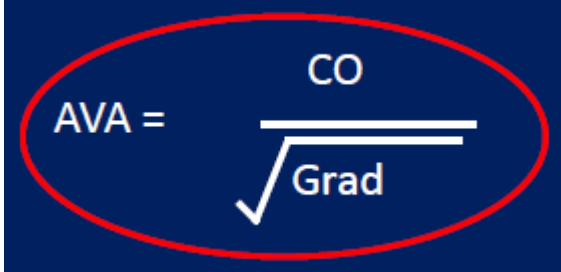
# Mitrální gradient

Simultánní zápis tlaku z levé komory (LV) a levé síně (LS) nebo zaklínění (PCW)



# Plochy ústí: výpočet

$$\text{Plocha ústí} = \frac{\text{průtok přes ústí}}{k \cdot \sqrt{\text{AVG (MVG)}}$$


$$\text{AVA} = \frac{\text{CO}}{\sqrt{\text{Grad}}}$$

Průtok přes ústí = min. výdej / SEP(DFP) x SF

*SEP= systolická ejekční perioda*

*DFP= diastolická plnicí perioda*

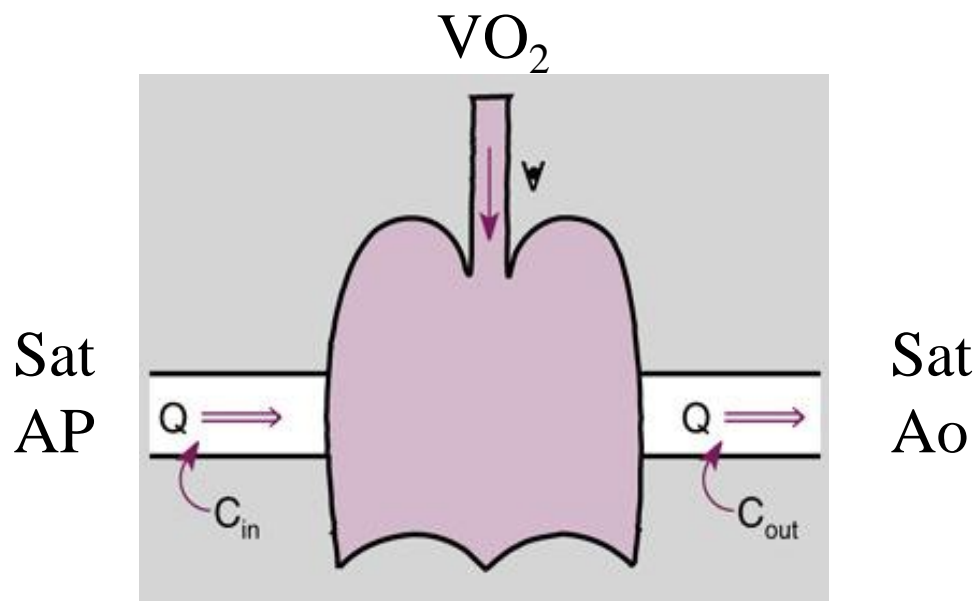
*k=44,5 pro aortální chlopeň*

*k=38 pro mitrální chlopeň*

# Minutový výdej srdeční

- Fickův princip
- Termodiluce
- Barvivová diluce

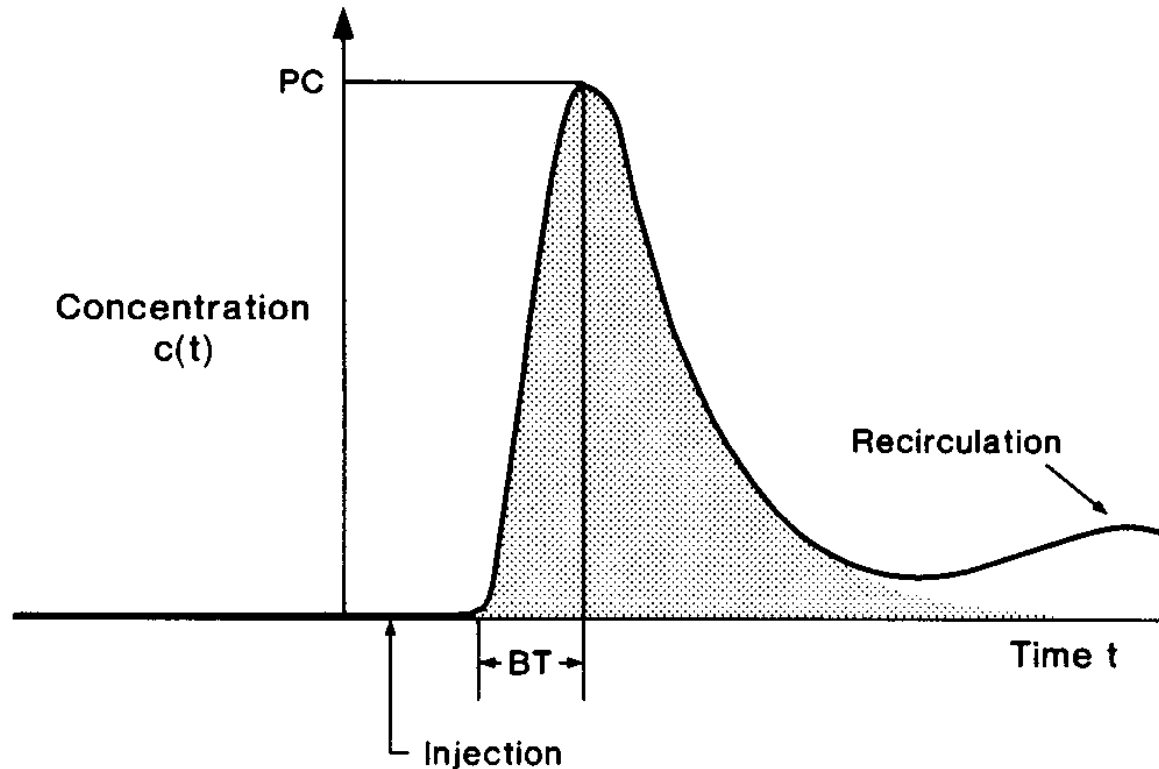
# Fickův princip



$$\text{Min. výdej} = \frac{VO_2}{(a-v) \text{ difference} \times 1,36 \times Hb}$$
$$a-v \text{ difference} = Sat_{AO} - Sat_{AP}$$



# Minutový výdej srdeční: diluční křivka



Typický tvar diluční křivky typu „first pass“.

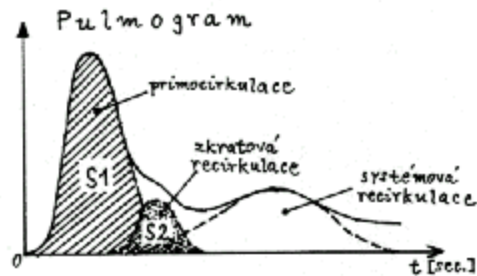
Vyznačená plocha pod křivkou odpovídá prvnímu průtoku,

neoznačená plocha je projevem recirkulace a pro výpočet minutového výdeje není zohledněna

PC = peak concentration (vrcholová koncentrace indikátoru)

BT = buildup time

# Diluční křivky: měření průtoků a zkratů



Levo-pravý zkrat:

$$\frac{Q_z}{Q_p} = \frac{S_2}{S_1} \cdot 100 \text{ [% } Q_p \text{]}$$

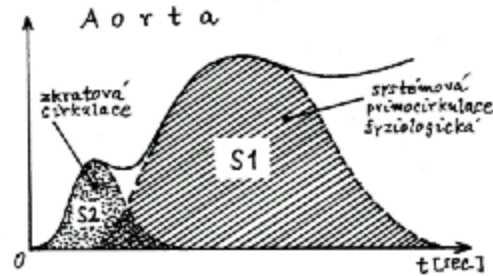
$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{S_1}{S_1 - S_2} \quad (\geq 1)$$

Pokud je současně i P-L zkrat, pak

$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{S_1 \left(1 - \frac{Q_{zP-L}}{Q_s}\right)}{S_1 - S_2}$$

S1 - plocha pod primocirkulační křivkou  
S2 - plocha pod zkratovou recirkulací  
Q<sub>p</sub> - celkový plicní průtok  
Q<sub>z</sub> - průtok levo-pravým zkratem  
Q<sub>s</sub> - systémový průtok

a b



Pravo-levý zkrat:

$$\frac{Q_{zP-L}}{Q_s} = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \cdot 100 \text{ [% } Q_s \text{]}$$

S1 - plocha pod fyziologickou primocirkulací aortou

S2 - plocha pod zkratovou vlnou

Q<sub>s</sub> - systémový průtok

Q<sub>zP-L</sub> - průtok pravo-levým zkratem

# Nejčastější chyby při měření minutového výdeje

- Hodnota snížena (Fickova metoda)
  - spotřeba kyslíku ( $\text{VO}_2$ ) není měřena, ale dosazena z tabulek nebo programem v computeru
  - desaturace při hypoventilaci vlivem premedikace
- Hodnota zvýšena (termodiluční metoda)
  - Trikuspidální regurgitace
  - Extrasystoly
  - Nižší objem vstříkovaného roztoku nebo teplý roztok

# Plicní resistance

- plicní vaskulární resistance (PVR)

$$\frac{\text{PA mean (mmHg)}}{\text{CO (l/min)}}$$

- plicní arteriolární resistance (PAR)

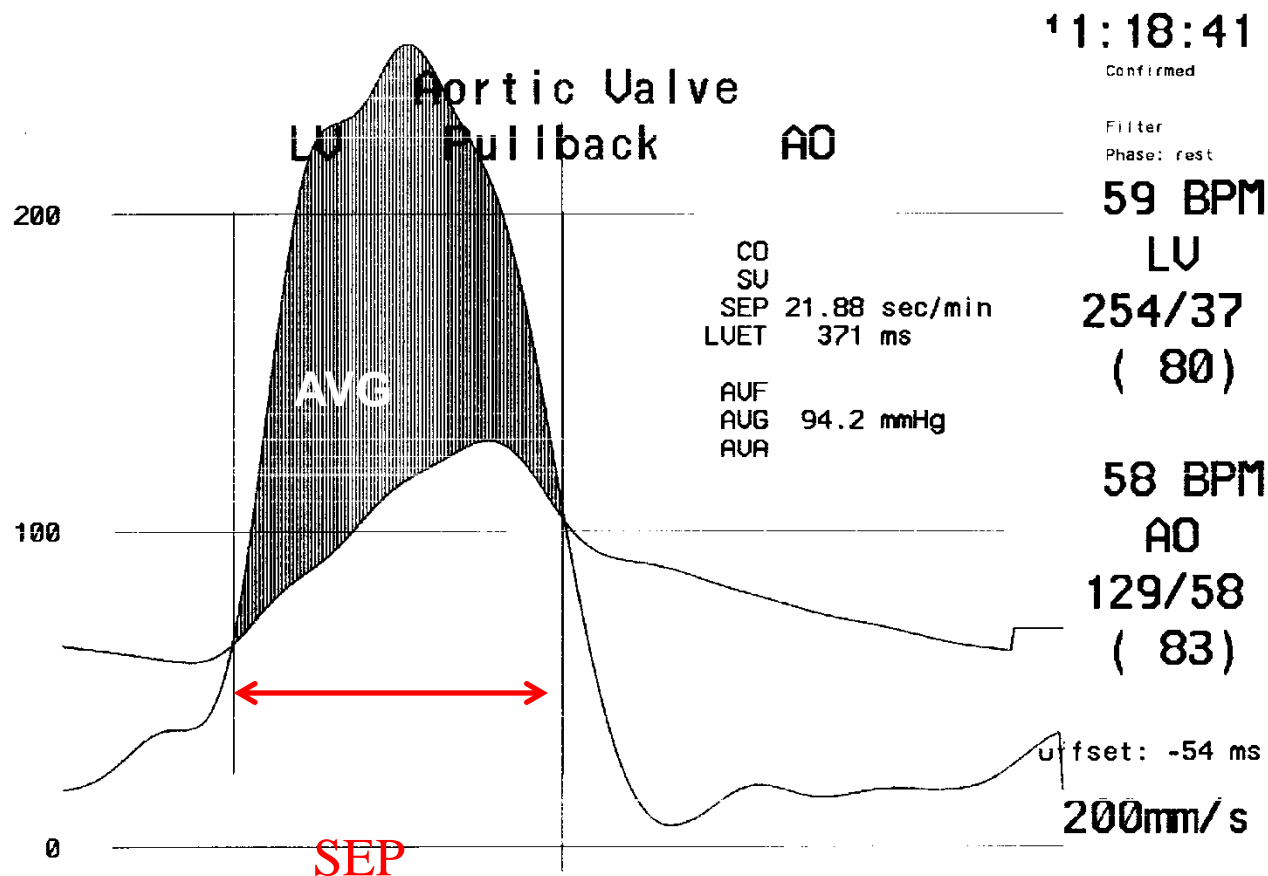
$$\frac{\text{PA mean} - \text{PCW mean}}{\text{CO (l/min)}}$$

# Hemodynamické profily

příklady

# Aortální stenóza

AVG = 94,2 mmHg, AVA = 0,53 cm<sup>2</sup> tj 0,27 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>



AVA =

$$44.3 \times \frac{(\text{CO}/\text{SEP}) \times \text{HR}}{\sqrt{\text{Mean Gradient}}}$$

CO = Cardiac Output

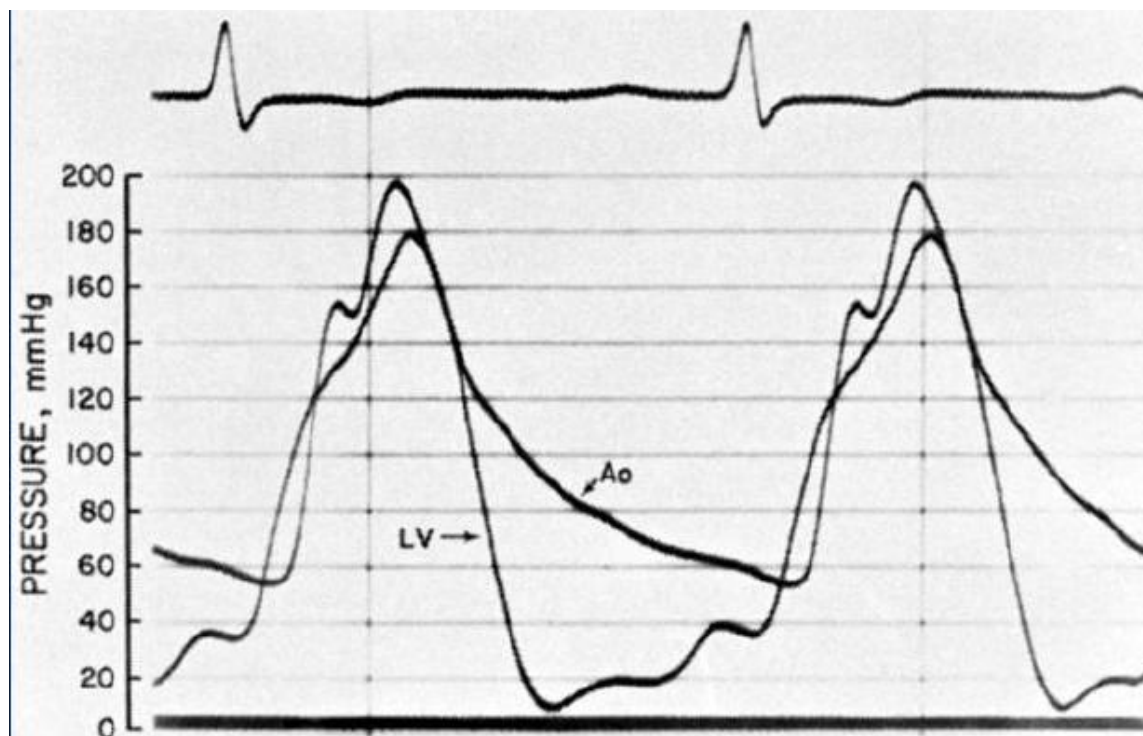
SEP = Systolic Ejection Period

# Aortální stenóza

## hemodynamická významnost vady

<b>Aortální stenóza</b>	<b>AVG mean</b>	<b>AVAi</b>	<b>Pozn.</b>
Lehká	< 25 mmHg	> 0,8 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Konzervat. postup
Střední	25-40mmHg	0,8-0,6 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Kontroly echo á 6 měs <sup>+</sup>
Významná	> 40 mmHg	< 0,6 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Symptomy = AVR / TAVI
Kritická		< 0,3 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	AVR / TAVI

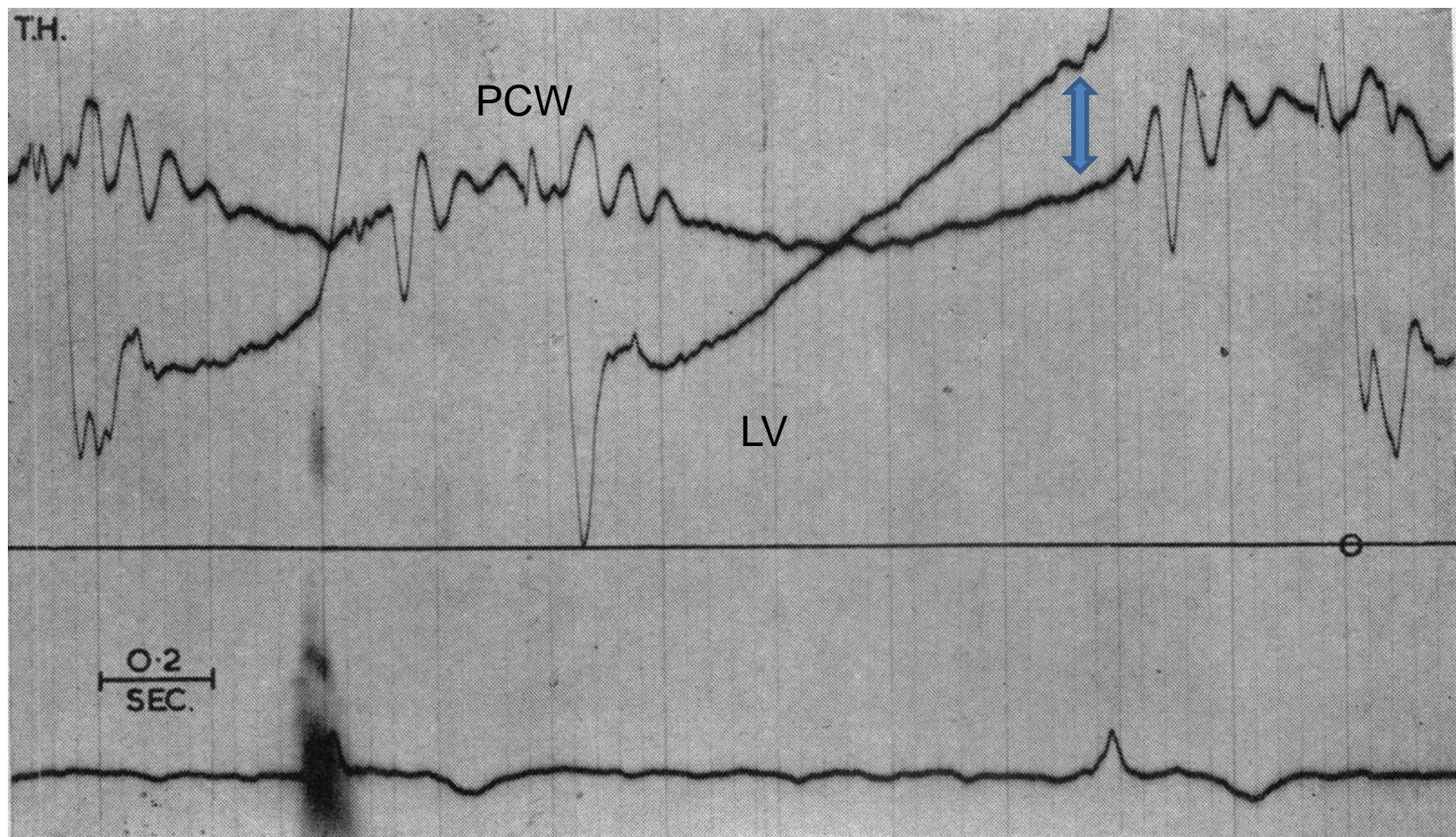
# AORTÁLNÍ REGURGITACE



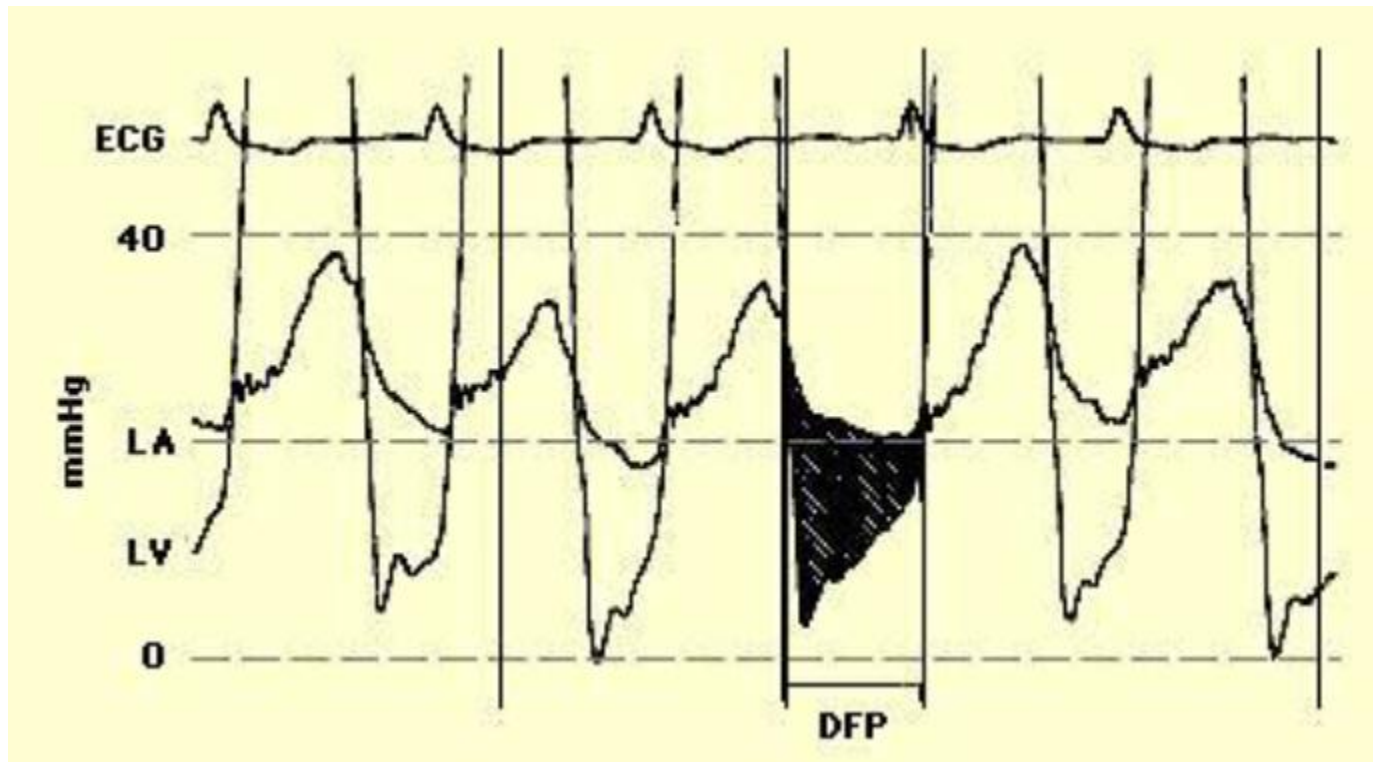
Vysoké systolicko-diastolické rozpětí > 100 mmHg (nespecif.)  
Chybí dikrotický zářez na křivce z aorty  
Nízký tlak v aortě na konci diastoly  
Vysoký tlak v LK na konci diastoly  
Reverzní enddiastolický gradient na Mi chlopni



# Reverzní (end)diastolický gradient na mitrální chlopni u významné aortální regurgitace



# Mitrální stenóza



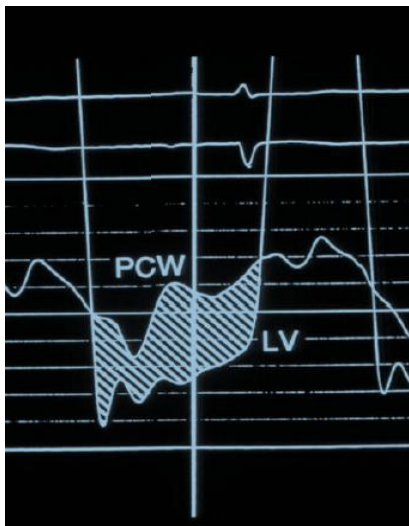
$$\text{MVA} = \frac{(\text{CO}/\text{DFP}) \times \text{HR}}{44.3 \times .85 \times \sqrt{\text{Mean Gradient}}}$$

CO = Cardiac Output  
DFP = Diastolic Filling Period

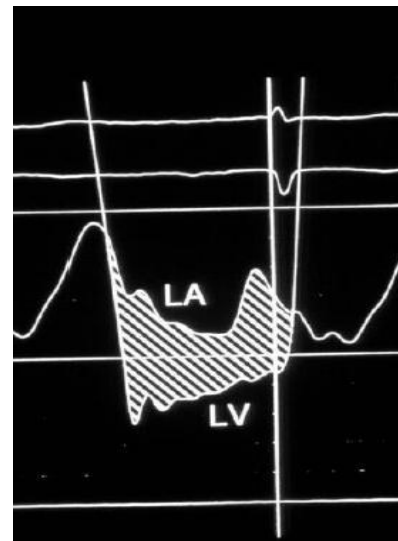
# Mitrální stenóza

## hemodynamická významnost vady

<u>Mitrální stenóza</u>	MVG (mean)	MVA	Pozn.
lehká	<5 mmHg	>1,5 cm <sup>2</sup>	Konzervat. postup
střední až významná	5-10mmHg	1,0-1,5 cm <sup>2</sup>	PTMC nebo operace NYHA ≥II, PH, FS
těsná	> 10mmHg	< 1 cm <sup>2</sup>	Operace



Měření gradientu  
časový posun  
Mezi PCW a LS je  
40 – 120 msec

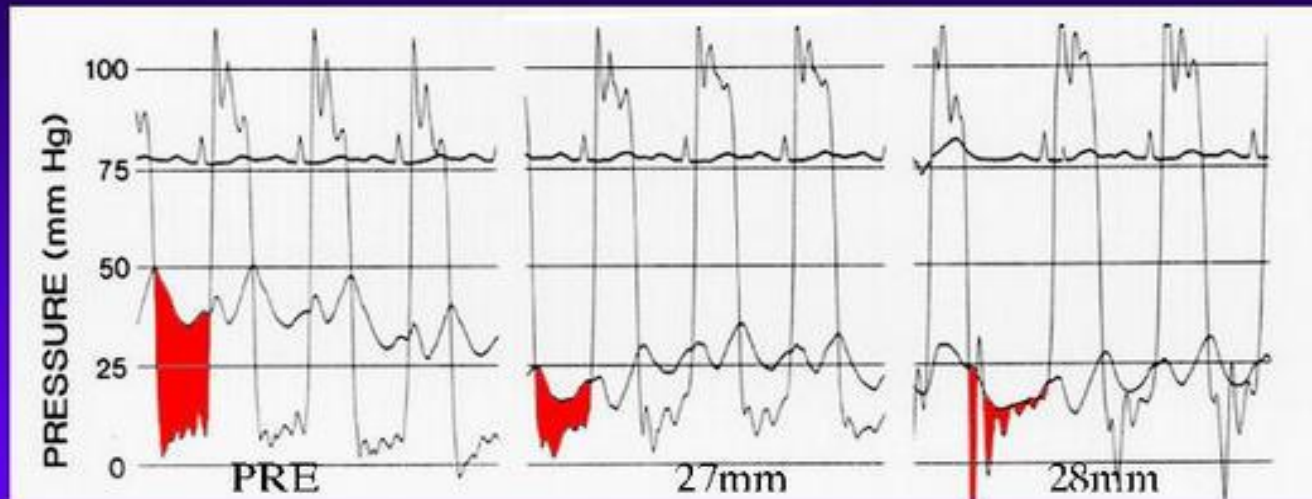




# Mitrální stenóza – PTMC

(perkutánní transluminální mitrální comisulrolýza)

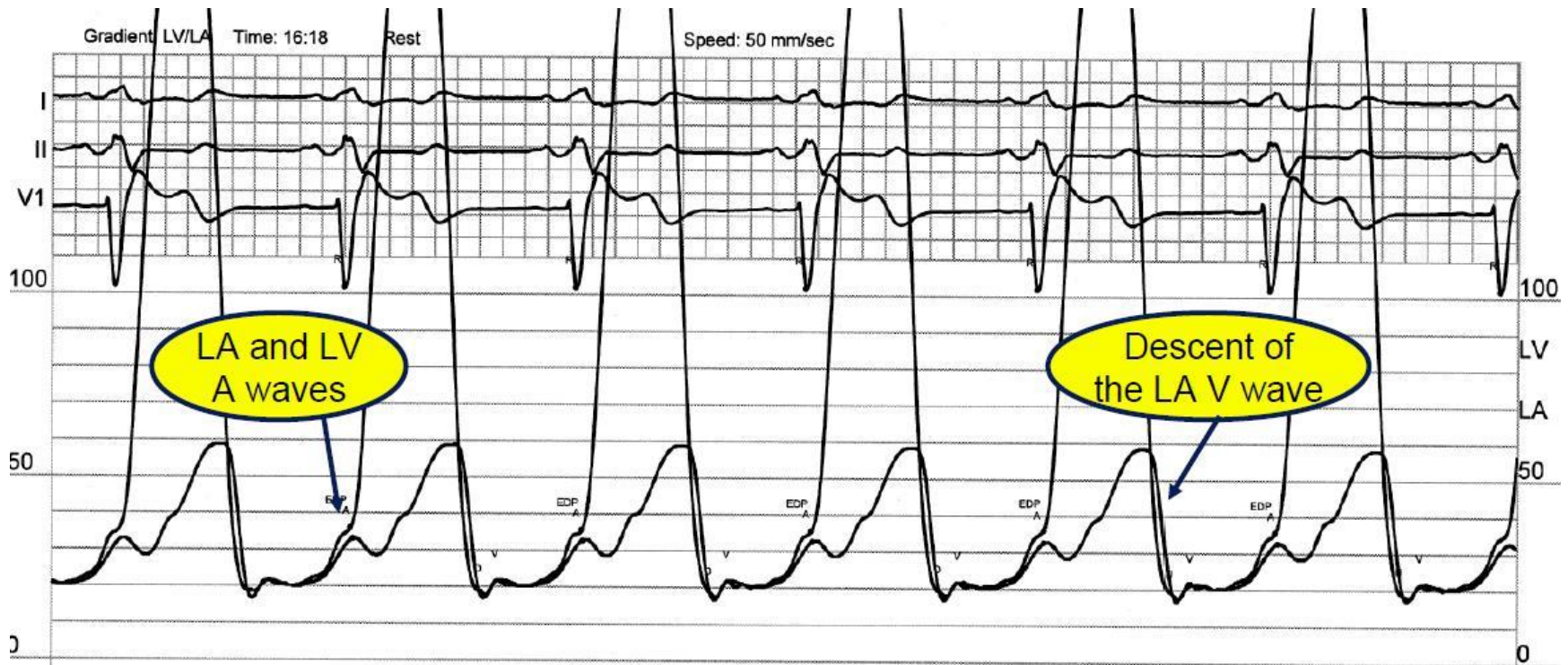
Postupná dilatace mitrálního ústí



pokles gradientu bez vzestupu vlny  $\underline{v}$  v LS

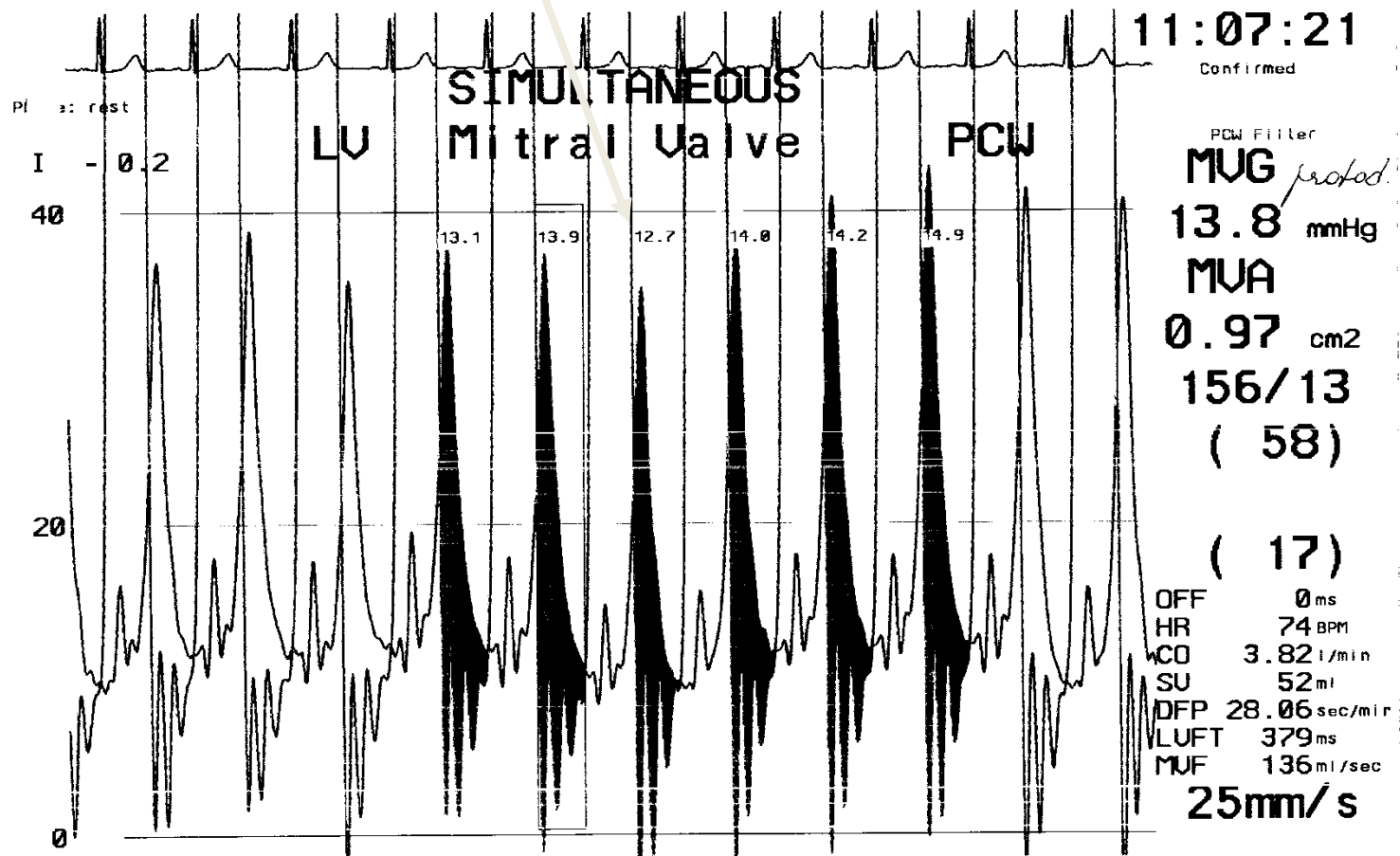
# Chronická mitrální regurgitace

vysoká vlna „v“ v LS, pokud je sinusový rytmus, je vlna „a“ přítomna  
... pokud dilatuje LS, vlna „v“ se snižuje a vlna „a“ chybí



# Akutní ischemická mitrální regurgitace

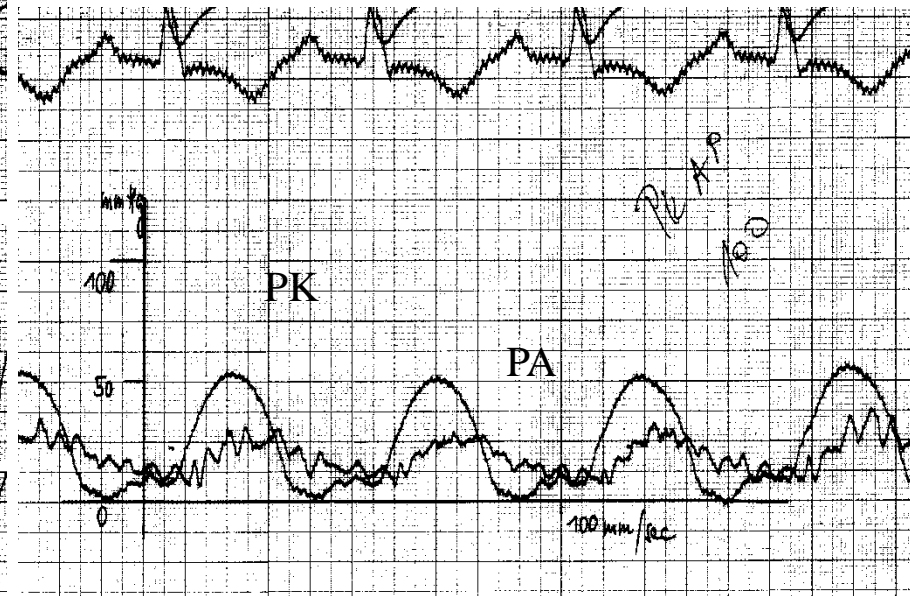
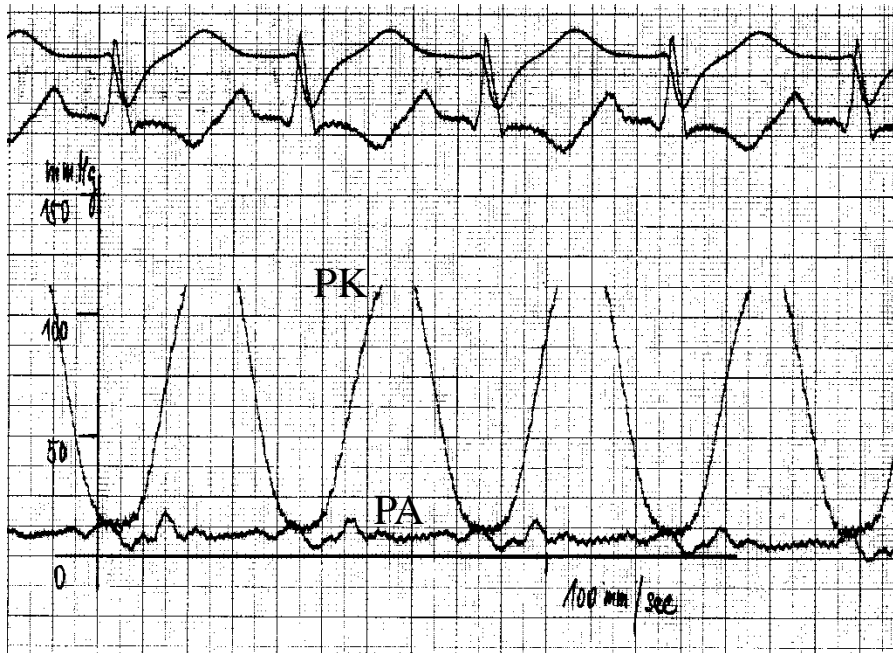
Gradient na mitrální chlopni je pouze v časně diastole (protodiastolický) a je tvořen vlnou  $\underline{v}$  v PCW



koncový (enddiastolický) gradient je nulový

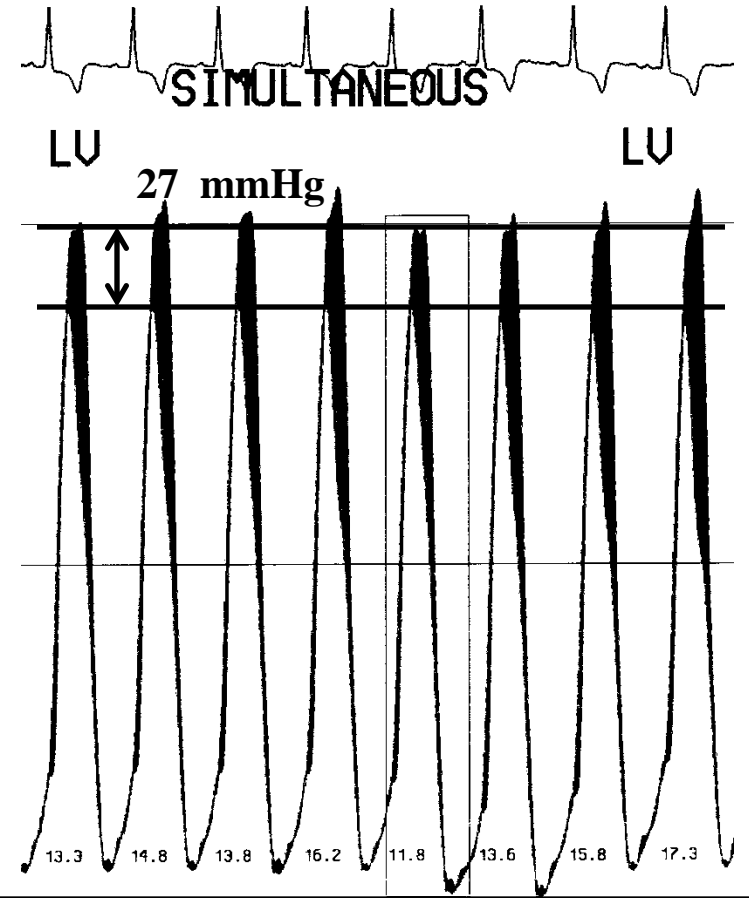
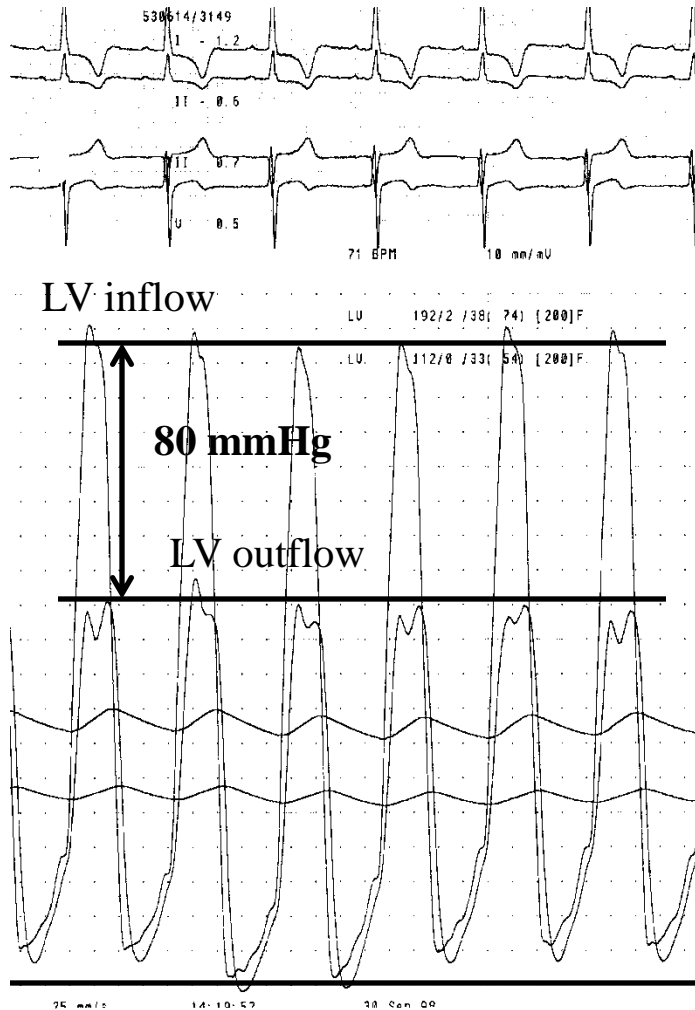
# Valvulární stenóza plicnice

vrcholový gradient mezi  
pravou komorou (RV=130/15 mmHg)  
a plicnicí (PA=15/5 mmHg) = **120 mmHg**



po katetrizační dilataci plicnice reziduální  
gradient na chlopni 15 mmHg a ve  
výtokovém traktu pravé komory 13 mmHg

# Nitrokomorový gradient u nemocného s hypertrofickou obstrukční kardiomyopatií



mezi vtokovým a výtokovým traktem levé komory je vrcholový gradient 80 mmHg

po alkoholové ablaci septa (ASA) pokles vrcholového gradientu na 27 mmHg



# Kontrikce vs restriktice: společné znaky

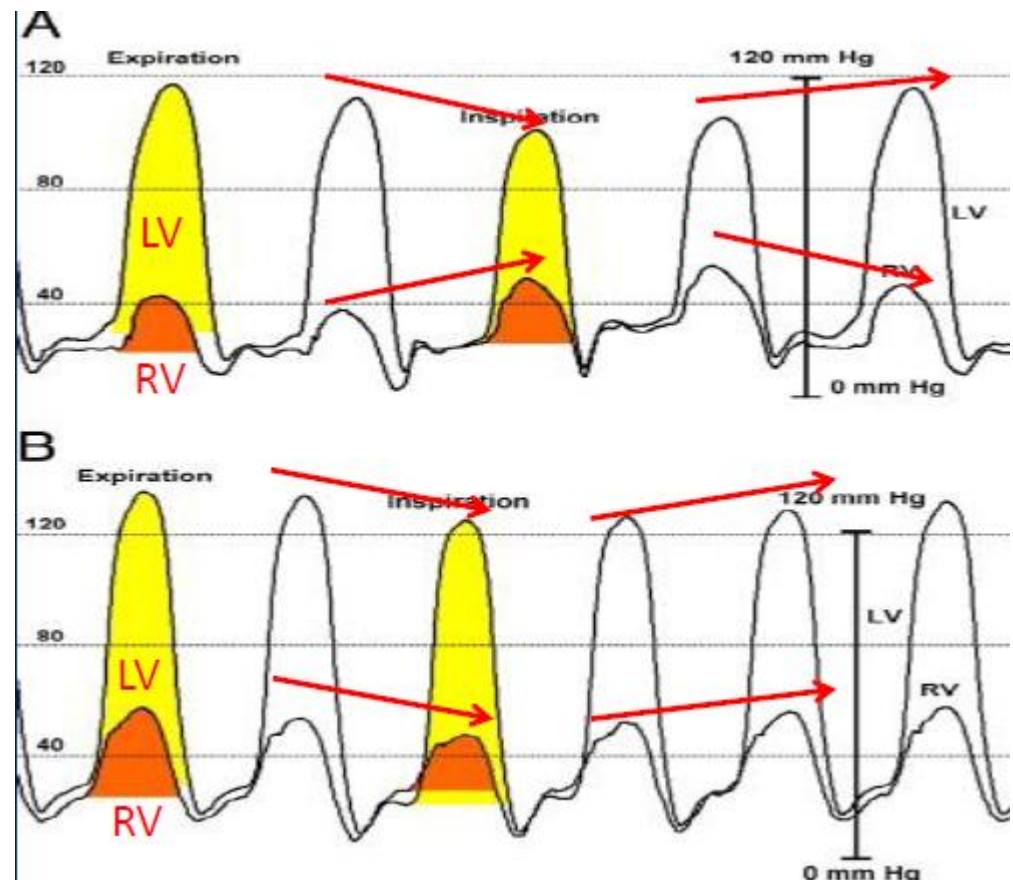
Oba stavy jsou provázeny zvýšením plicních tlaků pravé i levé komory (tedy zvýšené tlaky v PS, RVEDp, LS i LVEDp nad 15 mmHg, rozdíly do 5 mmHg) a rychlým poklesem tlaku v časně razi rychlého plnění komor (vlna „y“ – „dip a plateau“)

Diskordance: při nádechu se křivky rozcházejí

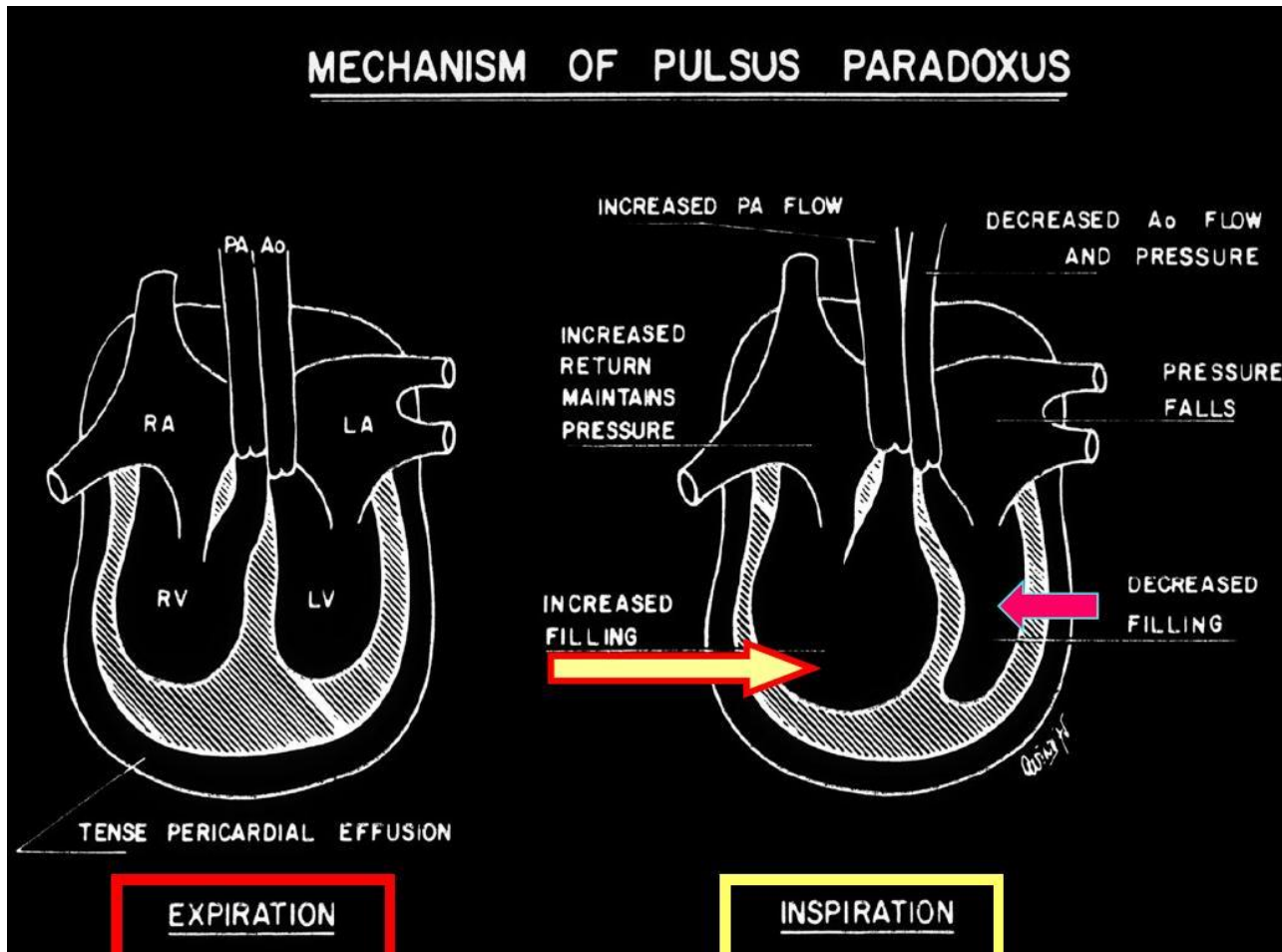
**KONSTRIKCE**

Konkordance: při nádechu reagují tlaky stejně

**RESTRIKCE**

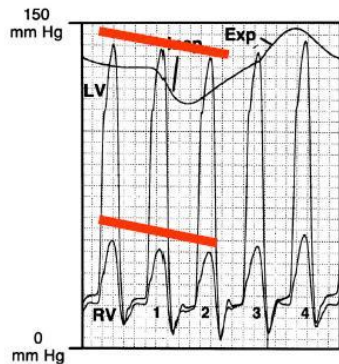
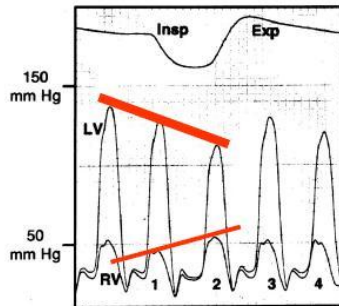


# Pulsus paradoxus: výrazný (více než fyziologický) pokles systémového TK při nádechu MECHANISMUS DISKORDANCE U KONSTRIKCE

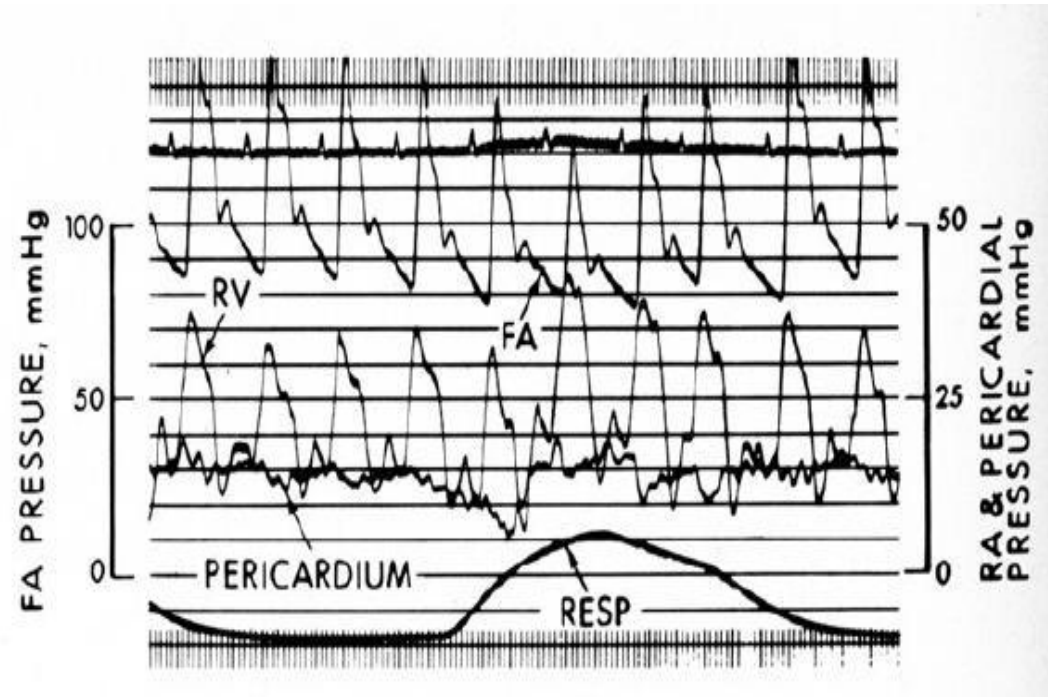


# Diagnostika konstrikce

## 3. Diskordance (konstrikce) vs konkordance (restrikce)



## 2. Pulsus paradoxus: výrazný (více než fyziologický) pokles systémového TK při nádechu



## 1. Zvýšení (nad 15 mmHg) a vyrovnaní a plicích tlaků PK a LK (rozdíly do 5 mmHg)

# Závěry

- Katetrizační laboratoř není pouze místem provádění angiografií, ale jde o „fyziologickou laboratoř“
- Anatomie (morfologie) a fyziologie jsou doplňující se informace
- Znalost hemodynamiky je nezbytná pro pochopení fyziologie a patofyziologie vrozených, chlopenních i zkratových vad a řady dalších stavů
- Přesnost měření je základem pro správnou interpretaci dat