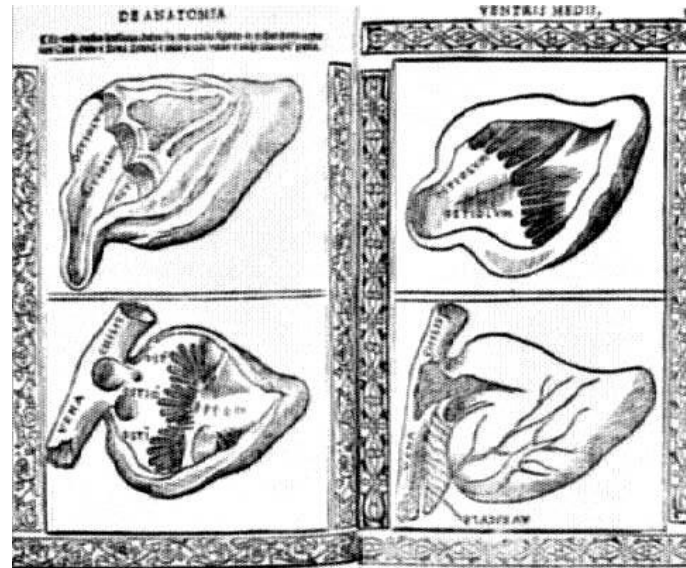


Základy hemodynamiky

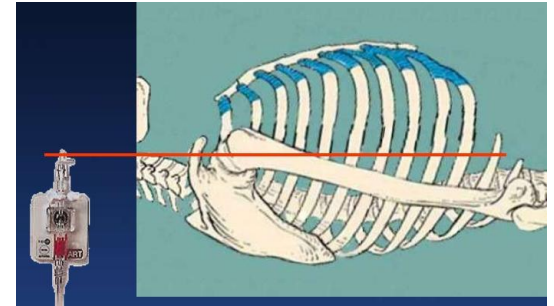


Michael Želízko
Klinika kardiologie IKEM

Invazivní měření tlaků

1. Nula=referenční hladina

1. Midchest level – střed hrudníku
2. Skiaskopicky



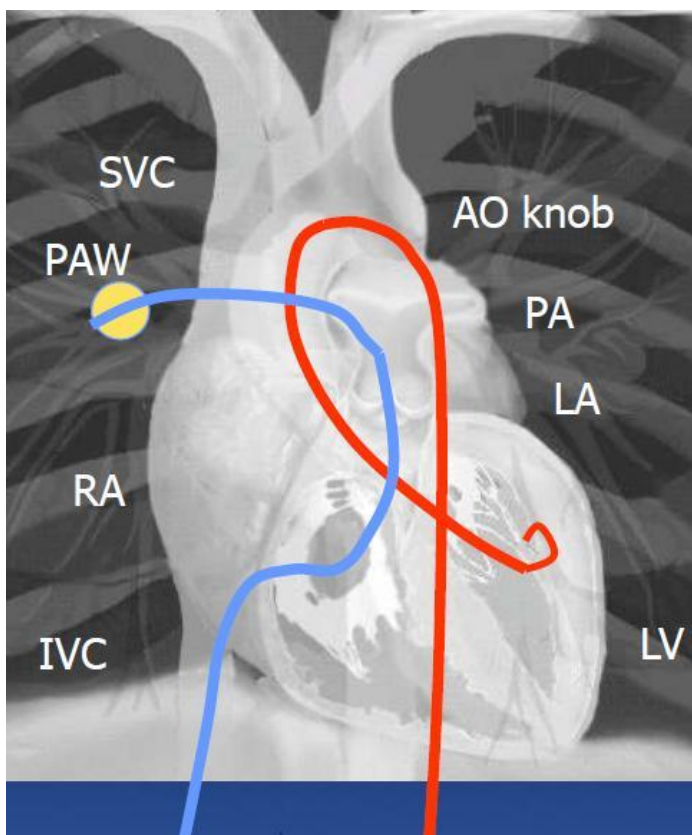
CAVE: nula není v rovině kapsle, ale v rovině otevřeného kohoutu

2. Kalibrace systému

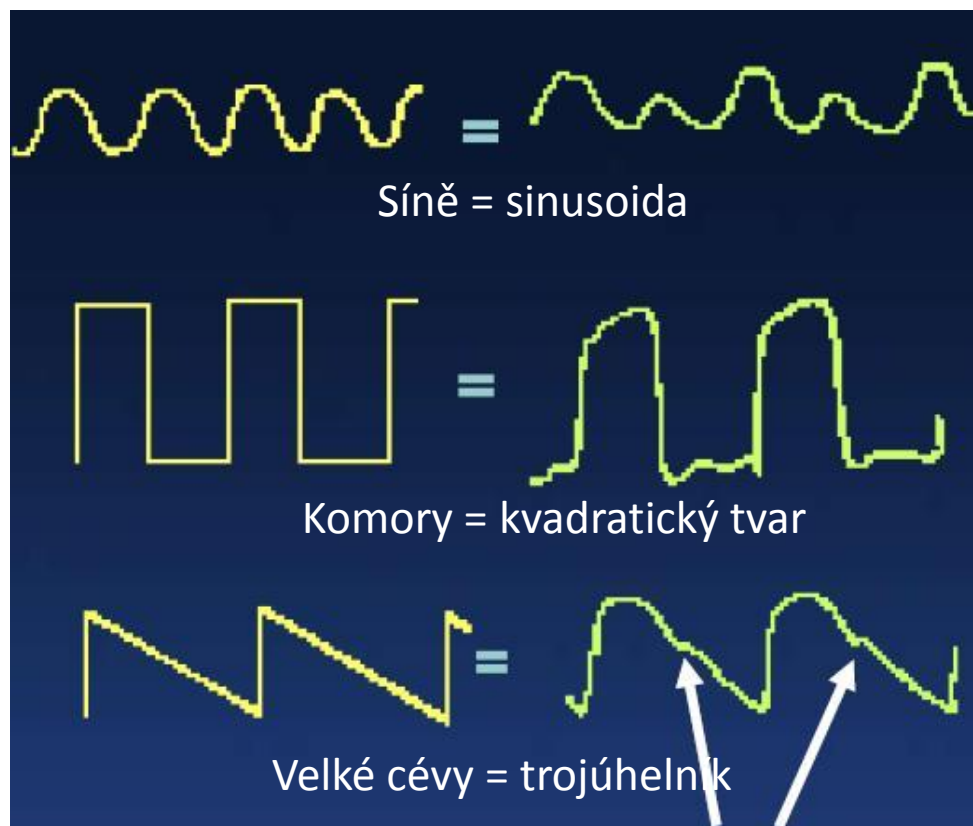
1. Elektronický range 40 mmHg – 200 mmHg
2. Vodní sloupec **1 mmHg = 13,6 mm vodního sloupce**

Snímání tlakové křivky

Typické místo (skiaskopie)

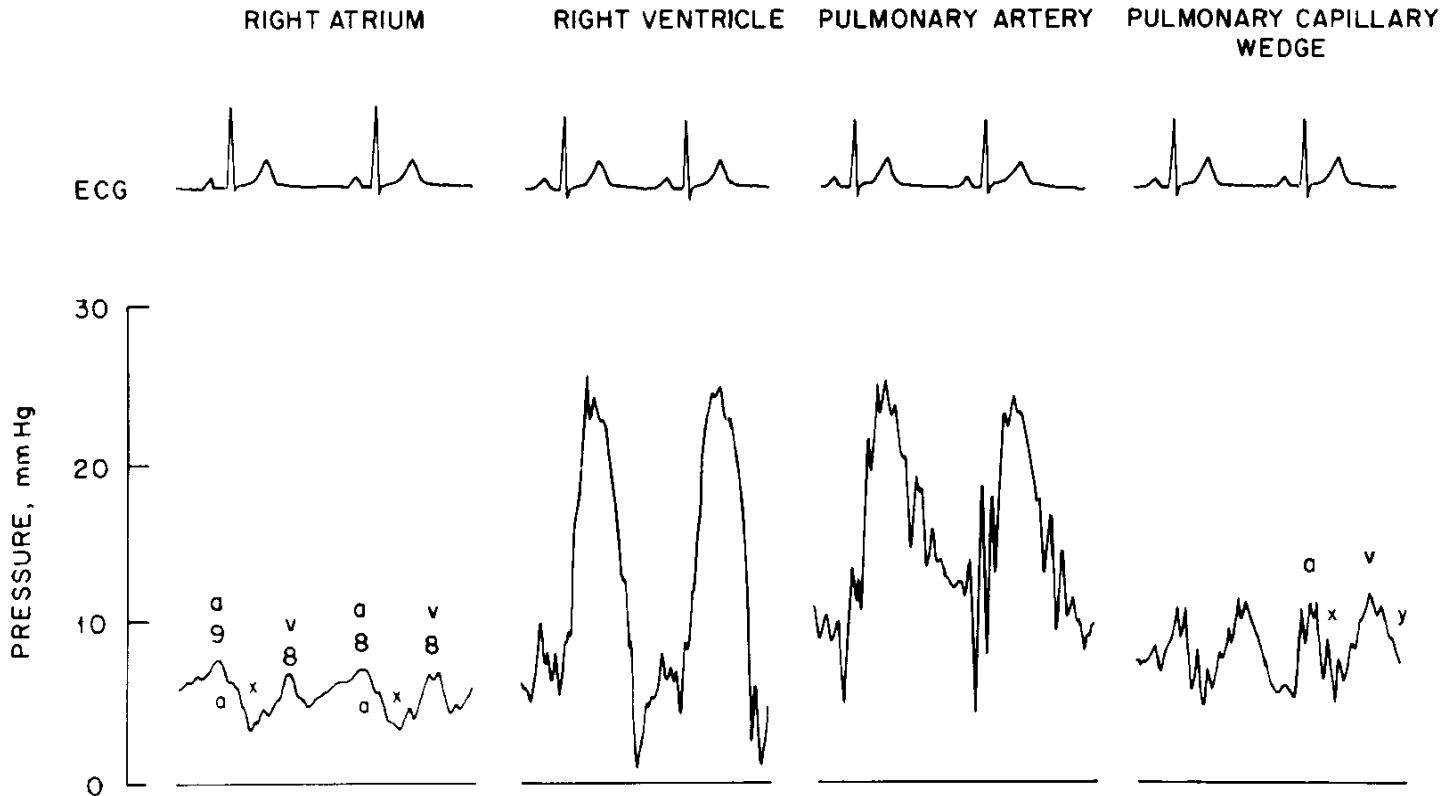


Typický tvar křivky



Dikrotický zářez = uzávěr semilunární chlopně

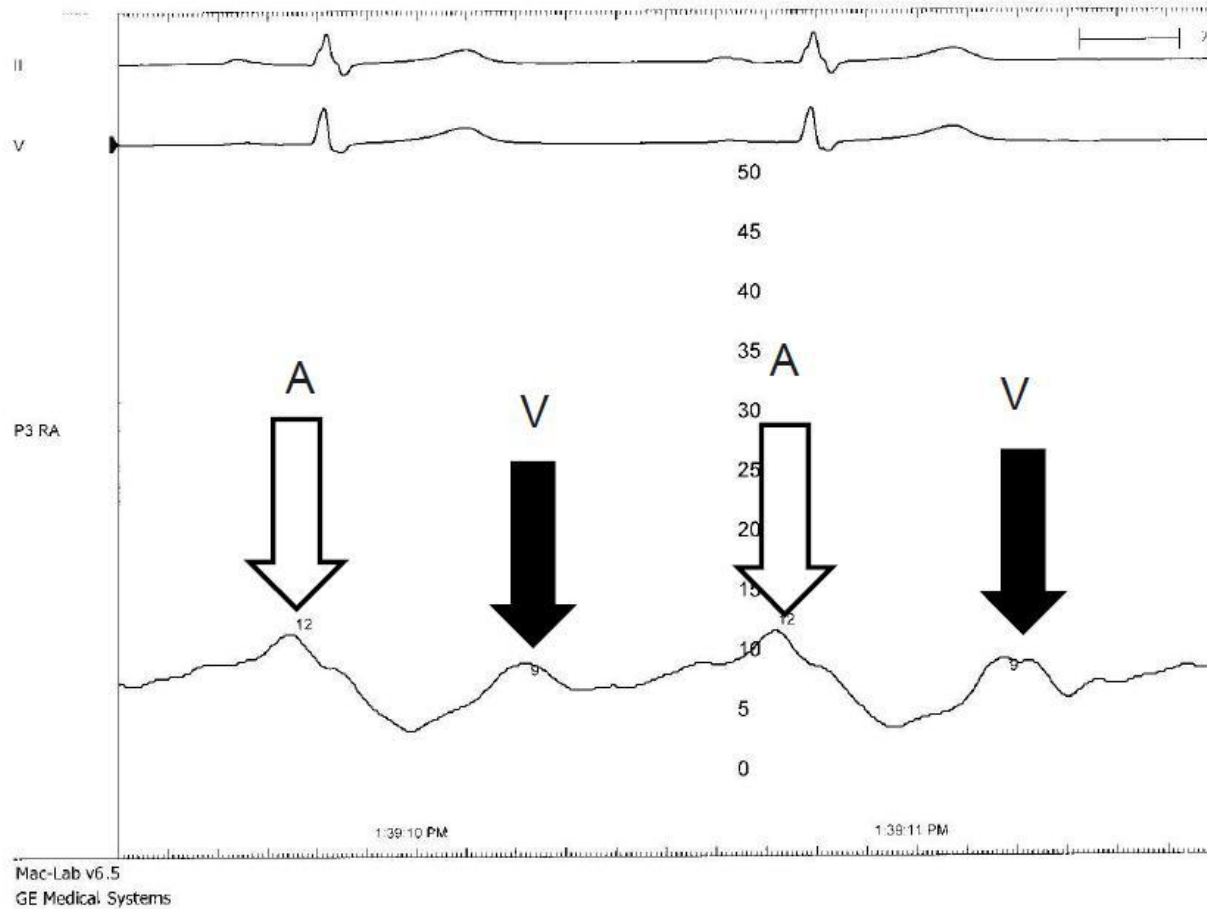
Normální tlakové křivky



Normální hemodynamika:

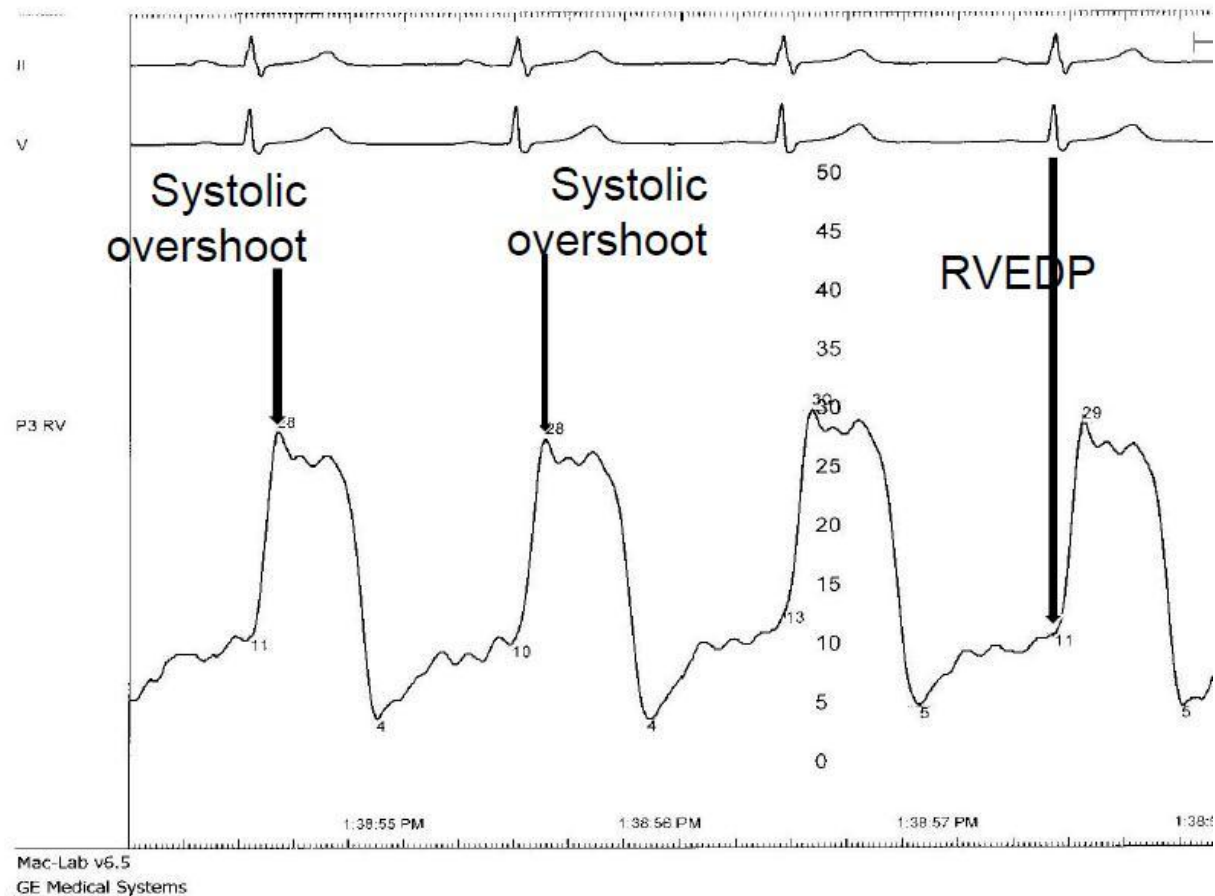
Tlak v PS odpovídá diastol. tlaku v PK, systola PK odpovídá systole PA, diastola PA odpovídá PCW, PCW odpovídá LS a diastole v LK, systola v LK odpovídá systole v aorty

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



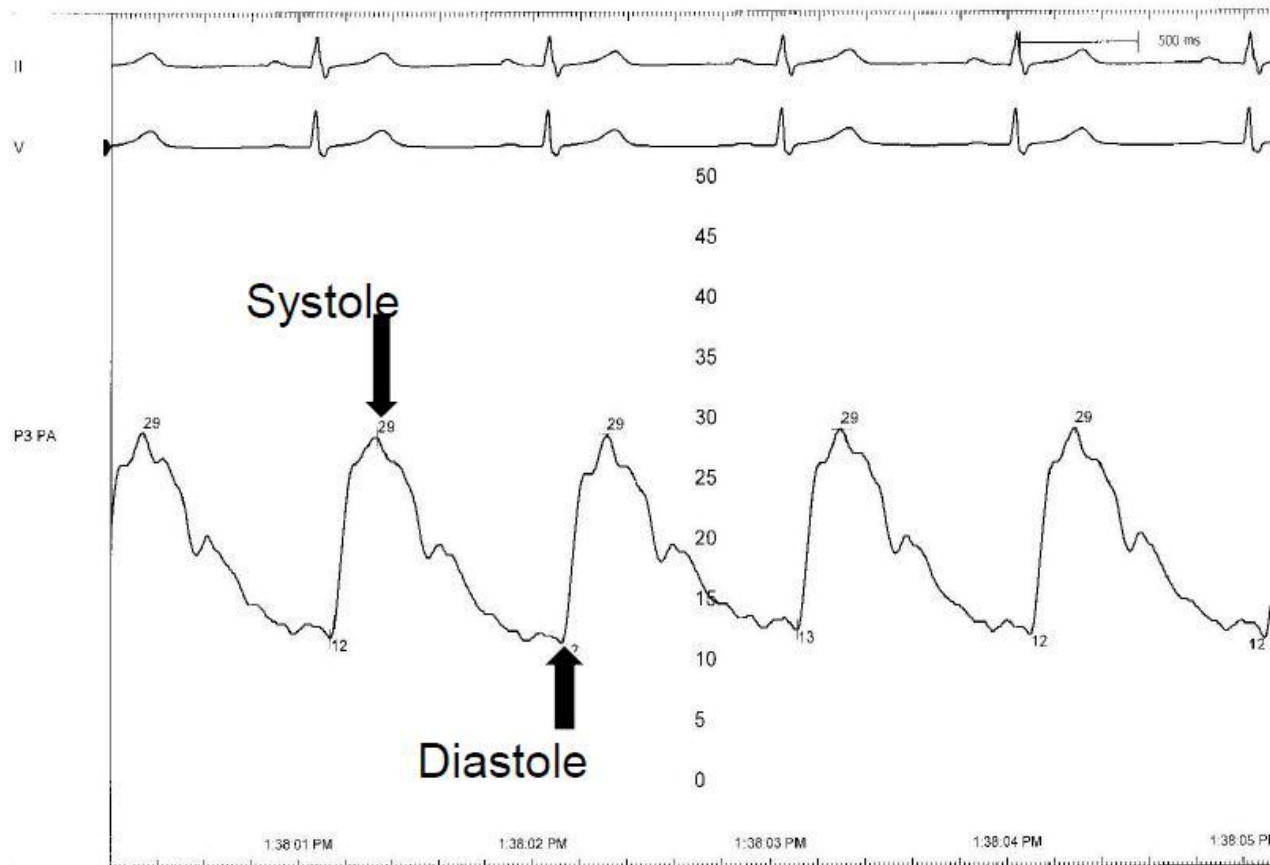
Pravá komora

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

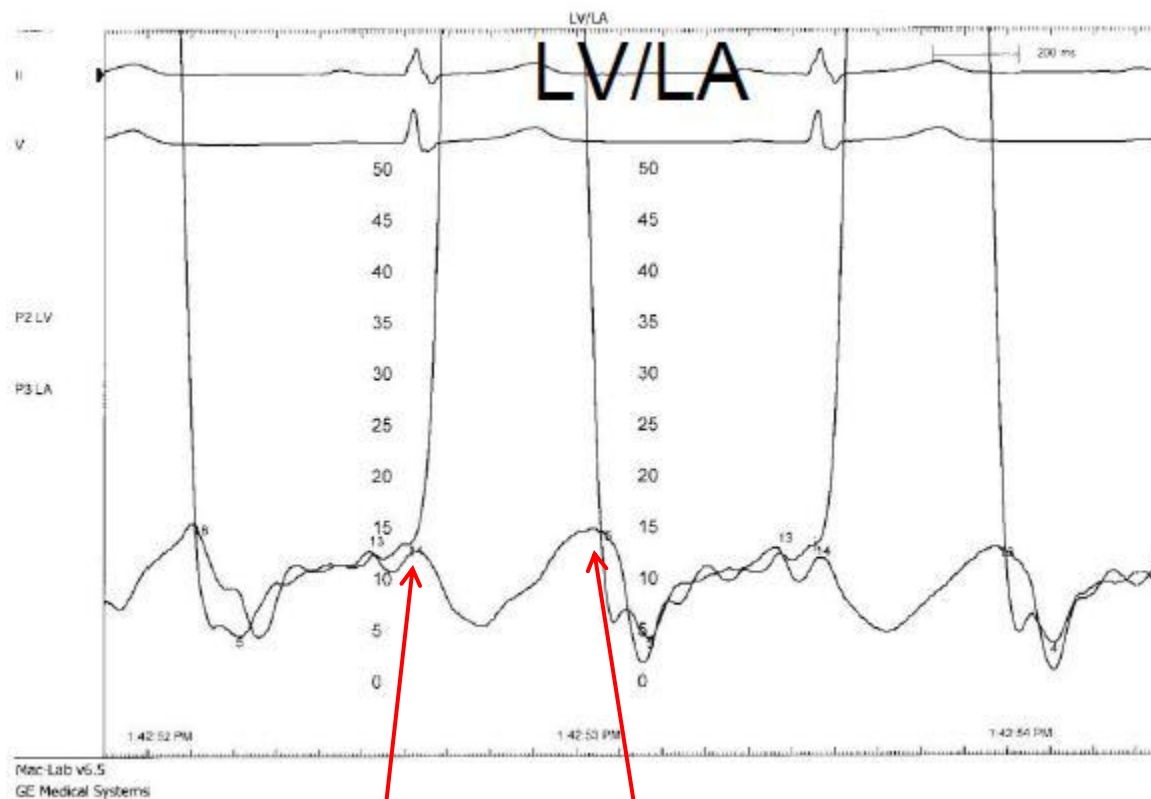


Plicnice

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



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



vlna a vlna v

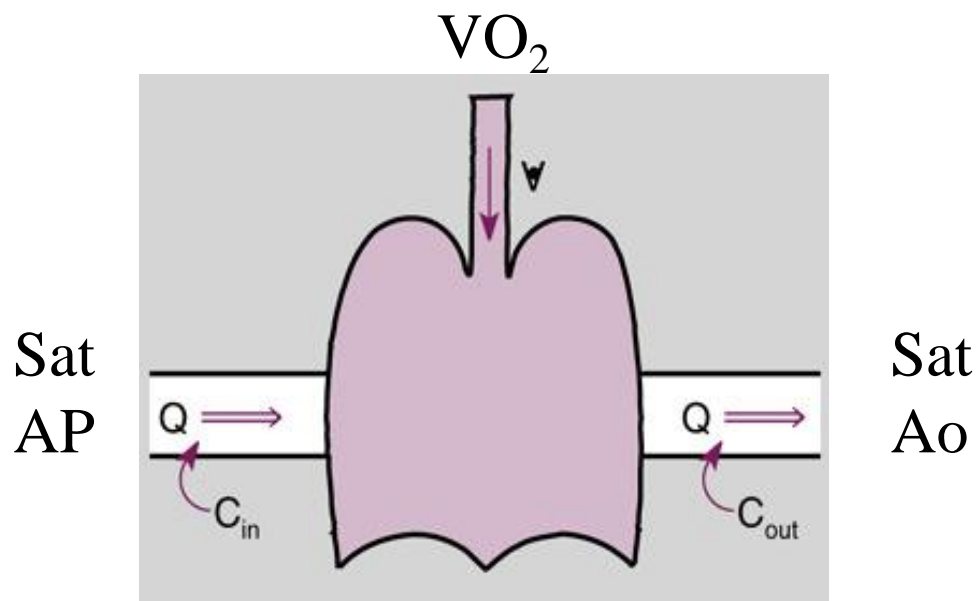
Normální hodnoty

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

Minutový výdej srdeční

- Fickův princip
- Termodiluce
- Barvivová diluce

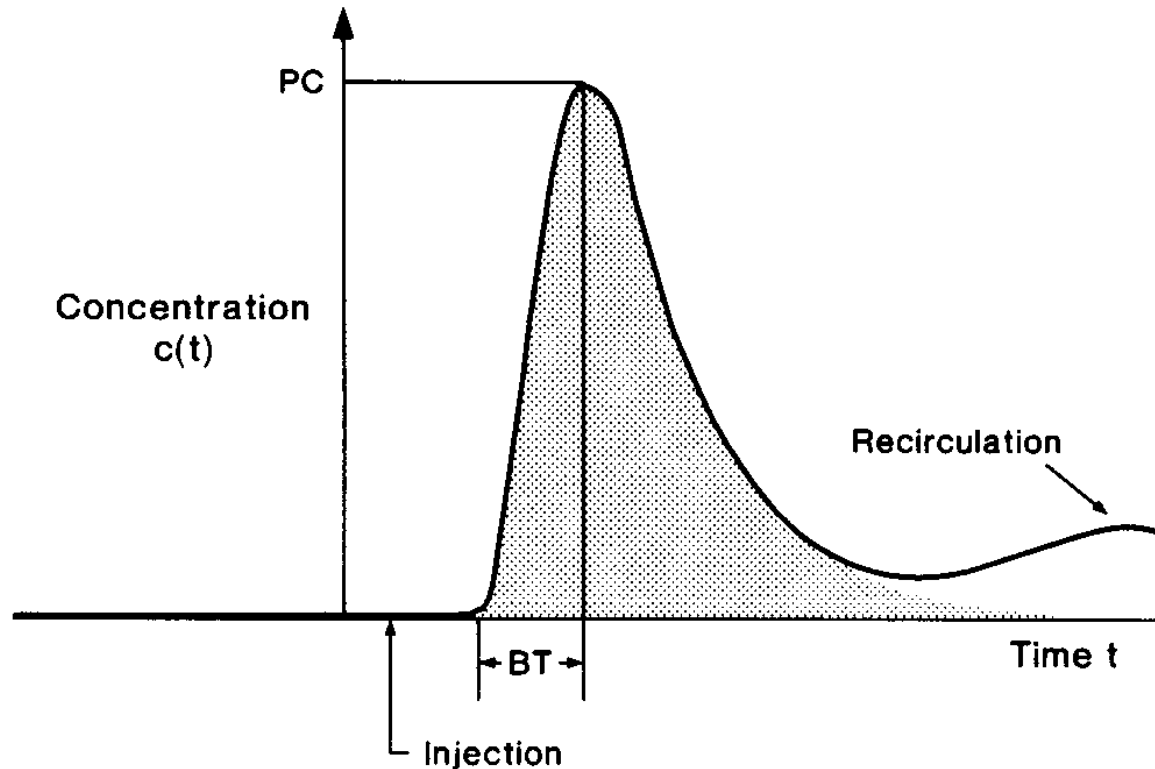
Fickův princip



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

$$a-v \text{ difference} = Sat_{AO} - Sat_{AP}$$

Minutový výdej srdeční: diluční křivka



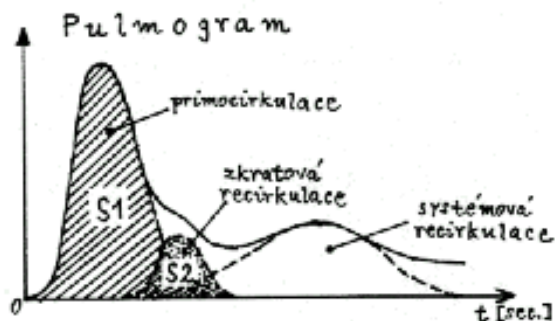
Typický tvar diluční křivky typu „first pass“.

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 = build-up 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

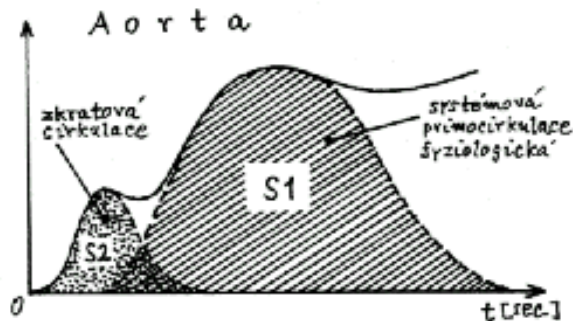
S2 - plocha pod zkratovou recirkulací

Q_p - celkový plicní průtok

Q_z - průtok levo-pravým zkratem

Q_s - 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_s - systémový průtok

Q_{zP-L} - průtok pravo-levým zkratem

Vstřik indikátoru do PS, čidlo indikátoru v aortě

Nejčastější chyby při měření minutového výdeje

- Hodnota snížena (Fickova metoda)
 - spotřeba kyslíku (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)

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

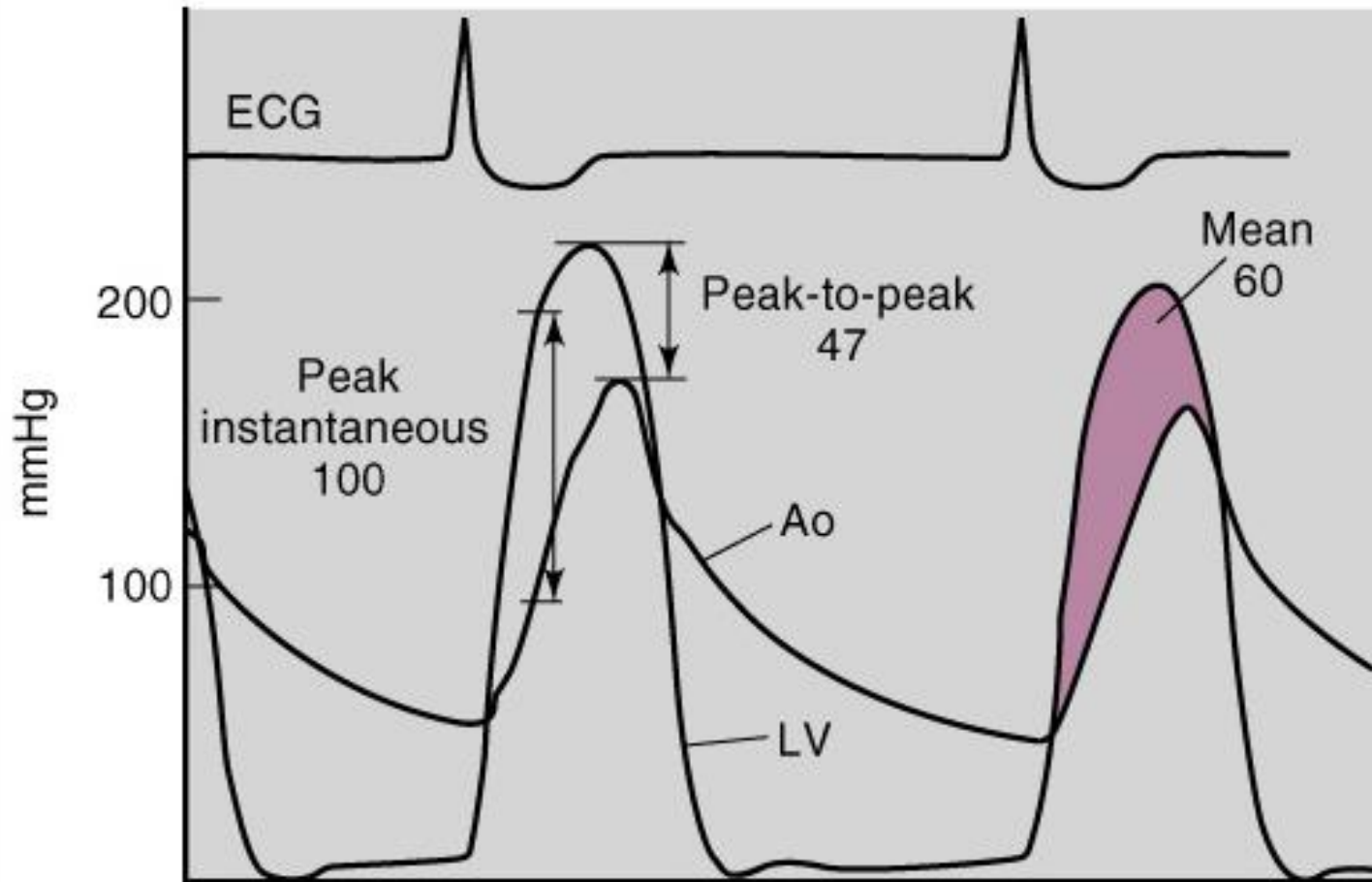
Gradients

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

Gradient Ao chlopně

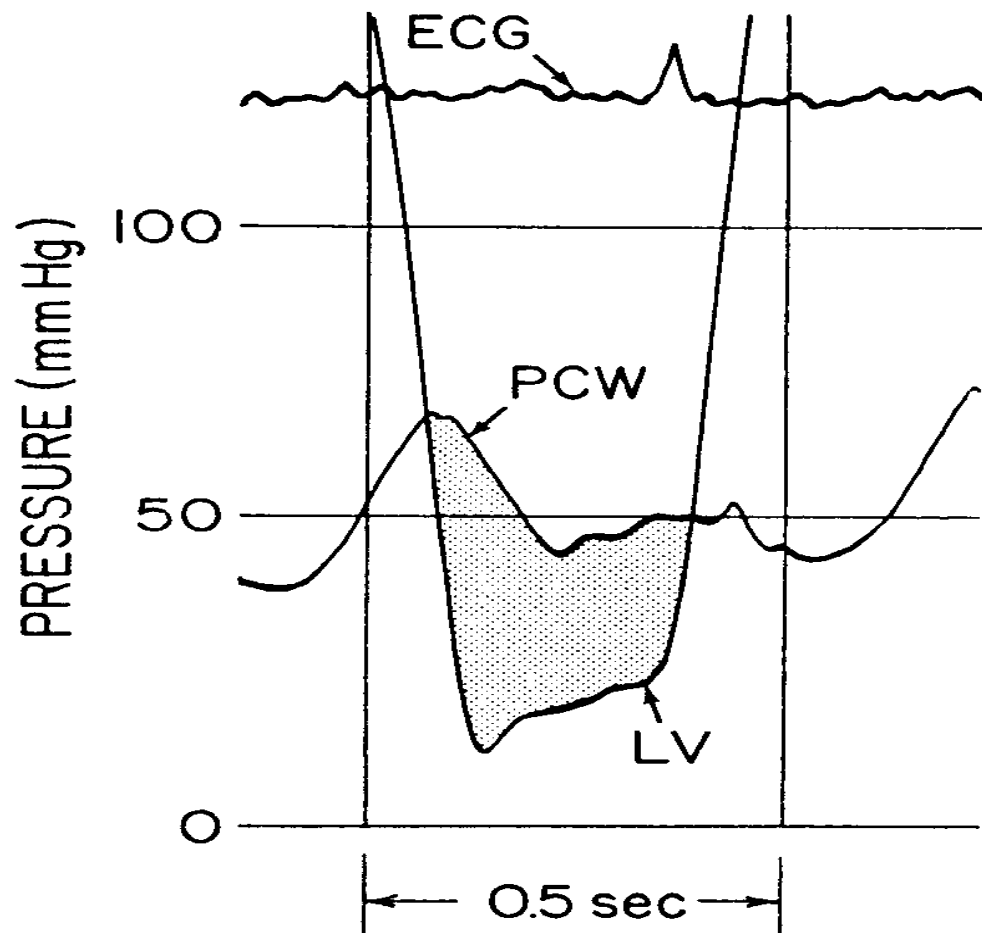
simultánní měření

(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

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

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

SEP= systolická ejekční perioda

DFP= diastolická plnicí perioda

k=44,5 pro aortální chlopeň

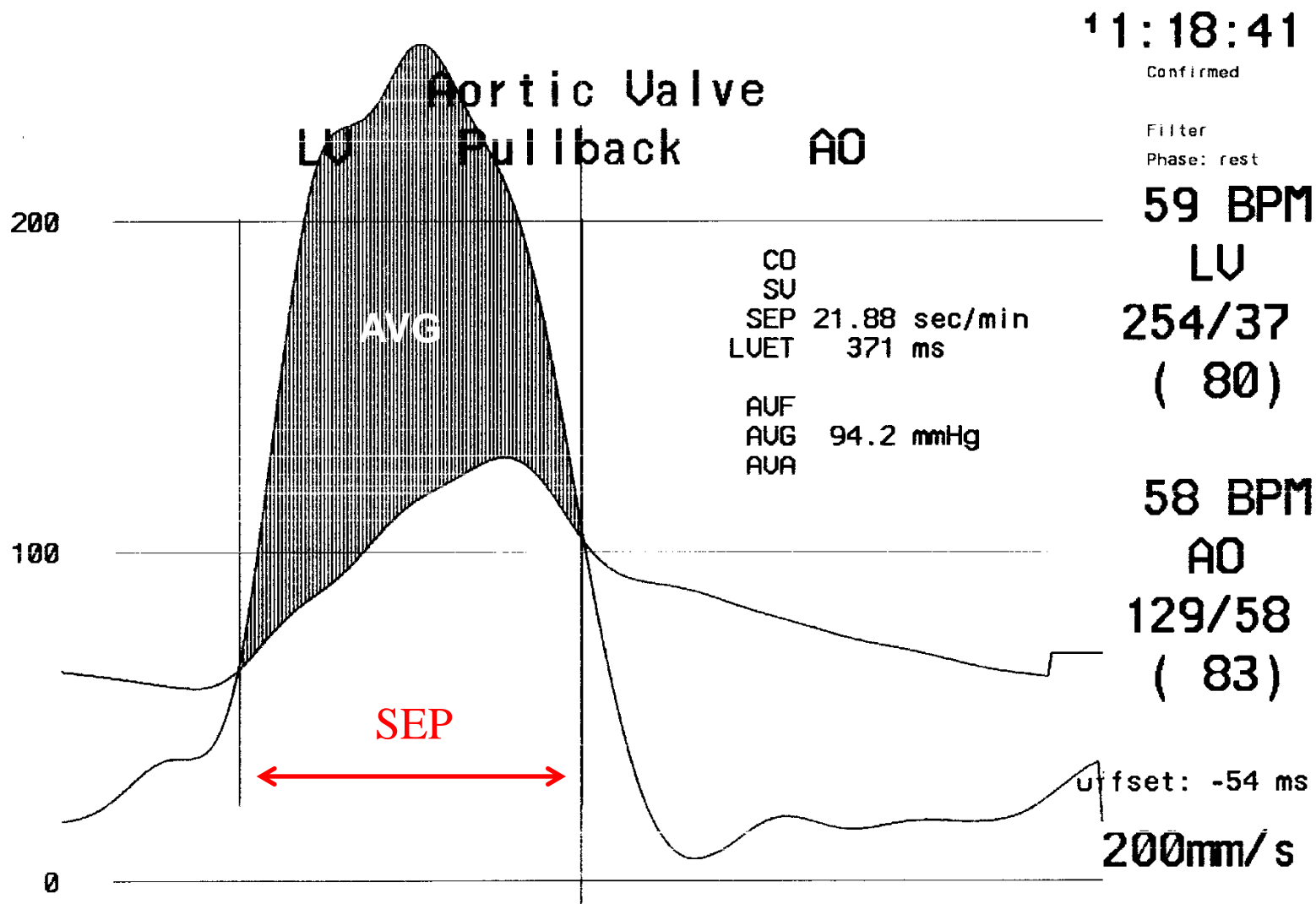
k=38 pro mitrální chlopeň

Hemodynamické profily

příklady

Aortální stenóza

AVG = 94,2 mmHg, AVA = 0,53 cm² tj 0,27 cm²/m²



Aortální stenóza

hemodynamická významnost vady

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

low gradient / low flow AS

AVG < 30 (25) mmHg + LVEF < 30-35%

↙
Významná AS
nízký gradient

↘
nevýznamná AS
nízký průtok

Dobutamin. Test

↓
↑AVG
AVA fixní

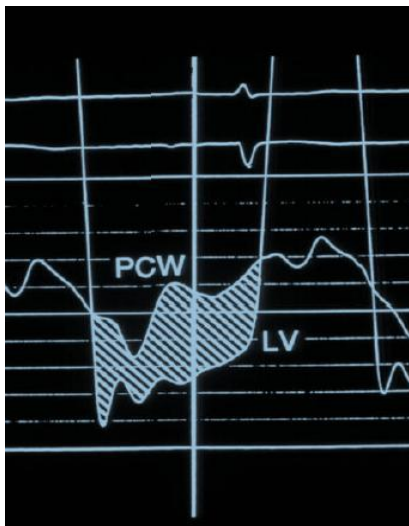
↓
AVG ±
vzestup AVA

Nedostatečný vzestup průtoku (méně jak 20%) = ukazatel špatné prognózy

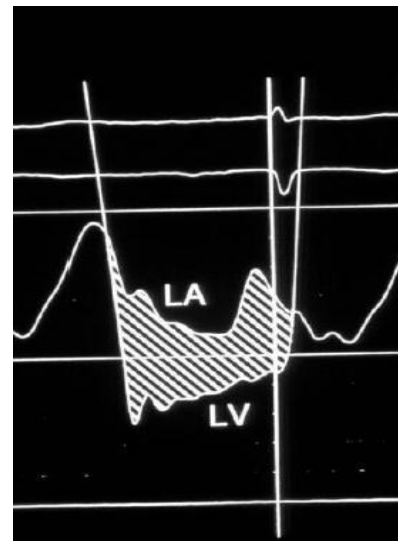
Mitrální stenóza

hemodynamická významnost vady

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



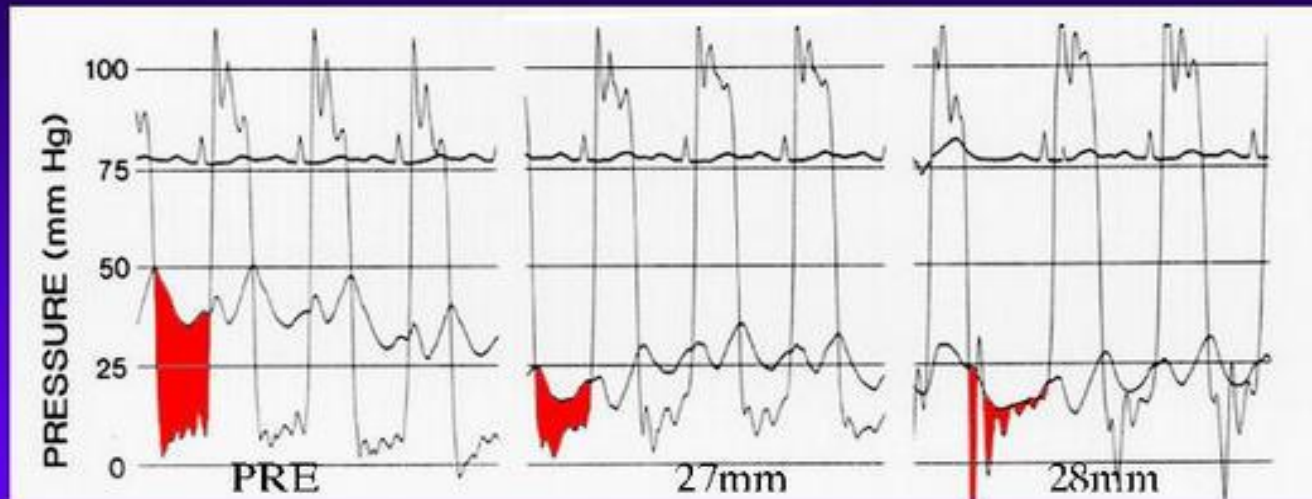
Měření gradientu
časový posun
PCW vs LV



Mitrální stenóza – PTMC

(perkutánní transluminální mitrální comisulrolýza)

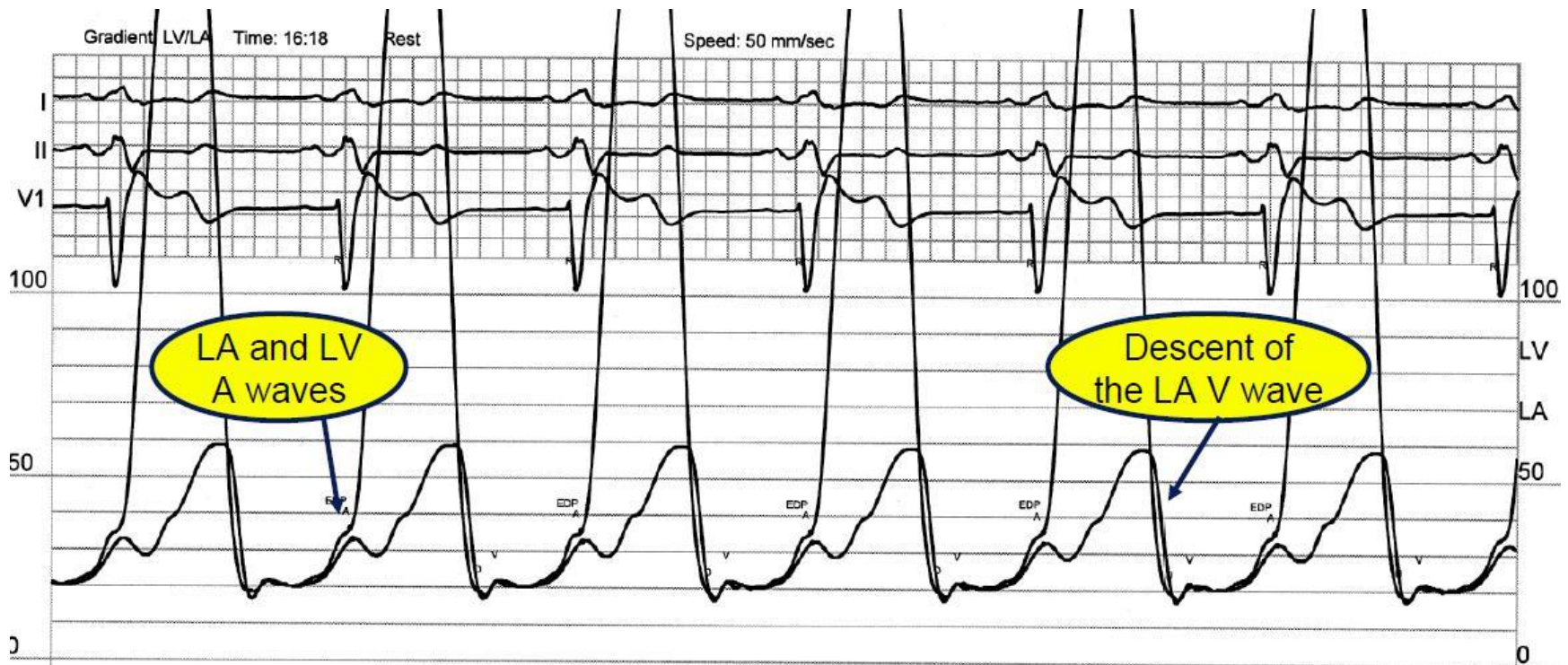
Postupná dilatace mitrálního ústí



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

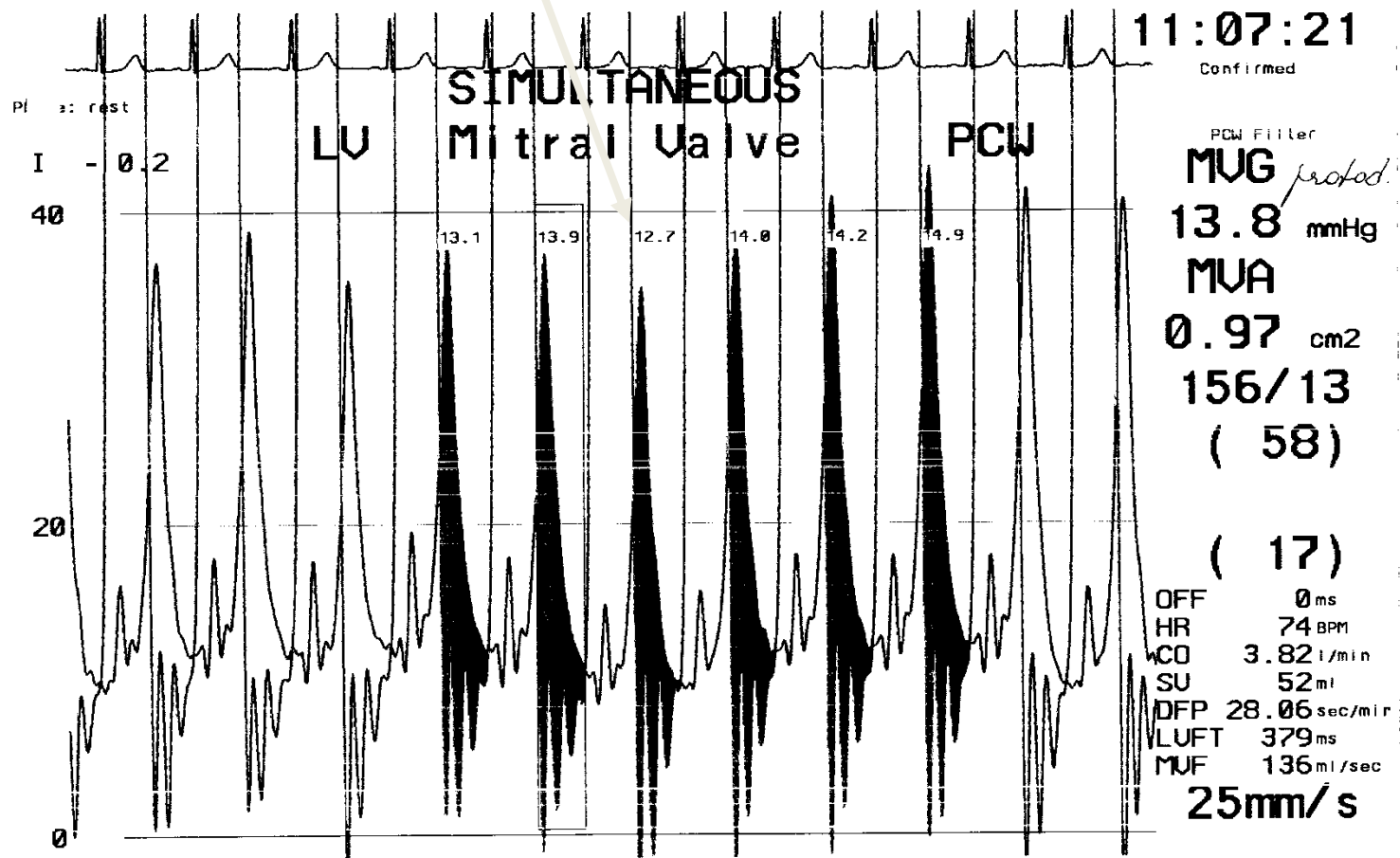
Chronická mitrální regurgitace

vysoká vlna v v LS



Akutní ischemická mitrální regurgitace

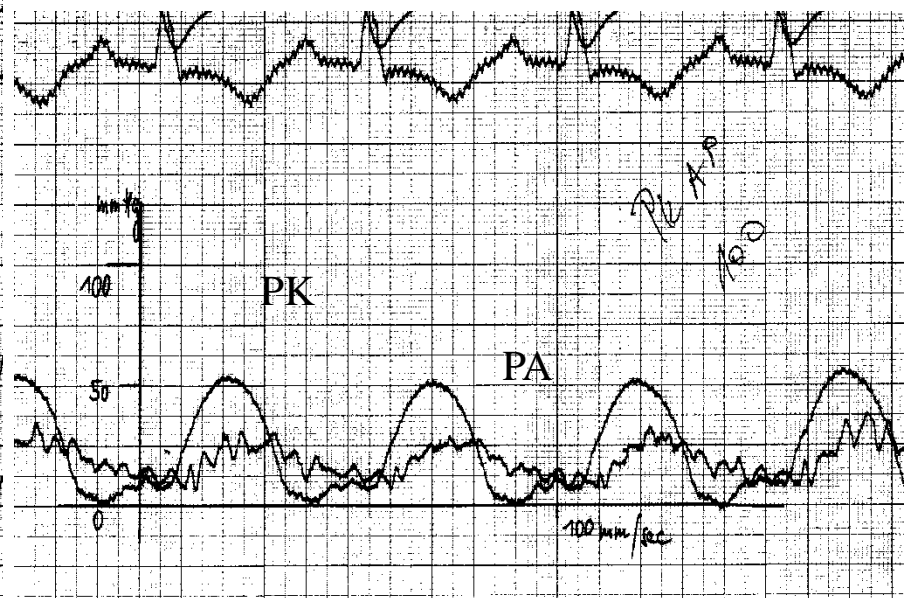
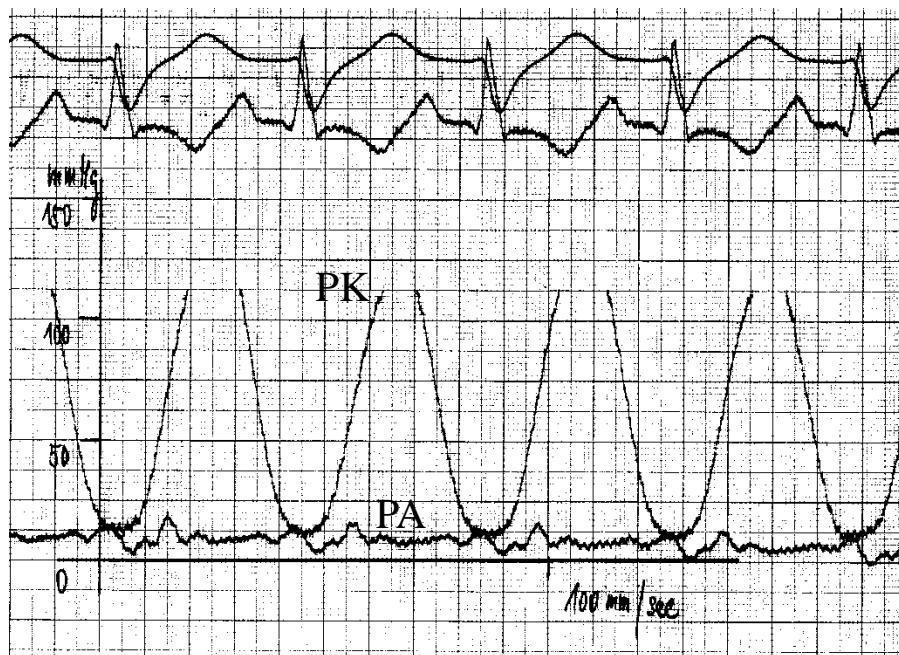
Gradient na mitrální chlopni je pouze v časně diastole (protodiastolický) a je tvořen vlnou \underline{v} v PCW



koncový (enddiastolický) gradient je nulový

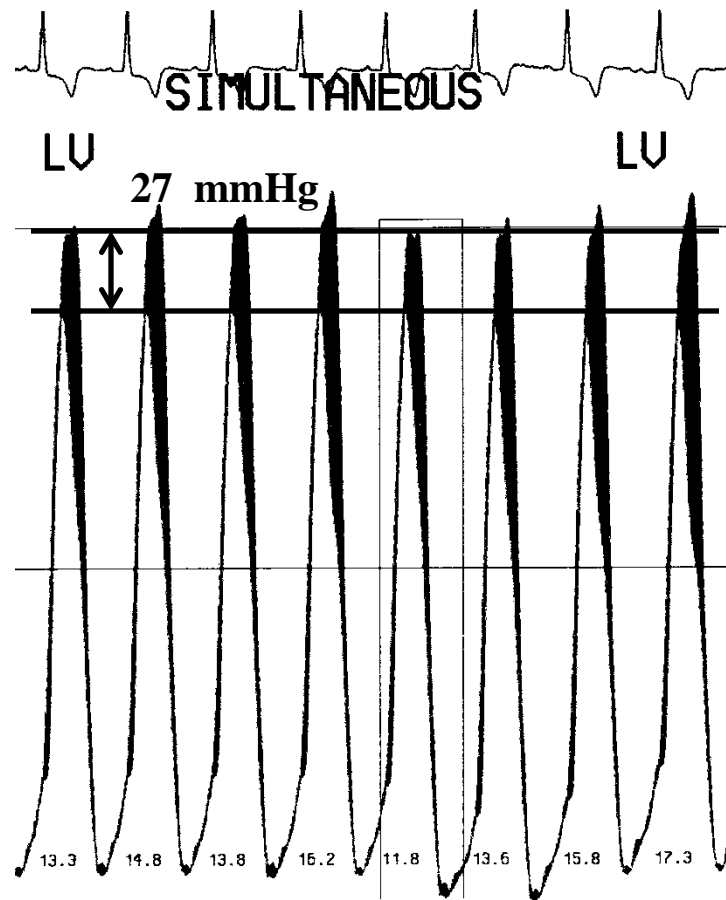
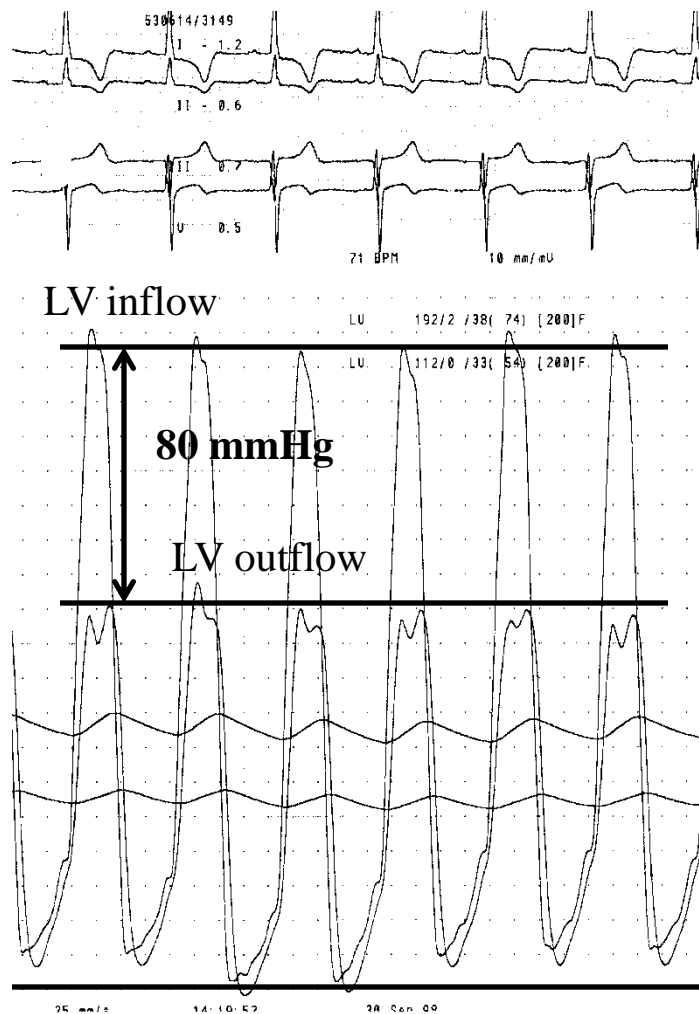
Valvulární stenóza plicnice

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

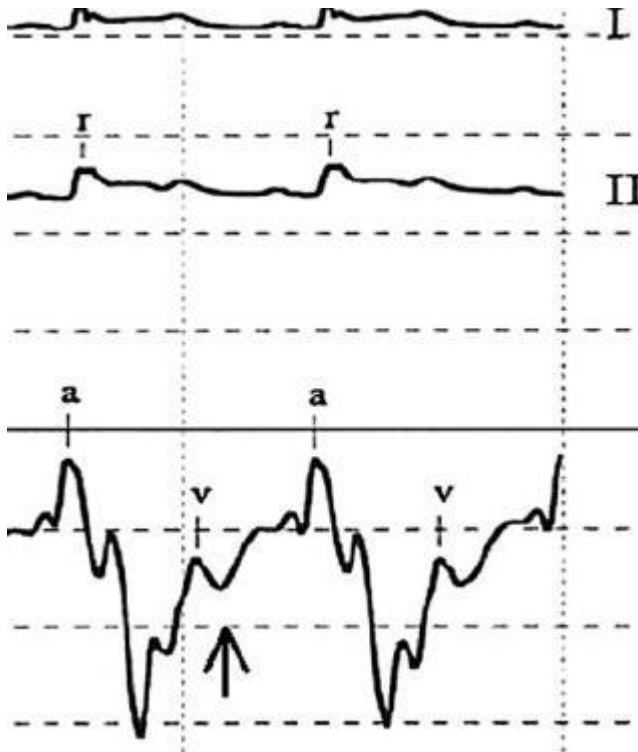
Nitrokomorový gradient u nemocného s hypertrofickou obstrukční kardiomyopatií



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

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

Konstrikce vs restrikce



Známky konstrikce:

Mizí fyziologické kolísání tlaků během inspira (negativní interpleurální tlak vede normálně k poklesu tlaku v PS a ke zvýšení náplně PS a PK)

Zvýšení (nad 15 mmHg) a vyrovnání a plnicích tlaků PK a LK (rozdíly do 5 mmHg)

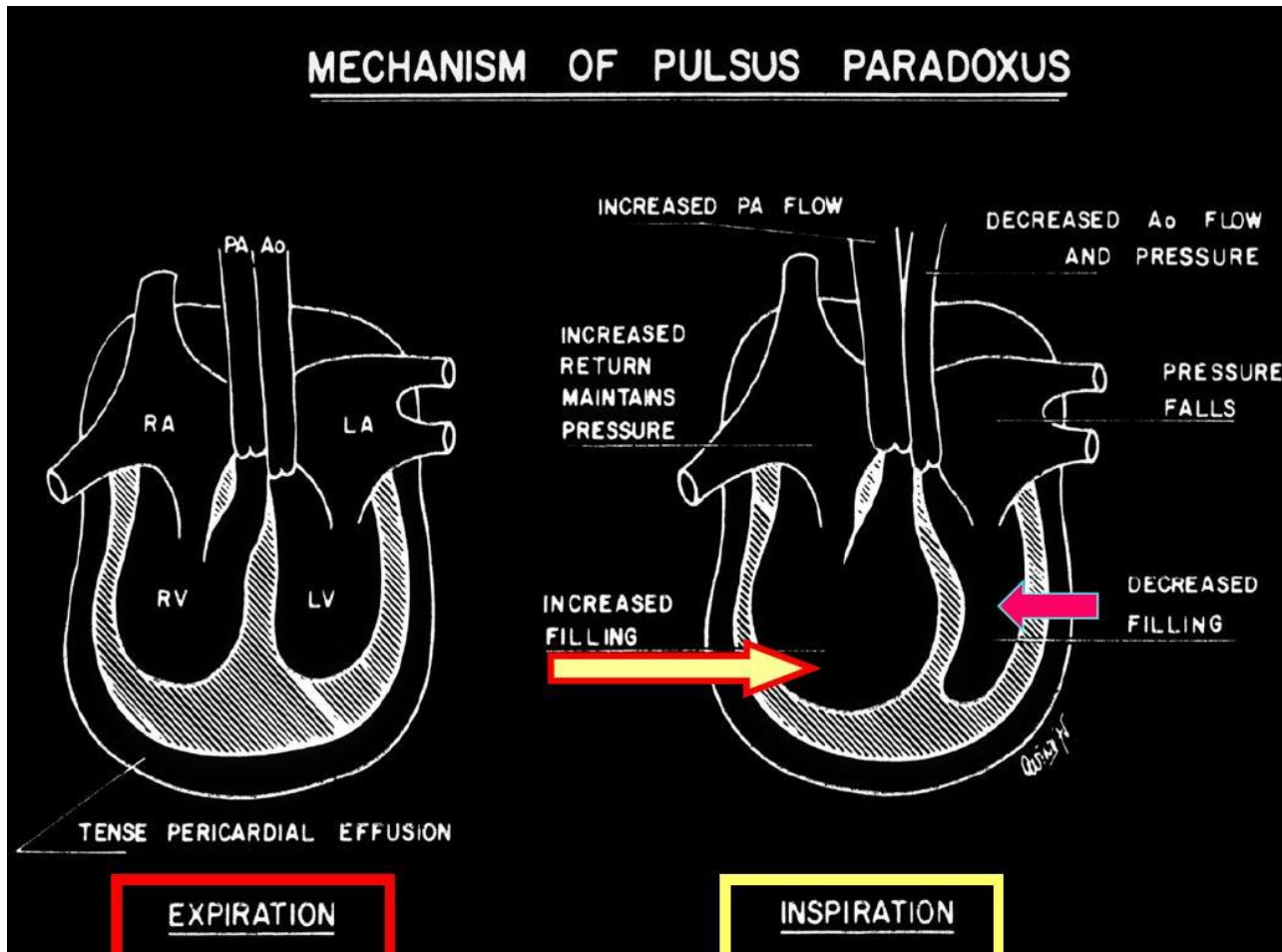
Dip-and-plateau jako projev časné diastolického plnění

Diskordance tlakových křivek při nádechu

Pulsus paradoxus

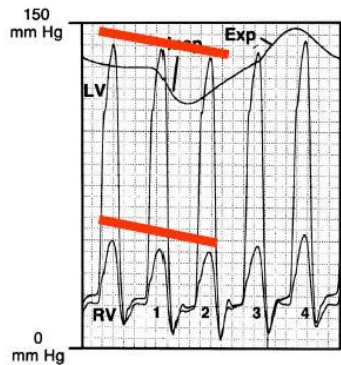
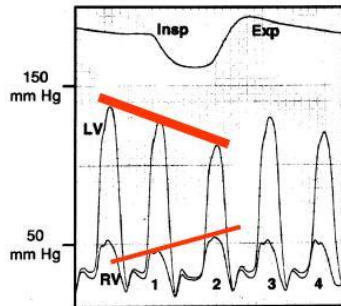
Tachykardie, nízká voltáž QRS, tiché ozvy

Pulsus paradoxus

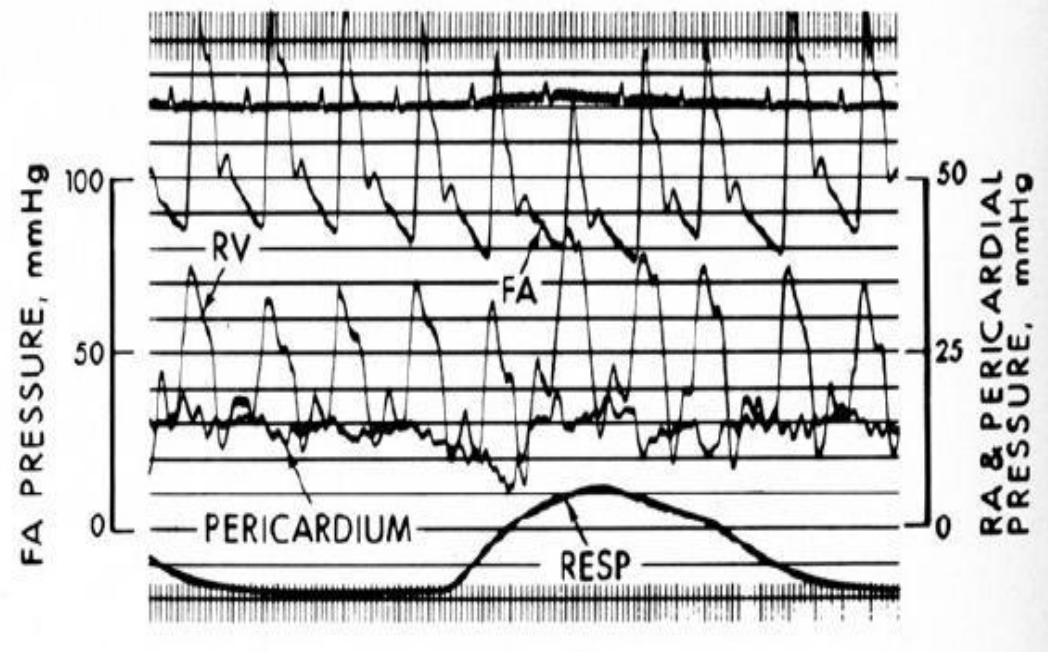


Diagnostika konstrikce

Diskordance (konstrikce) vs konkordance (restrikce)



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



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 rady dalších stavů
- Přesnost měření je základem pro správnou interpretaci dat