

Měření minutového objemu srdečního, kvantifikace zkratových vad

Doc. MUDr. Josef Štásek, Ph.D.

I. interní kardiologická klinika

FN a LFUK Hradec Králové



Základy hemodynamických měření

Základní funkce srdce a oběhové soustavy

Zajistit optimální množství krve => **O₂** pro potřebu periferních tkání.

Množství krve čerpané srdcem je dáno potřebou tkání

Fungování oběhového systému lze hodnotit pomocí měření hemodynamických parametrů

Základy hemodynamických měření

Měření průtoků

Minutový srdeční výdej (CO)

= množství krve vypuzené srdcem za minutu
=> široké rozmezí normálních hodnot (0,8 – 8 l/min)

proto

Srdeční index

= CO přepočtený na povrch těla (BSA)
(2,7 – 3,7 l/min/m²)

Základy hemodynamických měření

Minutový srdeční výdej

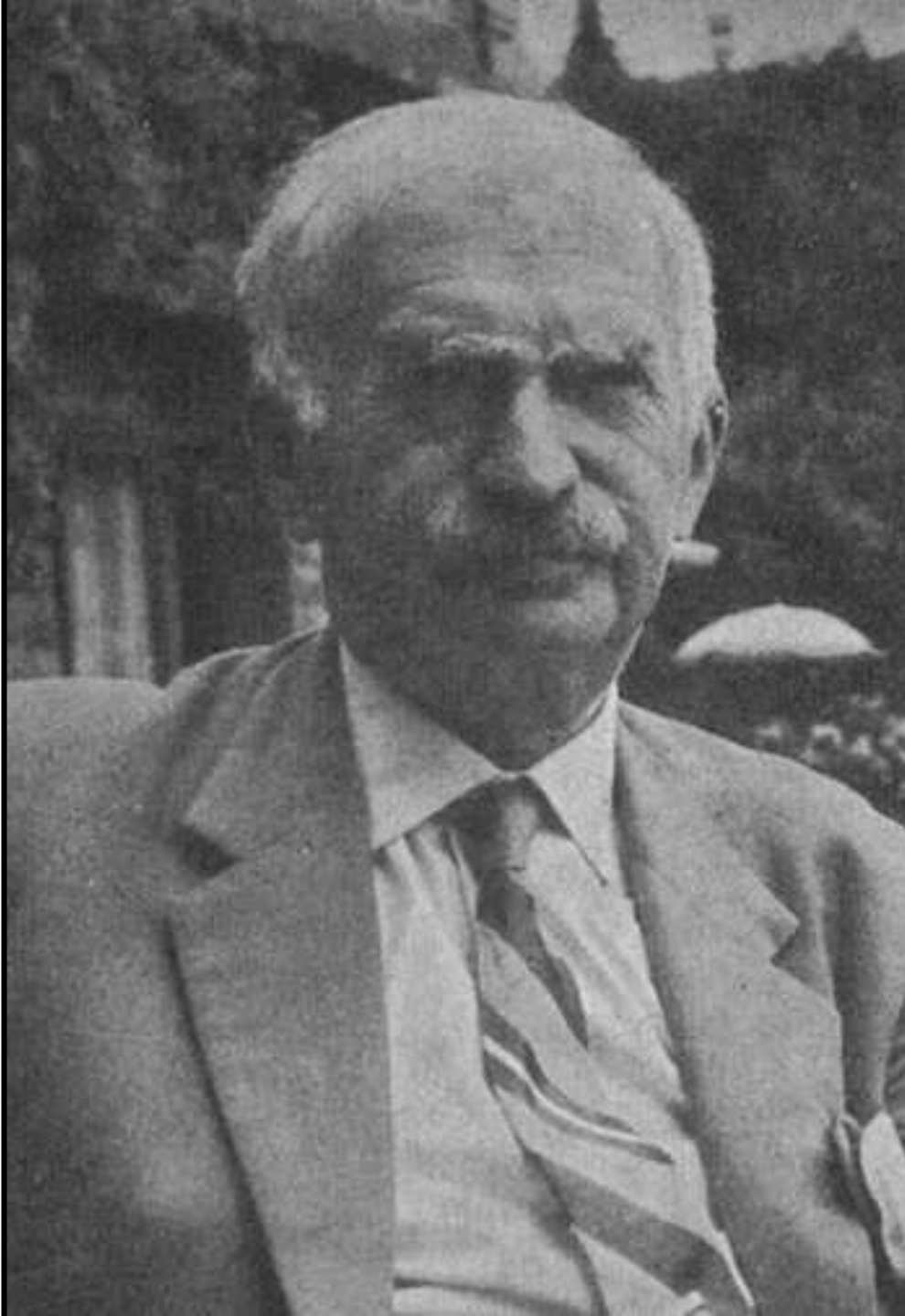
- Fickova metoda

využívá principu zachování hmoty v cirkulaci

= *příkon a výstup substace z orgánu se rovná součinu průtoku orgánem a arteriovenózního rozdílu koncentrace látky*
(*substace je O₂ a orgánem plíce =>*

CO = spotřeba O₂: A-V rozdíl O₂)

Spotřeba O₂ – dýchání do Duglasových vaků, metabolimetr
nutný vyrovnaný stav cirkulace



- Otto Klein

Münchener Medizinische Wochenschrift

Nr. 31. 1. August 1930

Schriftleitung: Dr. Hans Spatz, Arnulfstraße 26, unter ständiger Mitarbeit der Herren
Kerscheneister, Krecke und Lange / Verlag: J. F. Lehmann, Paul Heyse-Straße 26

77. Jahrgang

Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung der in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Originalbeiträge vor.

Originalien.

Aus der II. Deutschen medizinischen Universitätsklinik in
Prag. (Vorstand: Prof. Dr. W. Nonnenbruch.)

Zur Bestimmung des zirkulatorischen Minutenvolumens beim Menschen nach dem Fickschen Prinzip.

(Gewinnung des gemischten venösen Blutes mittels Herz-
sondierung.)

Von Priv.-Doz. Dr. O. Klein.

Zur Bestimmung des Minutenvolumens des Herzens nach dem Fickschen Prinzip beim Menschen, war es bisher notwendig, den Gasgehalt des gemischten, venösen, in die Lunge entfließenden Blutes auf indirektem Wege zu ermitteln. Die Methode von Fick beruht bekanntlich darauf, das Volumen der in einer Minute vom Herzen geförderten Blutmenge aus der Größe des Lungengaswechsels und der Differenz im Gasgehalt zwischen arteriellem und venösem Blute zu berechnen.

Das Nähere geht man dabei so vor, daß die Differenz des Sauerstoffgehaltes des arteriellen und des gemischten venösen Blutes oder die Differenz des Kohlendioxidgehaltes zwischen venösem und arteriellem Blut bestimmt wird, die Sauerstoffaufnahme bzw. die Kohlendioxidabgabe in den Lungen pro Minute festgestellt und diese Größen miteinander in Beziehung gesetzt werden: ¹⁾

$$\text{Min.-Vol.} = \frac{Q \cdot O_2 \times 100}{O_2(a)\% - O_2(v)\%} \quad \text{oder} \quad \text{Min.-Vol.} = \frac{Q \cdot CO_2 \times 100}{CO_2(v)\% - CO_2(a)\%}$$

¹⁾ Q = Sauerstoffverbrauch pro Minute, $O_2(a)$ = Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes, $O_2(v)$ = Sauerstoffgehalt des gemischten venösen Blutes, $Q \cdot CO_2$ = Kohlendioxidabgabe pro Minute, $CO_2(v)$ = CO_2 -Gehalt des venösen Blutes, $CO_2(a)$ = CO_2 -Gehalt

des Blutes der Alveolar-Gasanalyse bei solchen Kranken überhaupt nicht verwertbar sind.

Es erschien daher vom methodischen Standpunkt aus erforderlich, den Gasgehalt des gemischten venösen Blutes womöglich auf direktem Wege zu ermitteln. Der Gewinnung von gemischtem venösen Blut durch Punktion des Herzens stehen begrifflicherweise äußere, aber auch methodische Gründe entgegen. Was die letzteren betrifft, so erscheint die Herzpunktion doch als ein eingreifendes Verfahren und als solches geeignet, durch den starken lokalen Reiz, die intensive Schmerzempfindung und andere Faktoren, wie sie durch den Einstich in die Thoraxwand und in das Perikard notwendigerweise mitbedingt sind, zum Teil aber auch durch Einwirkung auf die Psyche, Atmung und Kreislauf in weitgehenderem Grade zu beeinflussen.

Demgegenüber erschien uns die Gewinnung von Blut aus dem rechten Herzen nach dem von Forssmann ²⁾ inaugurierten Verfahren der Vorfelddiagnostik für unbedenklich, nachdem wir uns in Vorversuchen von der bei Einhaltung bestimmter Vorsichtsmaßnahmen bestehenden relativen Gefahrlosigkeit der Sondierung überzeugt haben. Als Sonde benutzten wir einen röntgendichten Heteroskatheter von der Lumenweite Nr. 6. Dünnere Katheter zu verwenden — Forssmann sondierte mit dem Katheter Nr. 4 — ist nicht zu empfehlen, da man zur Gewinnung von Blut bei Kathetern mit engem Lumen eine große Saugkraft anwenden muß und es dabei leicht vorkommt, daß man bei der Blutentnahme Luft in die Spritze mit ansaugt, wodurch die gewonnene Blutprobe für die Gasanalyse unbrauchbar wird. Die Sonde wird mit feinstem sterilisiertem Öl eingedrückt, durch die Venesektionsöffnung in die Hautvene eingeführt ³⁾. Es ist zu empfehlen, zur Sondierung eine Hautvene zu wählen, deren Verlauf medianwärts geht, da in lateralwärts verlaufenden Venen

- Front page of the *Münchener Medizinische Wochenschrift*

Základy hemodynamických měření

Minutový srdeční výdej

- Indikátorové diluční metody

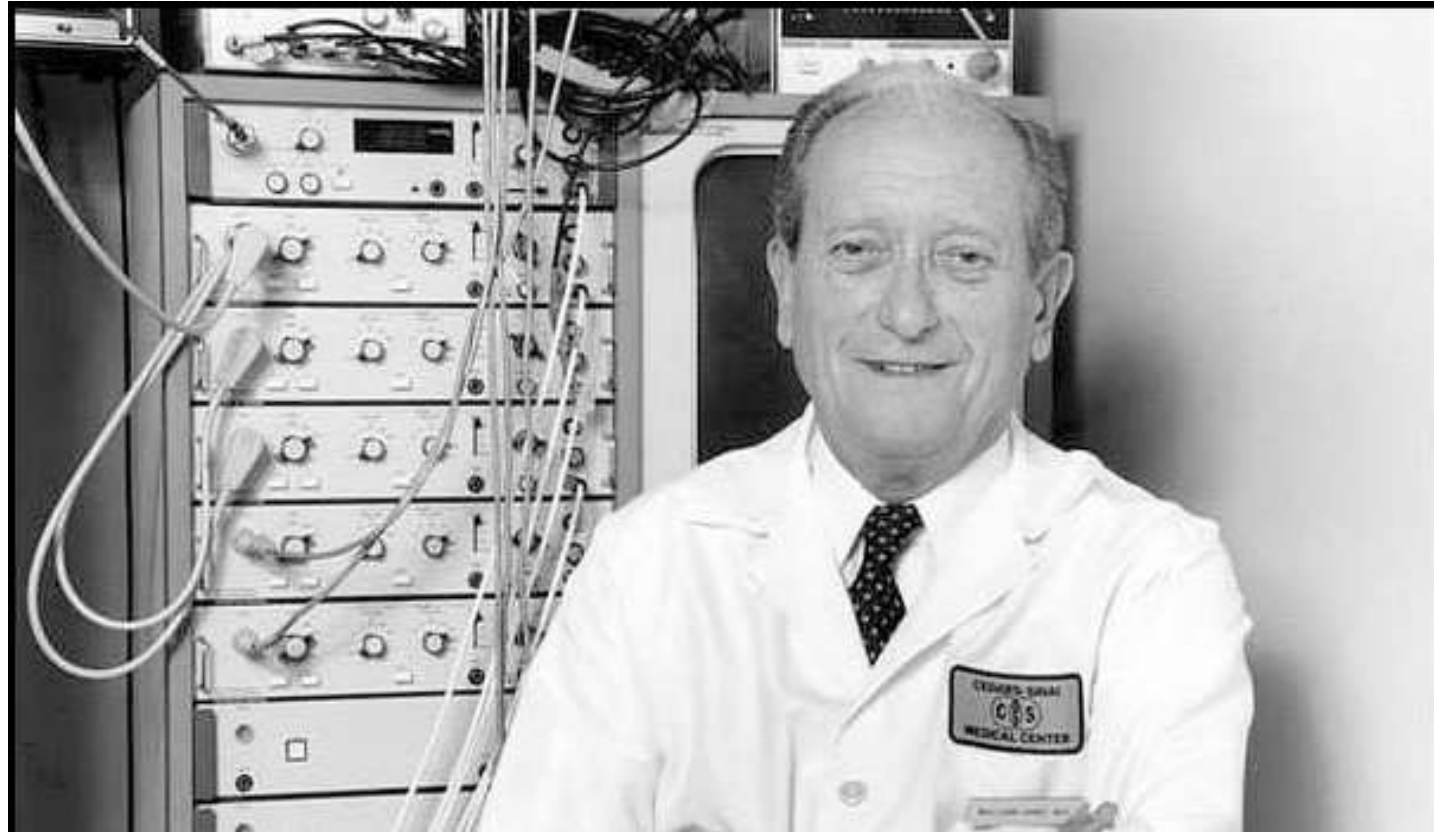
po promíchání vhodné stabilní látky je koncentrace této látky nepřímo úměrná velikosti průtoku

- **barvivové diluční křivky** (*indocyanová zeleň –Cardiogreen*)

- **termodiluční metody** (*chladný FR, 5%G*)

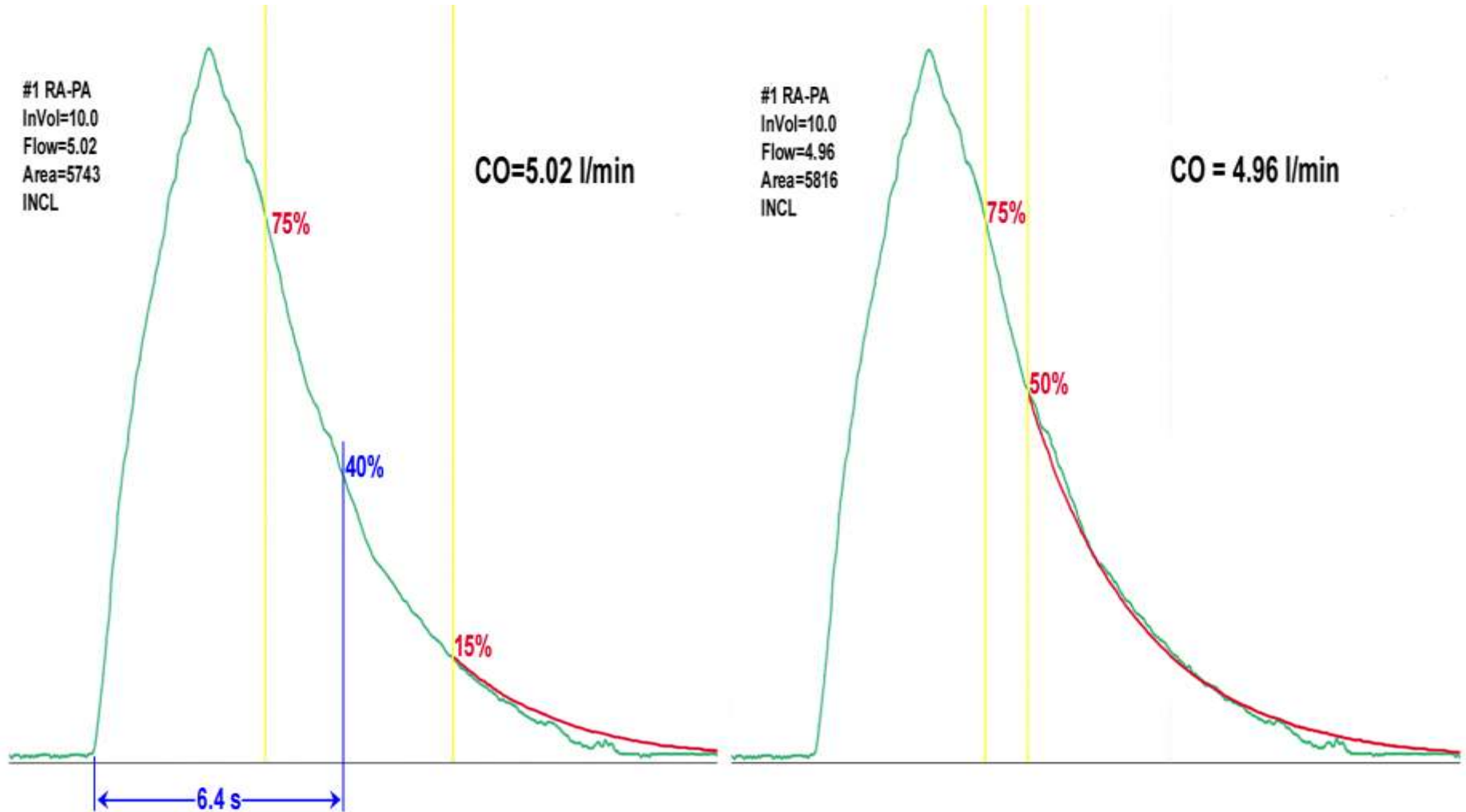
*Swan-Ganzův katétr (Wilam Ganz nar. 1919 Košice, do 1966 IKEM)
Inntherm systém (Jiří Endrys)*

plocha křivky primární pasáže barviva (změny teploty) před recirkulací je nepřímo úměrná minutovému oběmu



- William Ganz

Základy hemodynamických měření



Vyšetření

ID pacienta

1

Příjmení

Jméno

Workshop

Praha

Číslo katetrizace

Datum narození

B 17/362

dd.mm.yyyy

Pohlaví

Výška [cm]

Váha [kg]

BSA

Ž

170

62

1,72

Operatér

doktor

Technik

Sestra

technik

nejlepší sestra

Parametry měření

Kondice

REST

Extrapolace [%]

Objem injektátu [ml]

70/35

10

Nastavení měření

Metoda

 CO R-L L-R — REG — ASD VSD PDA AO M TR

Varianty křivek (počet dokončených měření)

SVC-PA

LV-AO

IVC-PA

LV-AO

Ukončit vyšetření (Esc)

Procházet měření (Ctrl+M)

Zahájit měření (→)

Vyšetření

ID pacienta

1

Příjmení

Workshop

Jméno

Praha

Číslo katetrizace

B 17/362

Datum narození

dd.mm.yyyy

Pohlaví

Ž

Výška [cm]

170

Váha [kg]

62

BSA

1,72

Operatér

doktor

Technik

technik

Sestra

nejlepší sestra

Parametry měření

Kondice

REST

Extrapolace [%]

70/35

Objem injektátu [ml]

10

Nastavení měření

Metoda

 CO

 R-L

 L-R —

 REG —

 ASD

 VSD

 PDA

 AO

 M

 TR

Varianty křivek (počet dokončených měření)

LV-AO 3

IVC-AO 2

SVC-AO

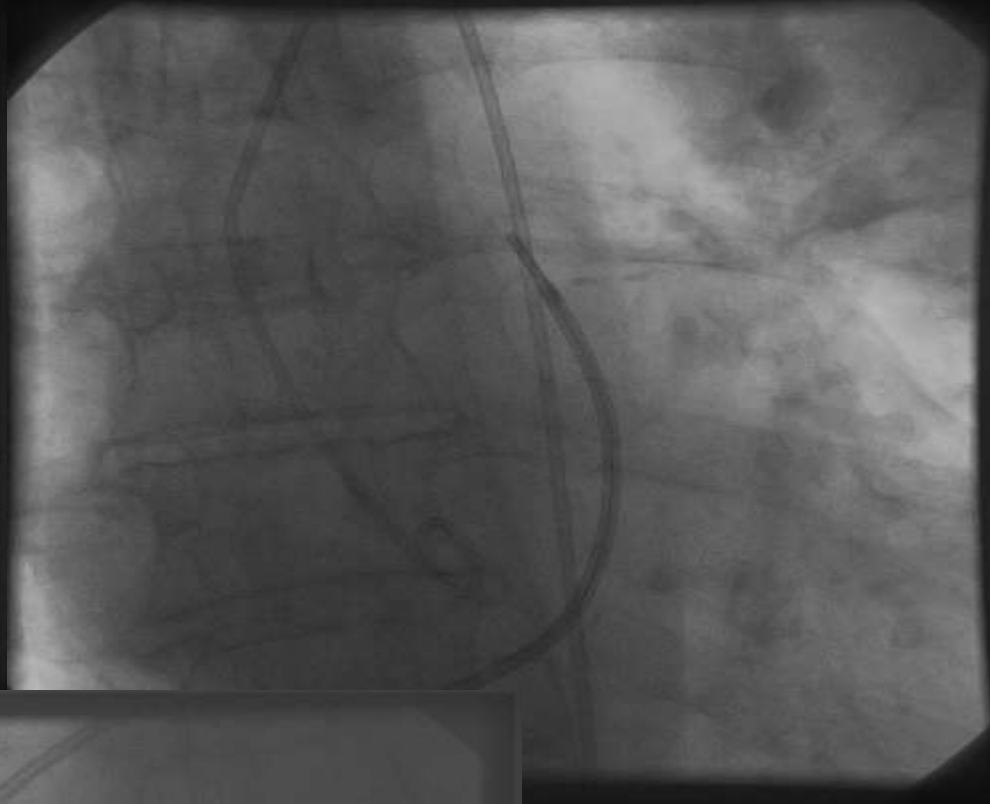
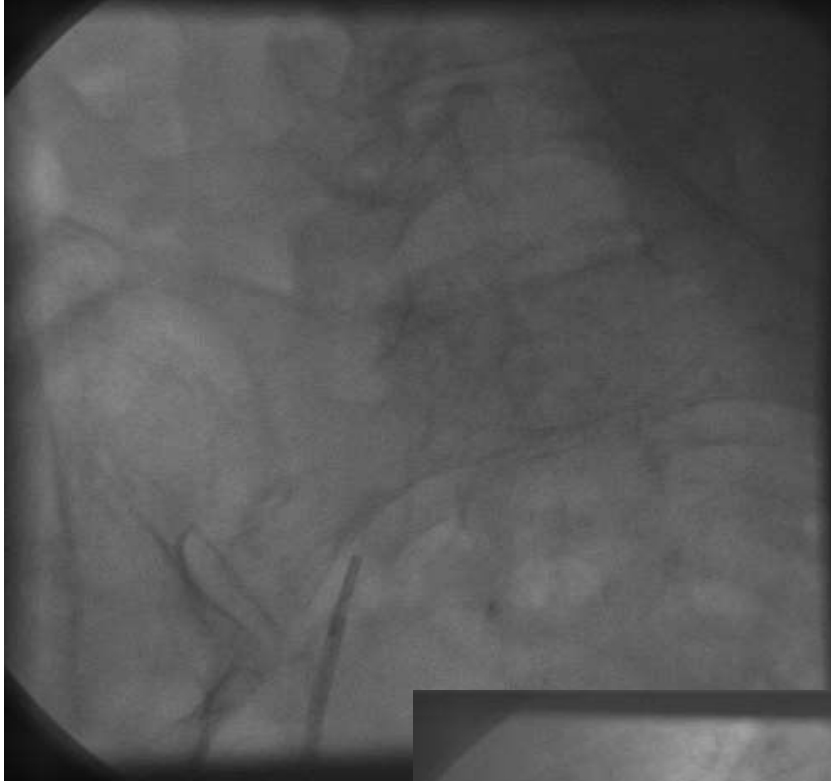
LV-AO 3

IVC-AO 2

Ukončit vyšetření (Esc)

Procházet měření (Ctrl+M)

Zahájit měření (↵)



Základy hemodynamických měření

Měření vaskulární rezistence

Vaskulární rezistence je definována jako poměr **poklesu tlaku** při průchodu cévním segmentem k **průtoku** tímž segmentem (*průměr řečiště, viskozita krve*)

Plicní vaskulární rezistence (PVR) = $P_{AP} - P_{LS} : CO$ (u zkratových vad PBF!!)

(*vyšší rezistence – hypoxie, vyšší průtok, uzávěr AP, výpotky, ventilace...;*
nižší rezistence – O₂, NO, vazodilatační látky)

Systémova vaskulární rezistence (SVR) = $P_{Ao} - P_{PS} : CO$

Jednotky : Woodovy jednotky (Wj.) , SI jednotky dyn-sec-cm⁻⁵

norma PVR = 0,8Wj (0,8x80=67 dyn-sec-cm⁻⁵)

norma SVR = 14,6Wj (0,8x80=1170 dyn-sec-cm⁻⁵)

Základy hemodynamických měření

Měření intrakardiálních zkratů

Verifikace a kvantifikace zkratu

- **oximetrie**

$$\%LP = \frac{AP - SVV}{P\check{Z} - SVV} \times 100$$

kde $\%LP$ = levopravý zkrat v procentech plicního průtoku, AP = průměrná saturace vzorků z plicnice, SVV = saturace vzorku smíšené venózní krve, $P\check{Z}$ = saturace vzorku plicní žíly (v případě nedostupnosti se použije vzorek systémové tepny)

- **indikátorové diluční křivky**

+ **barvivové diluce**

* **termodiluce!?** (Intherm - doc. Endrys)

- **vyjádření: poměr plicního x systémového průtoku - QP:QS, % SP, %PP**

Základy hemodynamických měření

Měření intrakardiálních zkratů

Verifikace a kvantifikace zkratu
- oximetrie

$$\%LP = \frac{AP - SVV}{P\check{Z} - SVV} \times 100$$

%LP = levoprávý zkrat v procentech plicního průtoku, AP = průměrná saturace vzorků z plicnice, SVV = saturace vzorku smíšené venózní krve, PŽ = saturace vzorku plicní žíly (v případě nedostupnosti se použije vzorek systémové tepny)

OXIMETRICKÉ MĚŘENÍ ZKRATU

SVV se musí vypočítat z hodnot HDŽ a DDŽ.

Bylo uveřejněno několik vzorců:

HDŽ

špatný

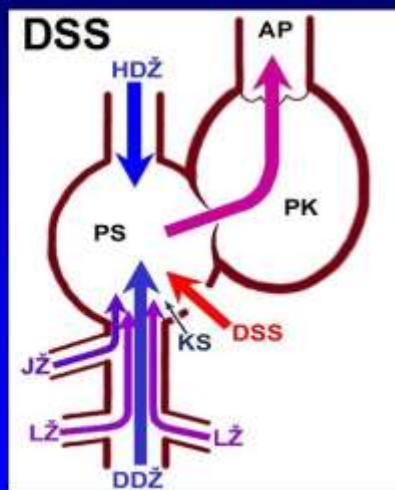
(3 HDŽ + 1 DDŽ) : 4

běžně
užívaný

(1 HDŽ + 2 DDŽ) : 3

nejlepší

Čím je větší rozdíl saturací mezi HDŽ a DDŽ, tím je závažnější chyba měření.



$$QP : QS = \%LP : (100 - \%LP) + 1$$

$$PP \text{ (l/min)} = \frac{\text{Spotřeba O}_2}{P\check{Z} \text{ O}_2 - AP \text{ O}_2}$$

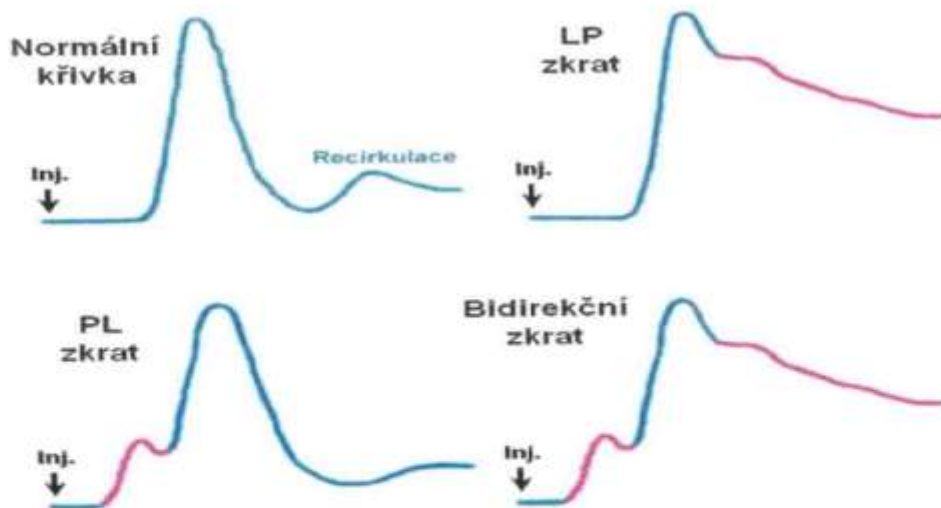
$$SP \text{ (l/min)} = \frac{\text{Spotřeba O}_2}{A_o \text{ O}_2 - SVV \text{ O}_2}$$

$$PEP \text{ (l/min)} = \frac{\text{Spotřeba O}_2}{P\check{Z} \text{ O}_2 - SVV \text{ O}_2}$$

$$LP \text{ (l/min)} = PP - SP \quad (LP = PP - PEP; \quad PL = SP - PEP)$$

Základy hemodynamických měření

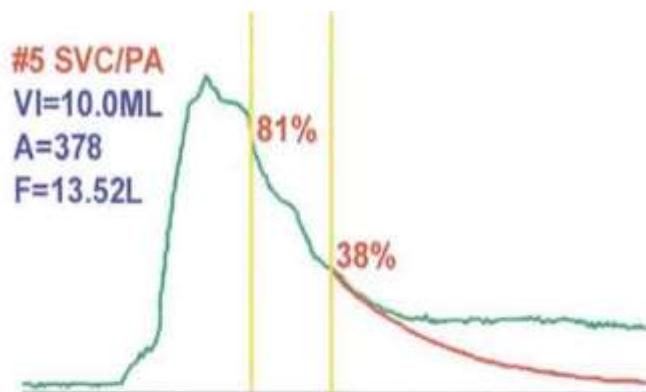
Verifikace intrakardiálních zkratů



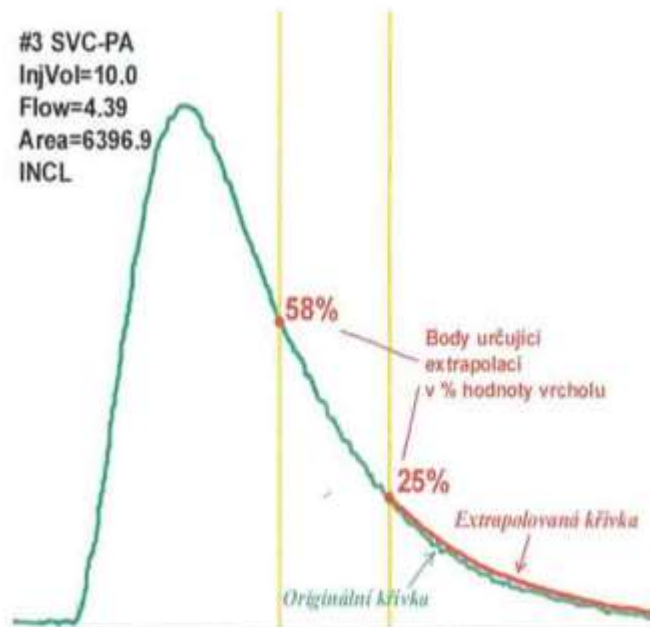
Obr. 38. Barvivové diluční křivky. Změny charakteristické pro intrakardiální zkraty ve srovnání s normální křivkou. Patologické změny jsme pro názornost zobrazili červeně. Vzhledem k různé registrační aparatuře jsou výchylky registrovány buď směrem nahoru, jako v tomto případě, nebo naopak dolů (obr. 35, 36, 39 – většina barvivových křivek).

Základy hemodynamických měření

Verifikace intrakardiálních zkratů



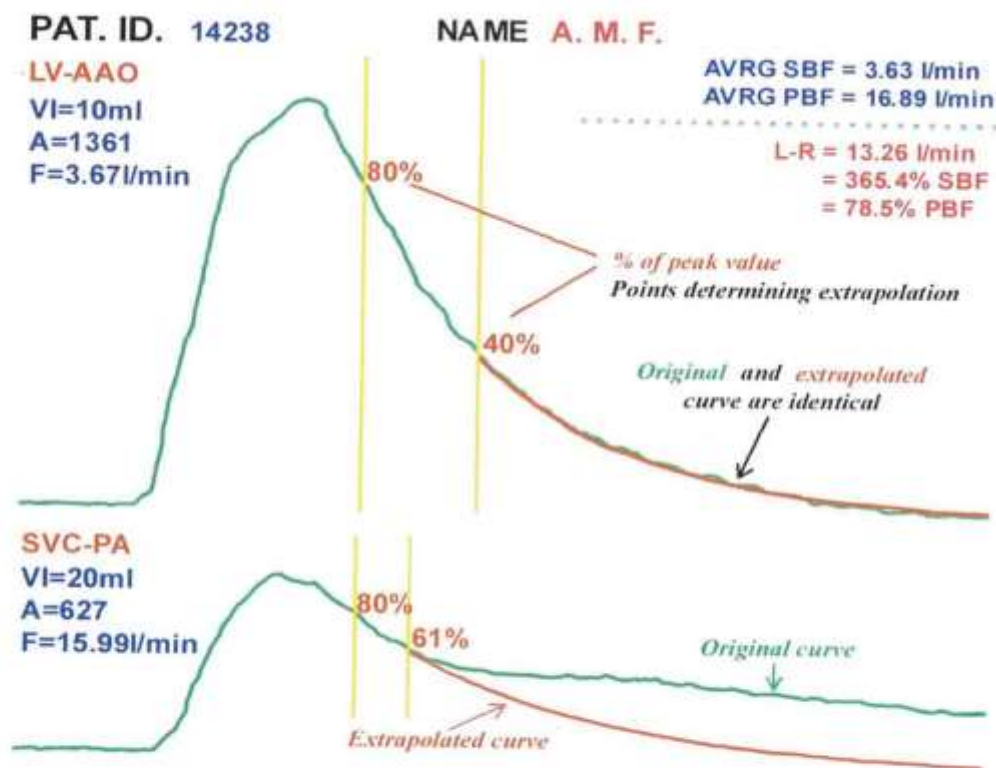
Obr. 65. Křivka HDŽ-AP typicky deformovaná LP zkratem u nemocného s defektem síňového septa a velkým LP. Originální křivka (zelená) je ve své distální části zřetelně deformovaná LP zkratem a probíhá výrazně nad extrapolovanou částí křivky (červenou). Tento jev je známkou LP viditelnou na první pohled zejména ve srovnání s obr. 66. Velmi dobrá separace zkratové vlny i při velkém LP je podmíněna registrací termosondou.



Obr. 66. Křivka HDŽ-AP má normální tvar a vylučuje LP zkrat. Obě křivky (originální i extrapolovaná) se kryjí. Žluté přímkové značky umožňují zvolit úsek, určující exponenciální extrapolaci křivky.

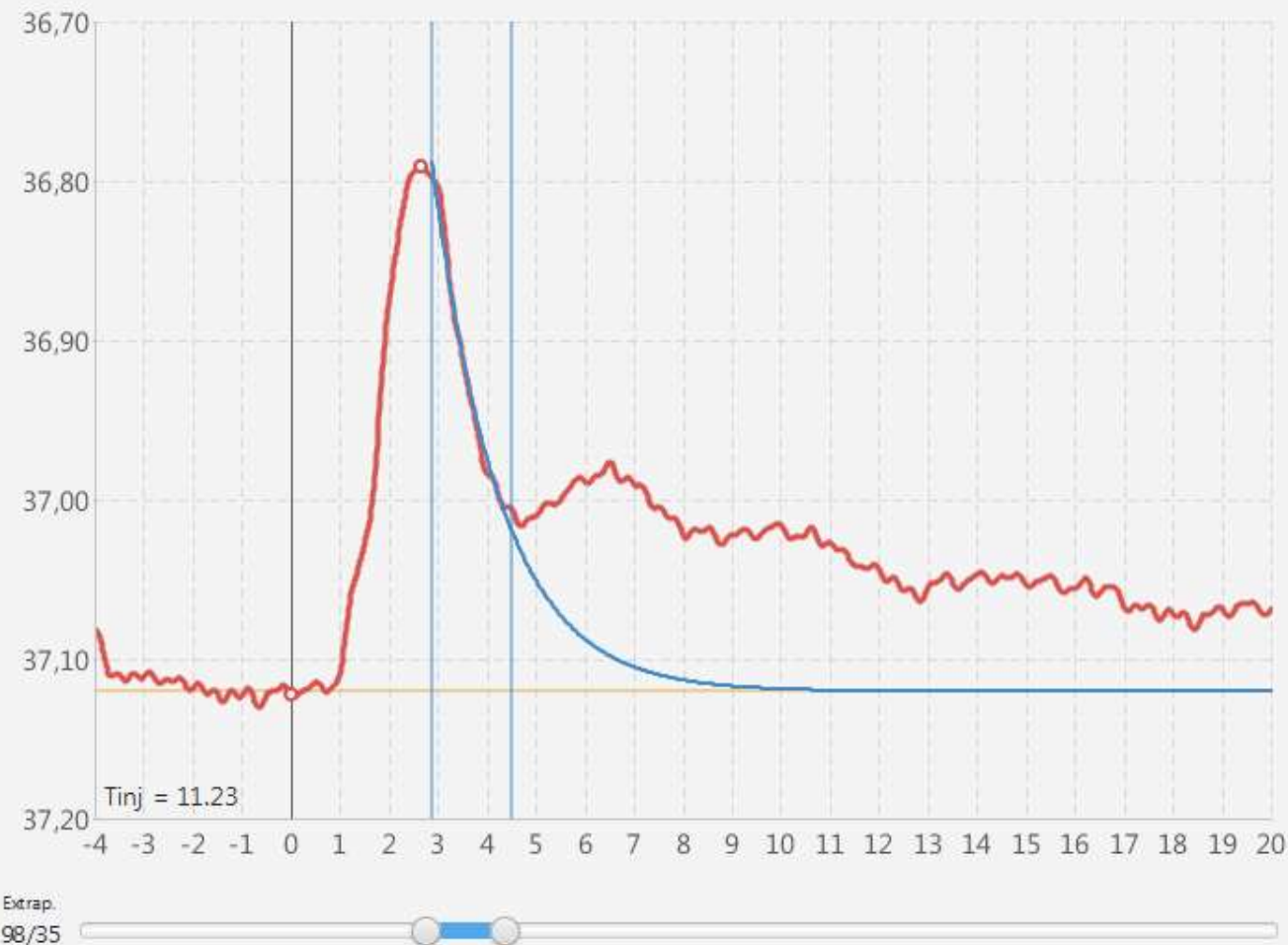
Základy hemodynamických měření

Kvantifikace intrakardiálních zkratů



Obr. 73. Měření velikosti LP zkratu u nemocného s velkým defektem síňového septa a závažným LP. Horní křivka LK-AO měří systémový průtok a nejeví známky LP. Dolní křivka HDŽ-AP měří plicní průtok a má typický zkratový tvar (originální křivka je nad extrapolovanou). VI = vstříkované množství studeného roztoku, A = plocha křivky, F = průtok změřený křivkou, L-R = LP zkrat, AVRG SBF = průměrná hodnota všech křivek měřících syst. průtok, AVRG PBF = průměrná hodnota všech křivek měřících plicní průtok.

10 SVC-PA 17,81 / Avg. 17,51 Area: 0,8287



► Pacient

► Vyšetření

▼ Seznam měření

Kondice

REST

Měření

▼ LV-AO 3

1: 7,05



2: 7,02

3: 6,64

▼ IC-AO 2

4: 7,70



5: 9,04

► IC-PA 3

▼ SVC-PA 3

9: 18,81



10: 17,81

11: 15,93

Zpět (Esc)

Seznam zpráv (Ctrl+L)

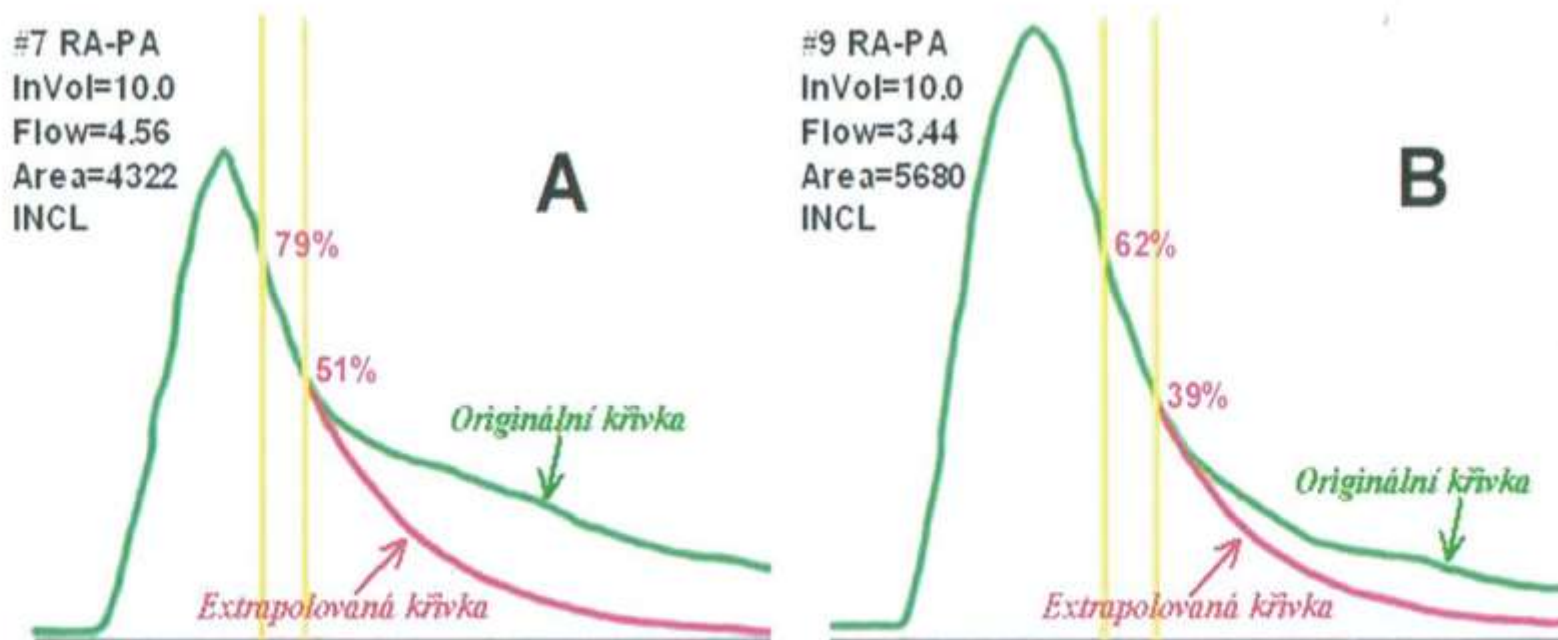
Vytvořit zprávu (↵)

- Jiří Endrys



Základy hemodynamických měření

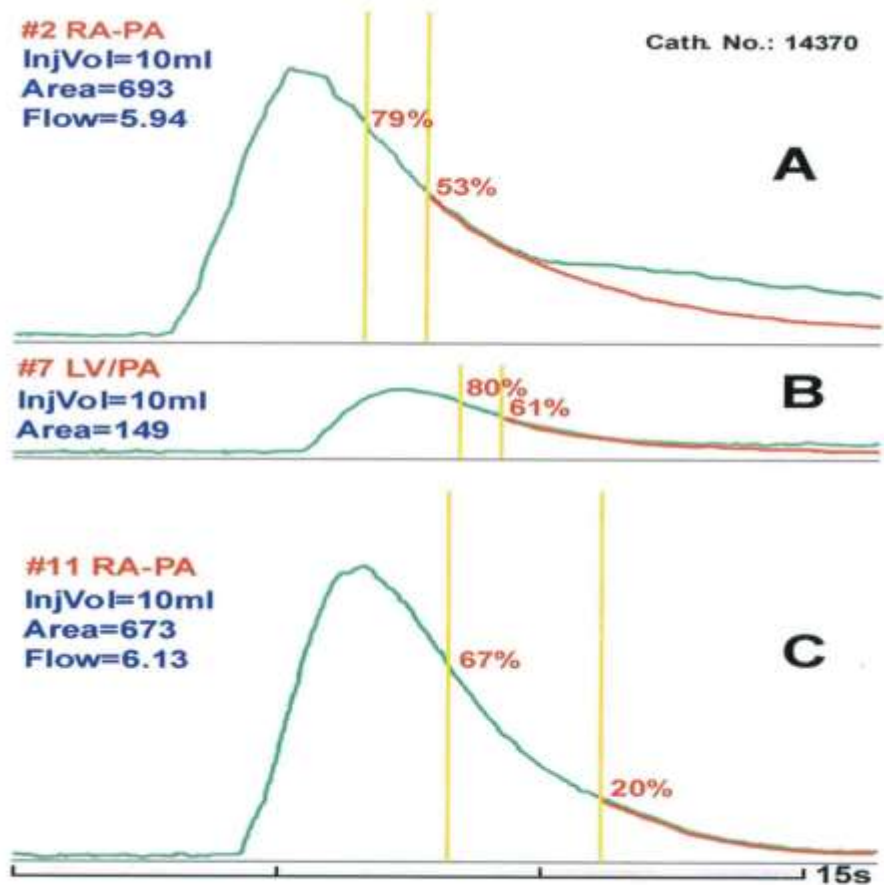
Verifikace intrakardiálních zkratů



Obr. 76. Měření plicního průtoku u nemocného s defektem síňového septa před (křivka A) a po implantaci Amplatzova okluderu (křivka B). Došlo k poklesu plicního průtoku, avšak LP zkrat v menším rozsahu přetvárá.

Základy hemodynamických měření

Verifikace intrakardiálních zkratů



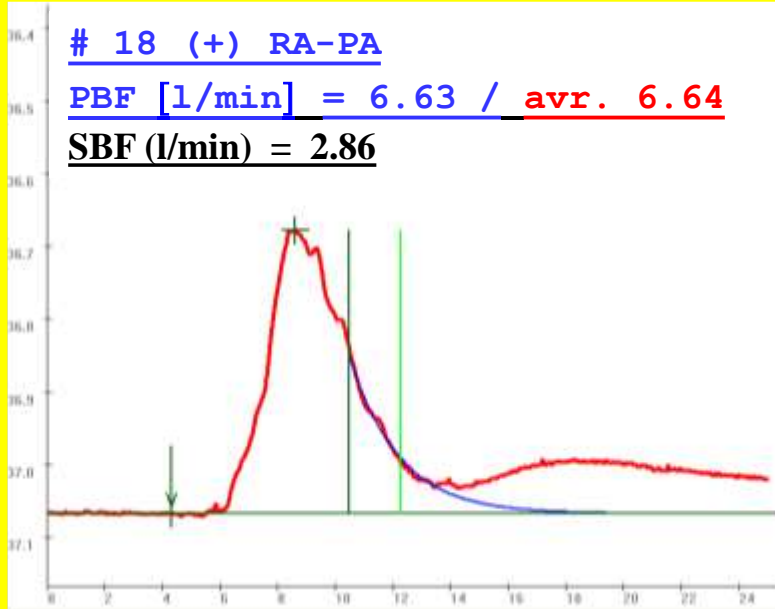
Obr. 71. Měření LP u nemocného s koronární přitělní ústředí do pravé síně před (křivky A a B) a po perkutánní obliteraci (křivka C). Známky malého LP (22 % plicního průtoku) po uzavěru vymizely (originální a extrapolovaná křivka se kryjí).

Před uzavřením PDA

18 (+) RA-PA

PBF [l/min] = 6.63 / avr. 6.64

SBF (l/min) = 2.86



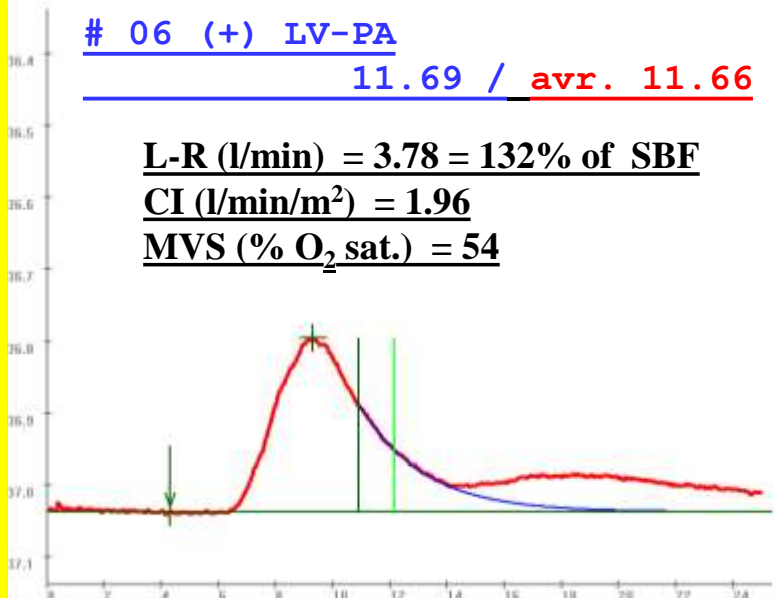
06 (+) LV-PA

11.69 / avr. 11.66

L-R (l/min) = 3.78 = 132% of SBF

CI (l/min/m²) = 1.96

MVS (% O₂ sat.) = 54

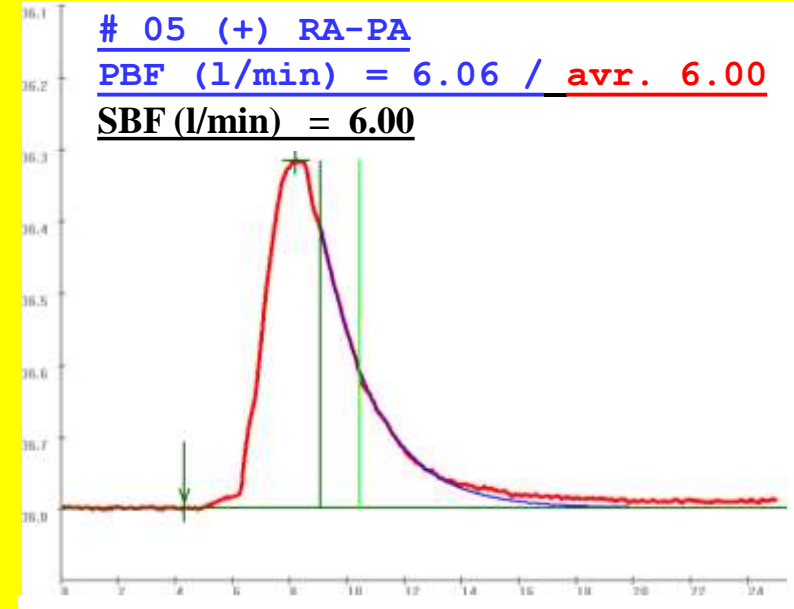


Po uzavření PDA

05 (+) RA-PA

PBF (l/min) = 6.06 / avr. 6.00

SBF (l/min) = 6.00



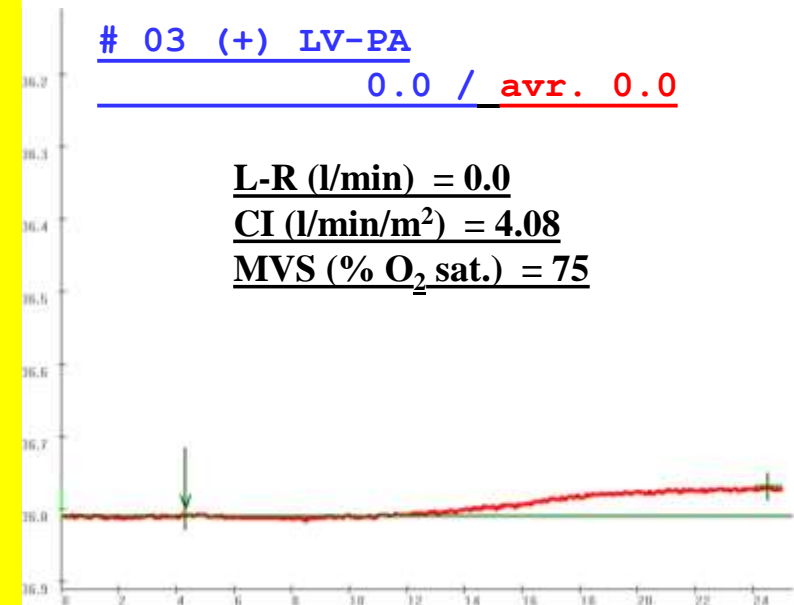
03 (+) LV-PA

0.0 / avr. 0.0

L-R (l/min) = 0.0

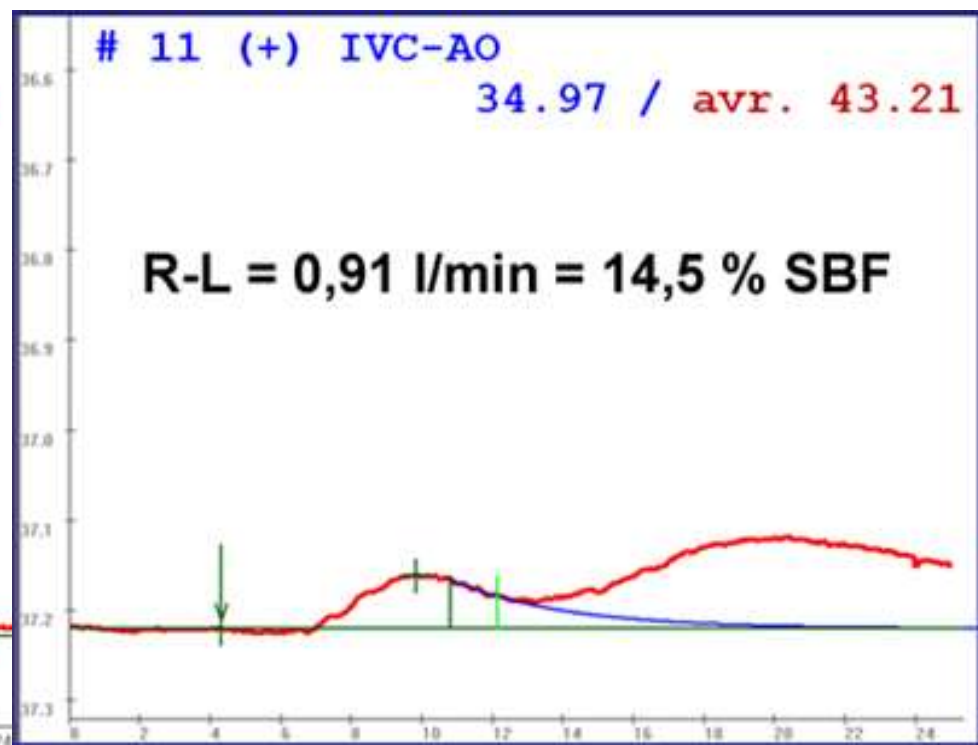
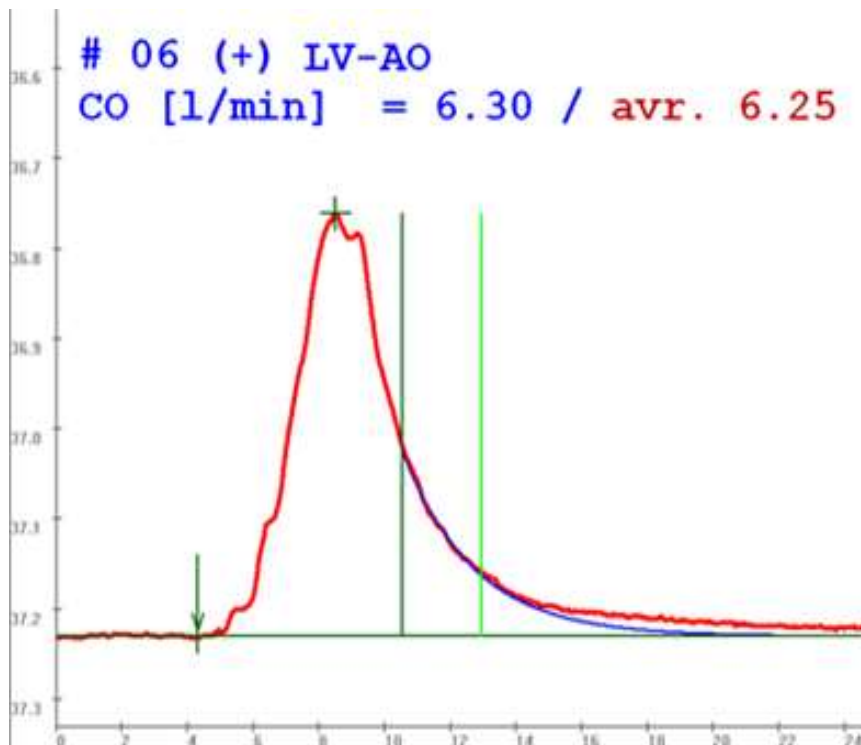
CI (l/min/m²) = 4.08

MVS (% O₂ sat.) = 75



Základy hemodynamických měření

Kvantifikace P-L zkratu



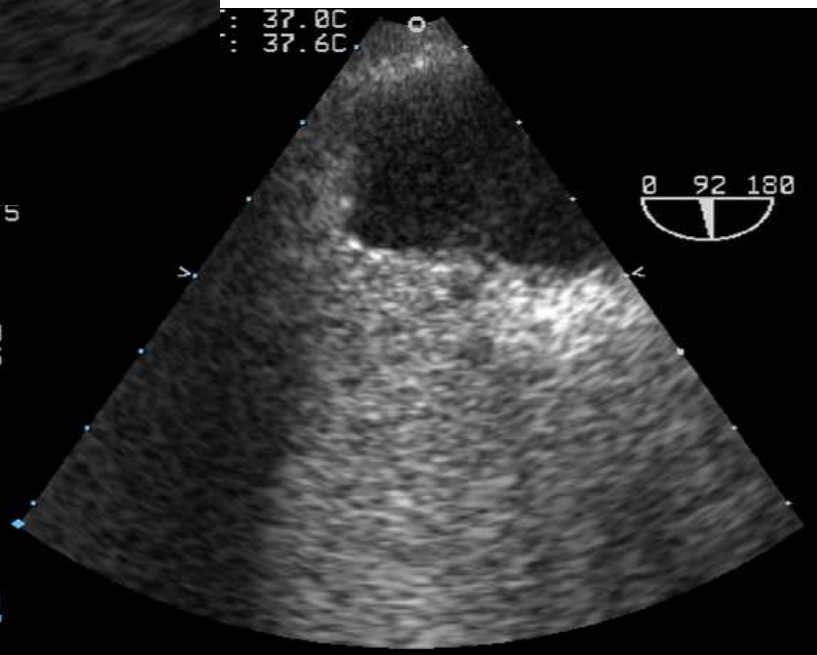
PAT T: 37.0C
TEE T: 37.7C

7
OVA

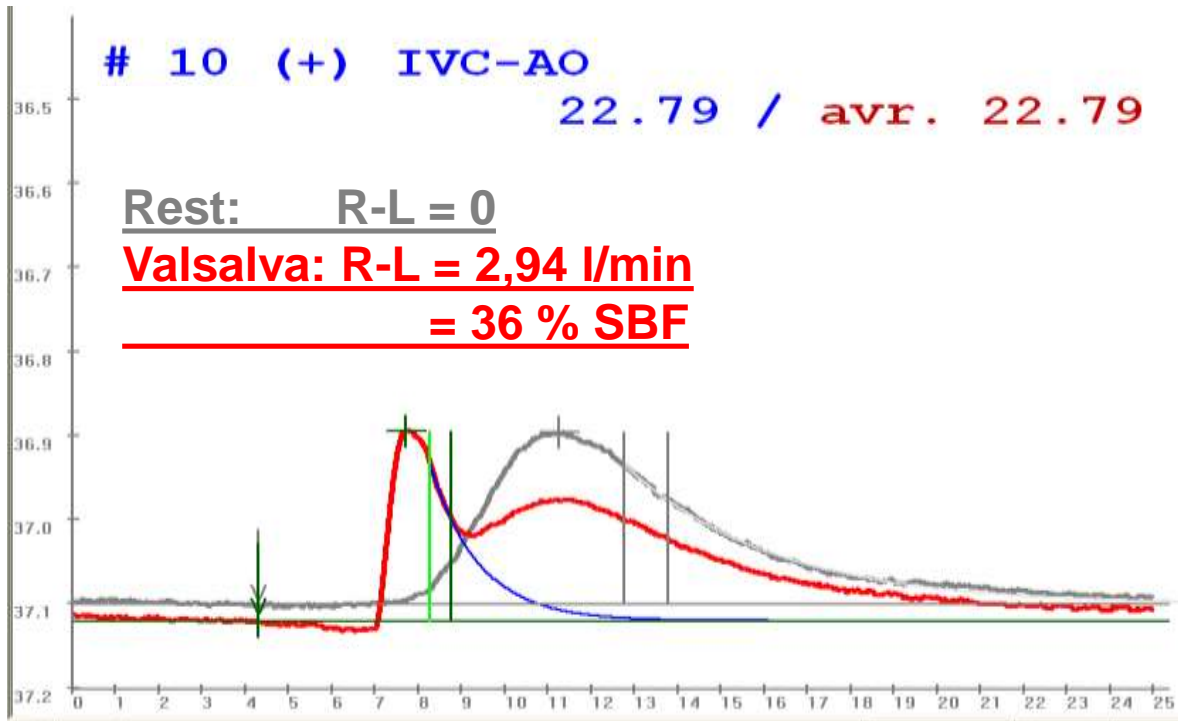
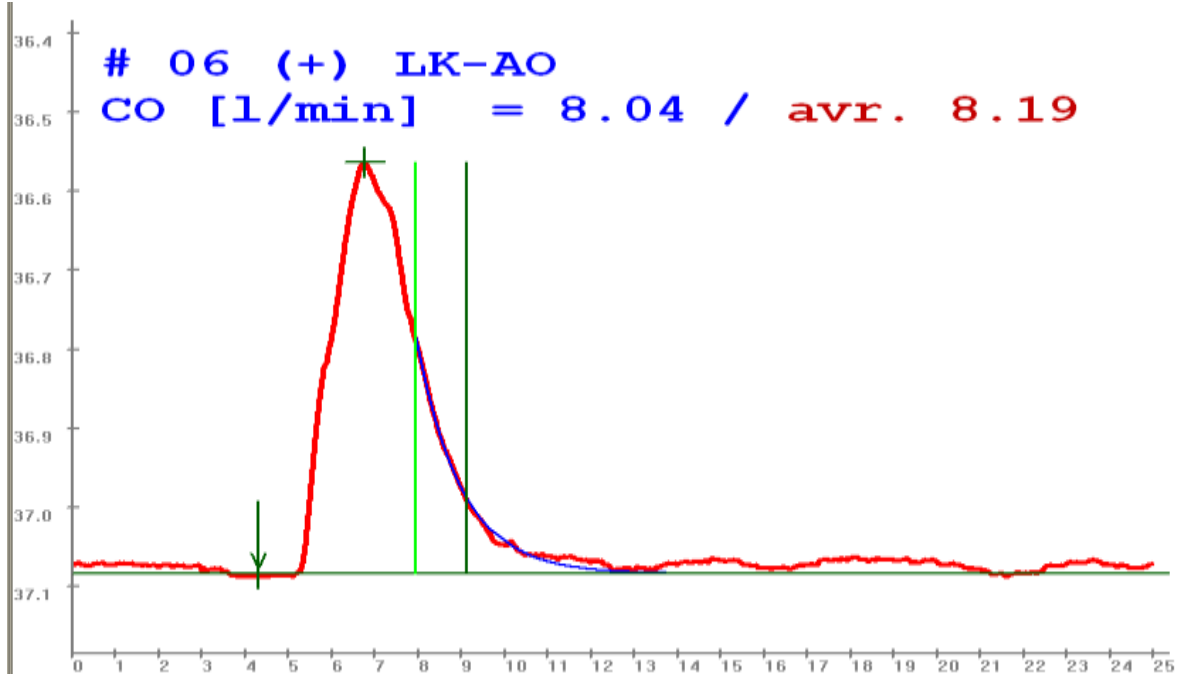


37.0C
37.6C

2/0/E/F5
FN HK
TEE 2
GAIN 50
COMP 65
12CM
71HZ



0 92 180



Before closure

PFO

After closure

