

Fyziologické a patofyziologické aspekty mimotělního krevního oběhu Kardioanestezie



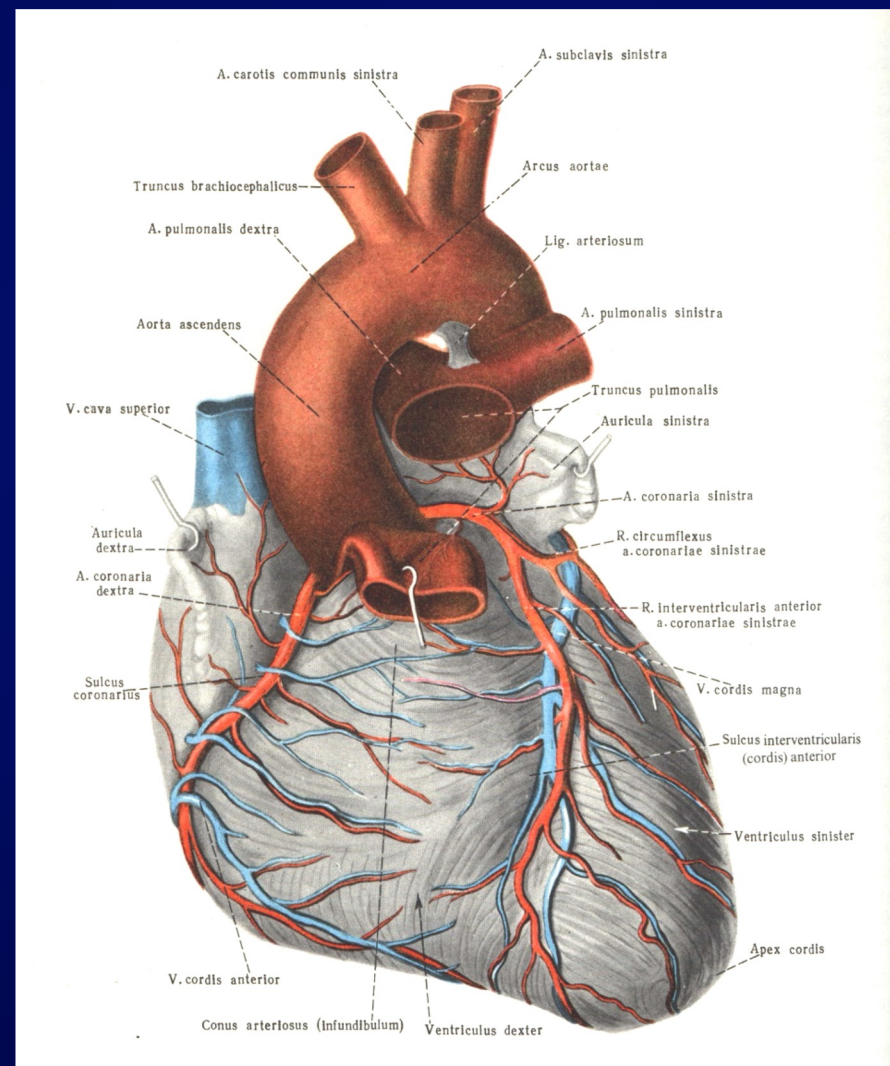
Hynek Říha

Klinika anesteziologie a resuscitace

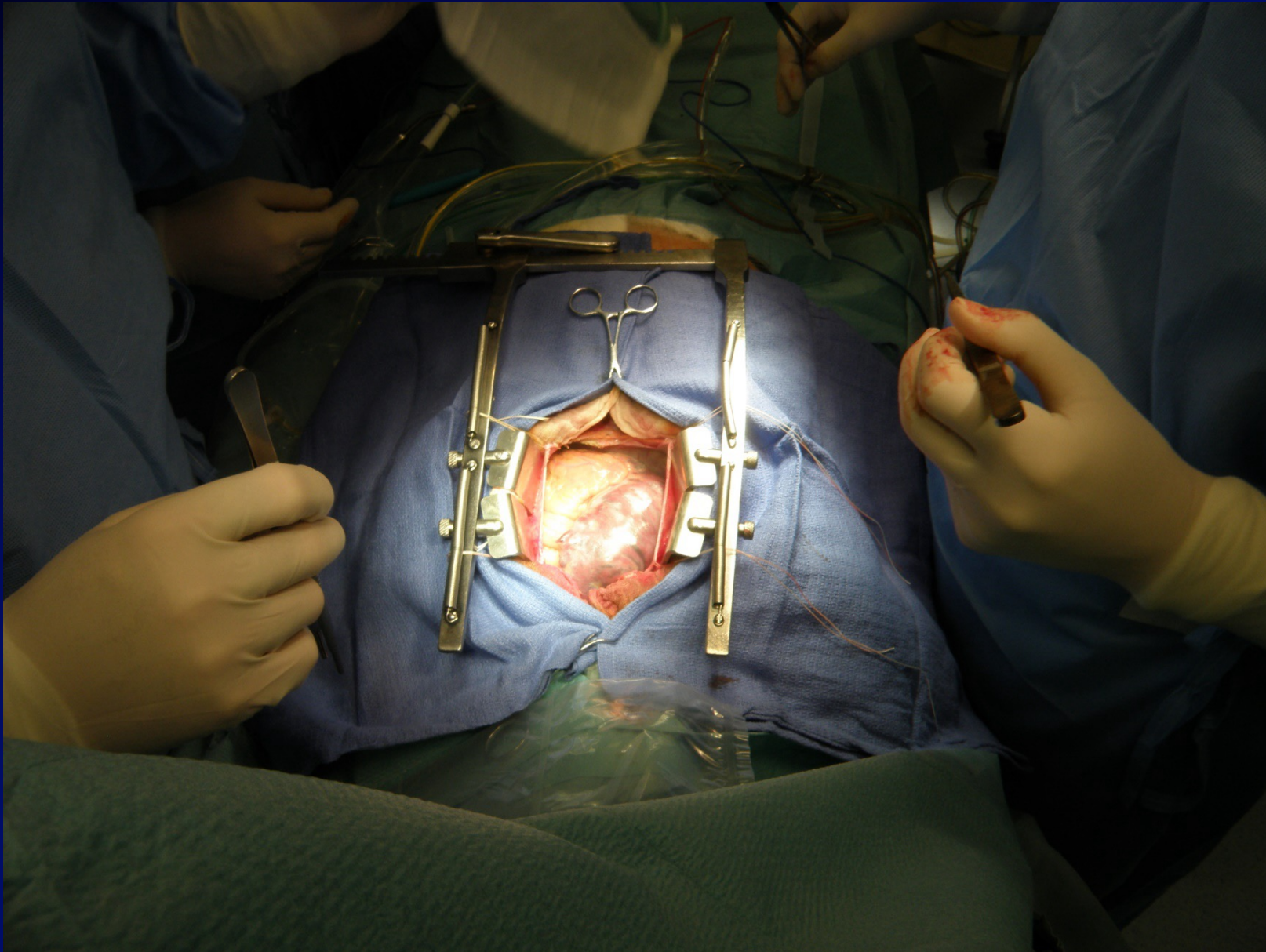
Kardiocentrum IKEM, Praha

Současná kardiologie

- ✓ CABG (aortokoronární bypass)
- ✓ Náhrada/plastika postižených srdečních chlopní
- ✓ Tx srdce
- ✓ Defekt septa síní nebo komor
- ✓ VVV srdce (koarktace aorty, ...)
- ✓ Mechanické srdeční podpory
- ✓ Miniinvazivní výkony
minitorakotomie, robotická KCH, ...
- ✓ Další výkony (TAVI, ...)
- ✓ Hybridní operační sál

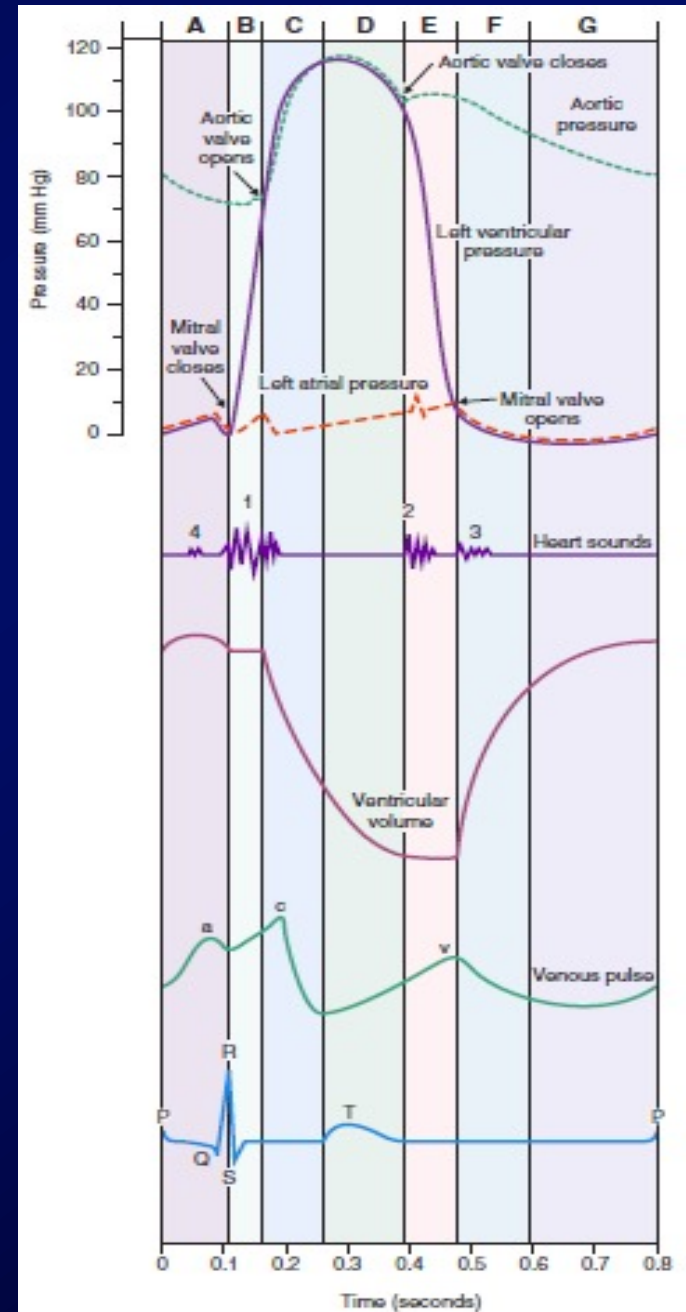


Sternotomie



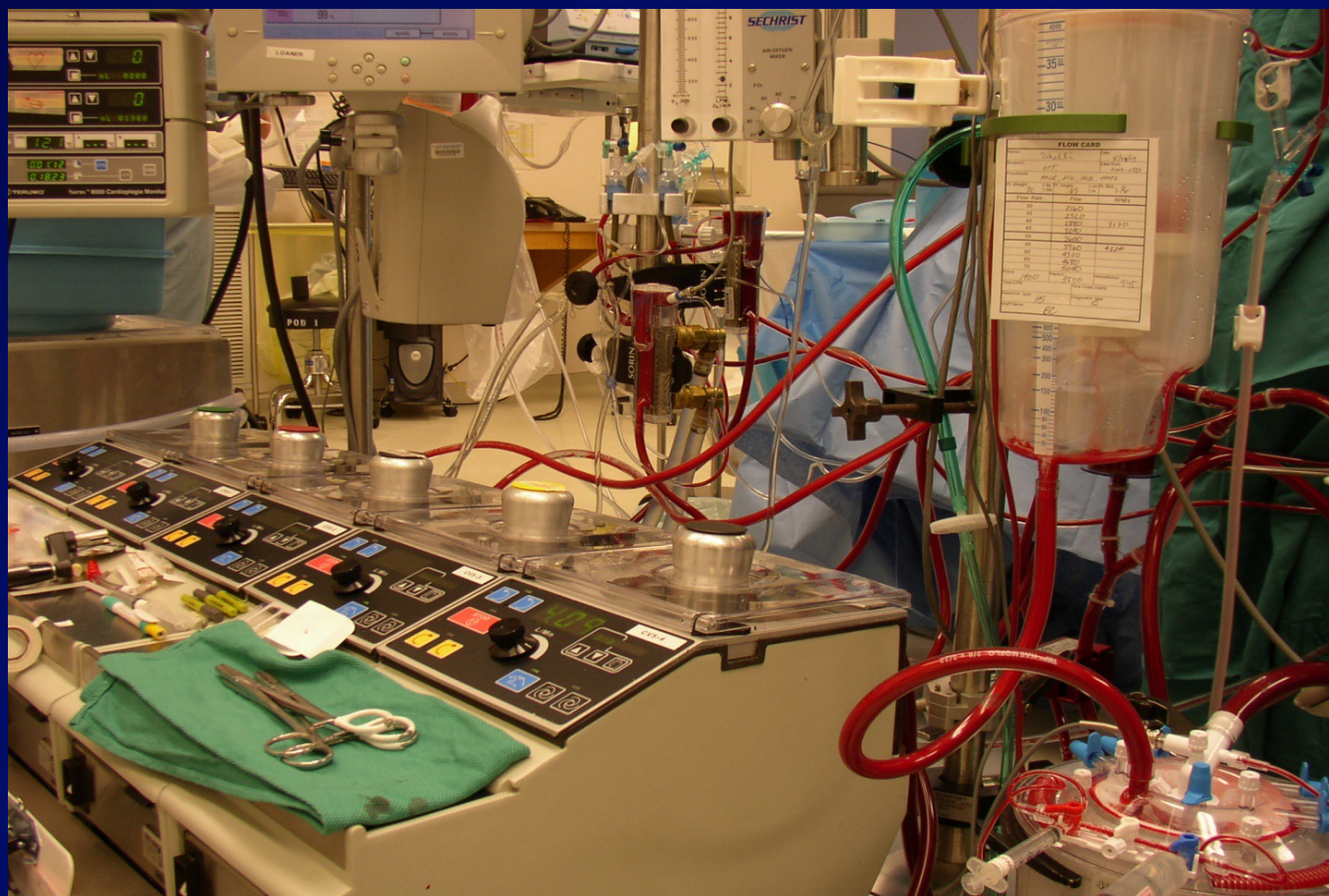
Problémy/výzvy

- Srdce se pohybuje/stahuje
- ✓ Srdeční cyklus: systola a diastola
- Srdce je naplněno krví
- Kardiolog potřebuje srdce
 - Vyprázdnit
 - Zastavit



Mimotělní oběh (MO)

- Komplexní metoda (John Gibbon Jr, 6. května 1953, Filadelfie, USA)
- ✓ Přímé spojení krevního oběhu nemocného (srdce) se zevně umístěným technologickým zařízením
- ✓ Umožňuje po určitou dobu zcela nahradit funkci srdce a plic



Mimotělní oběh

- Komplexní metoda (Gibbon 1953, Filadelfie, USA)

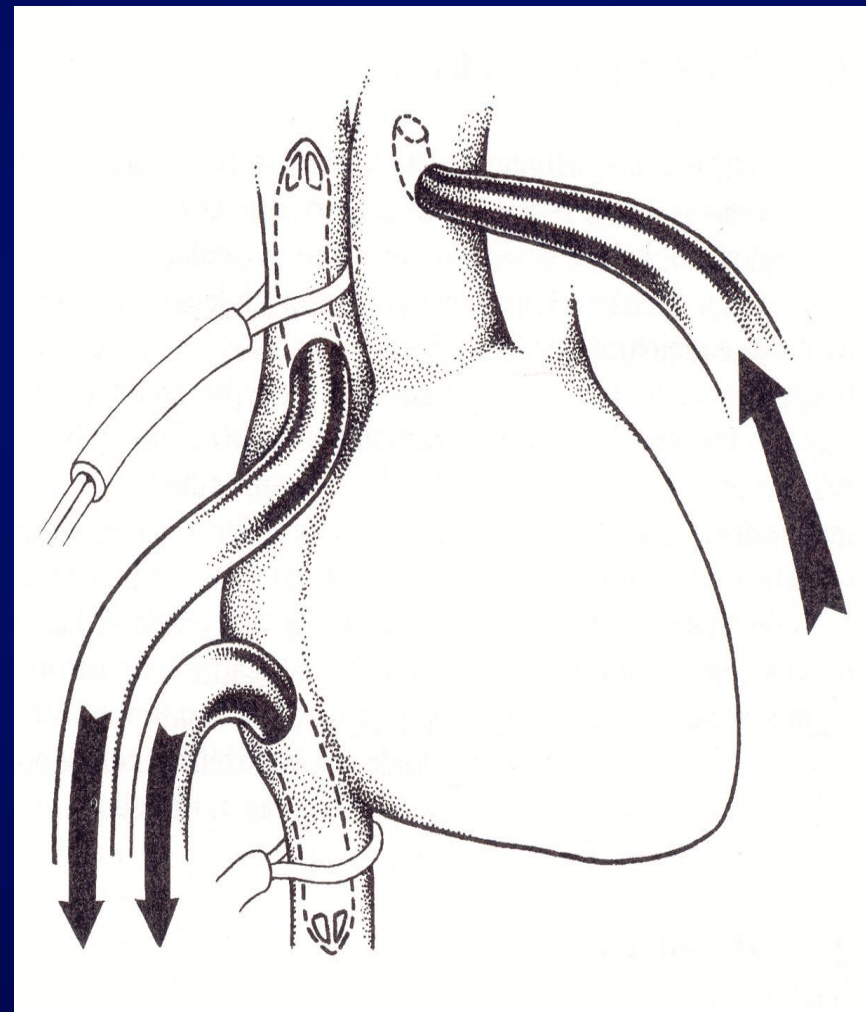
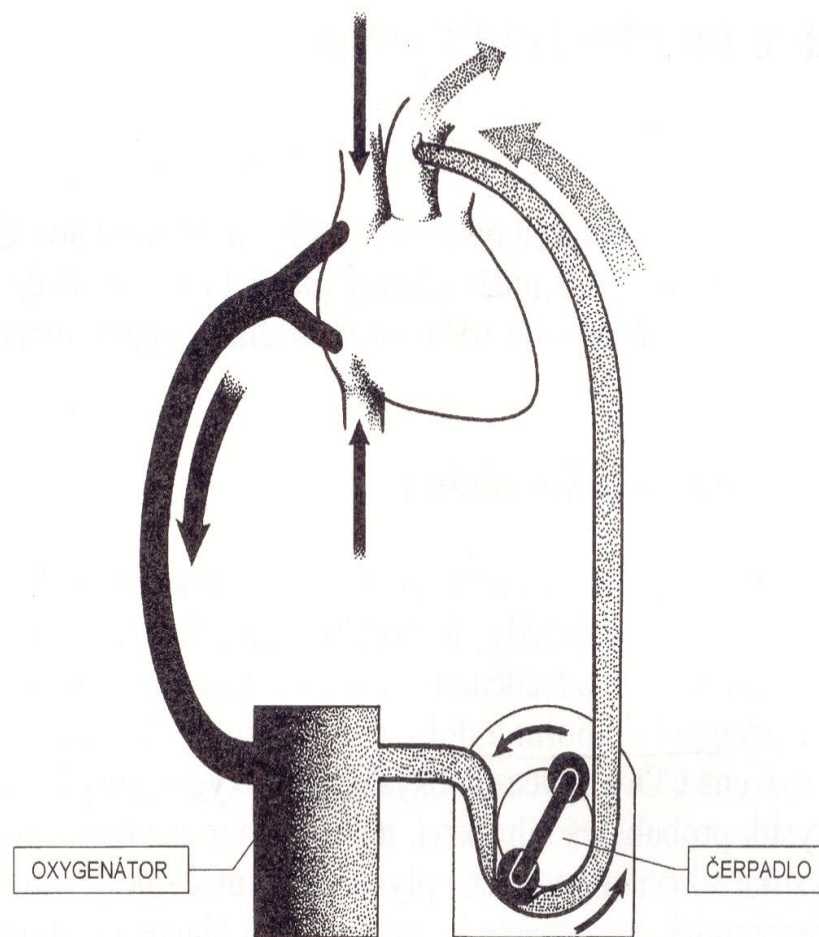


Mimotělní oběh

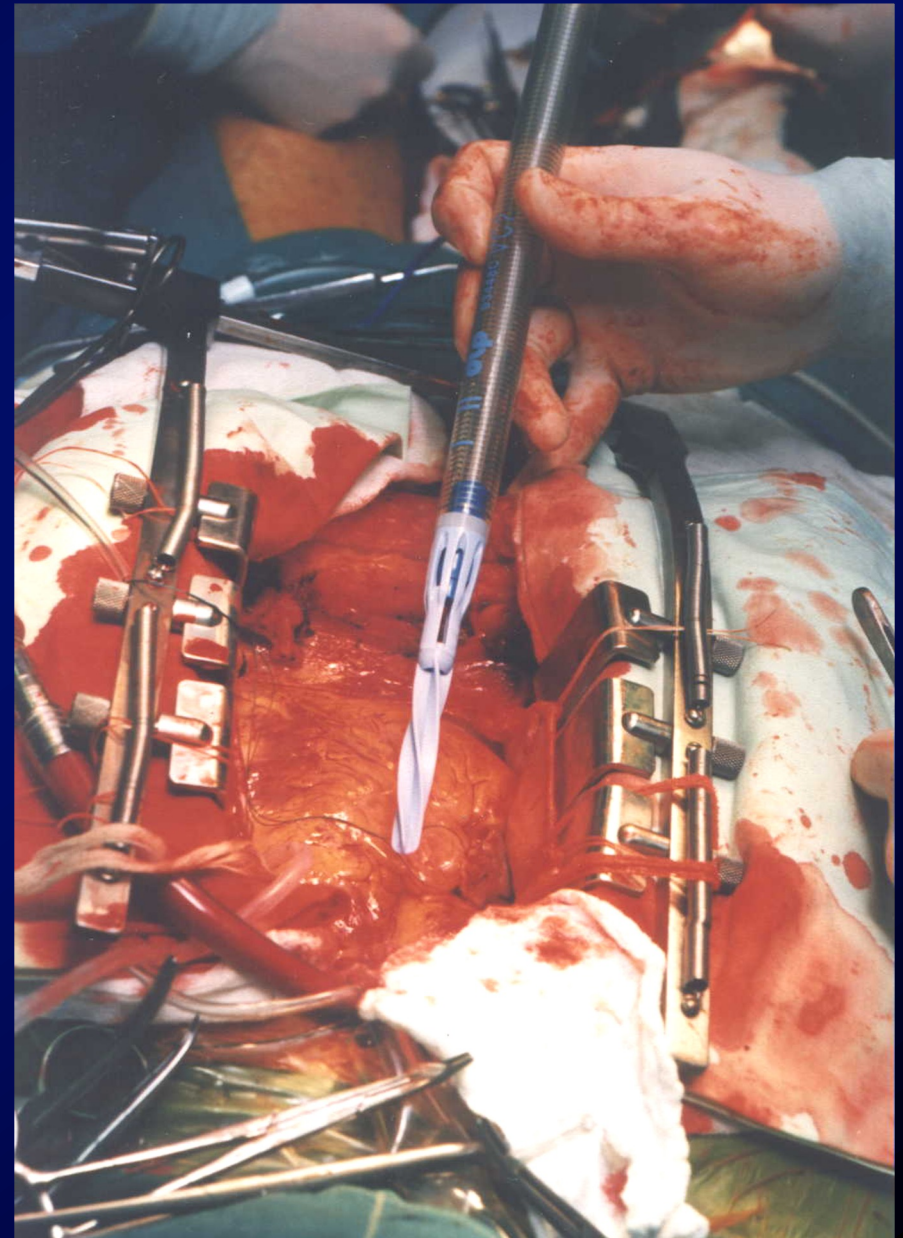
- Mnoho různých komponent



Spojení srdce a MO

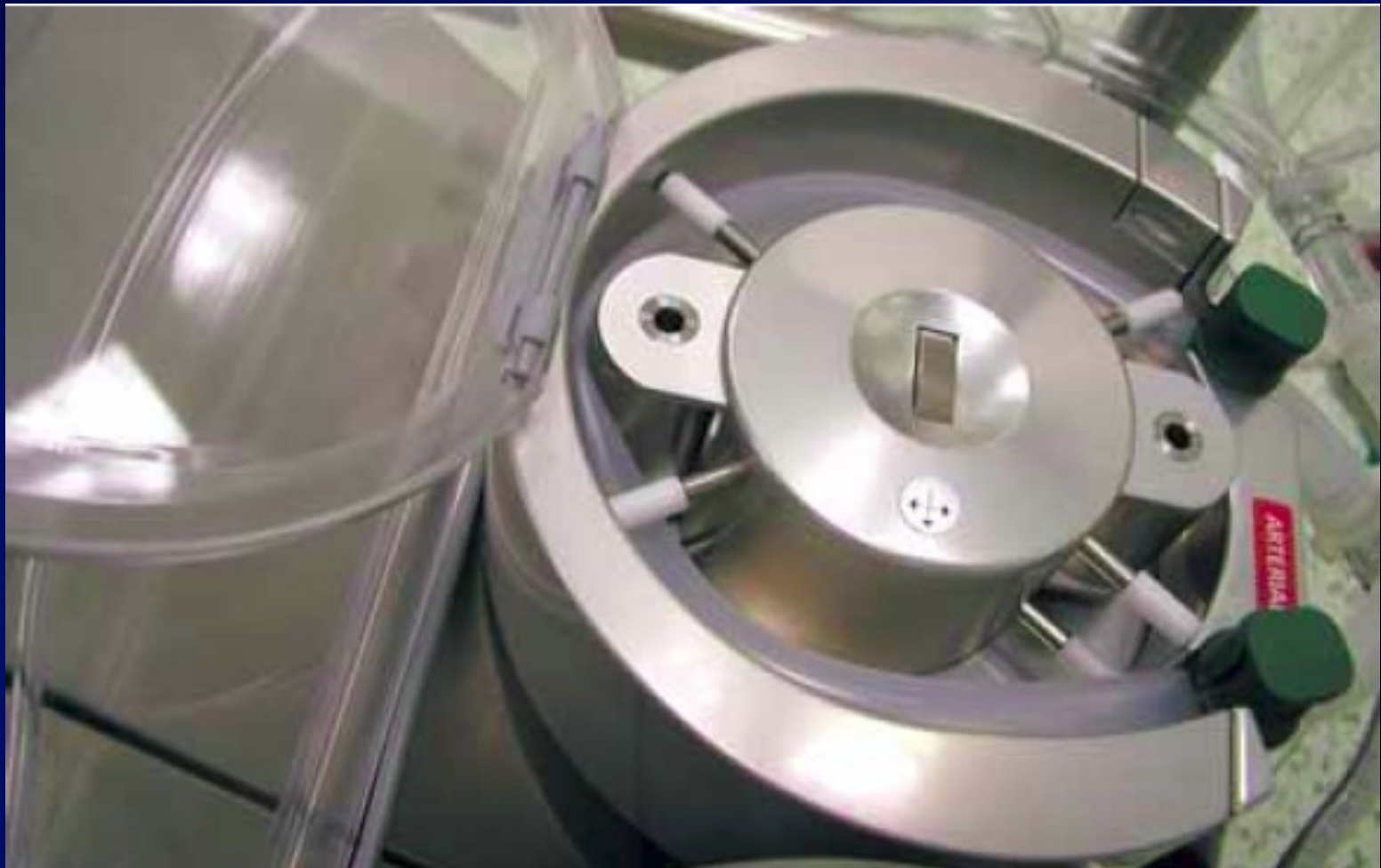


Spojení srdce a MO (kanyly)



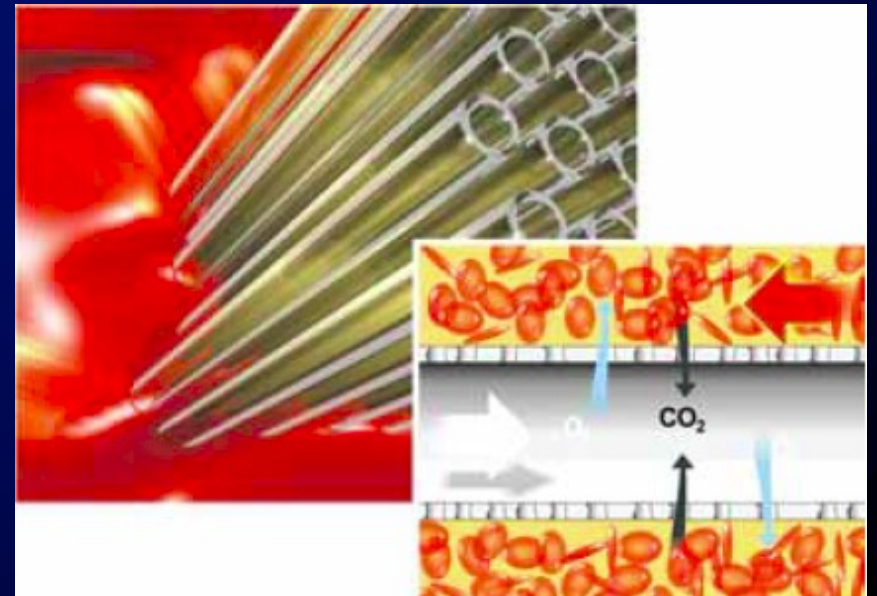
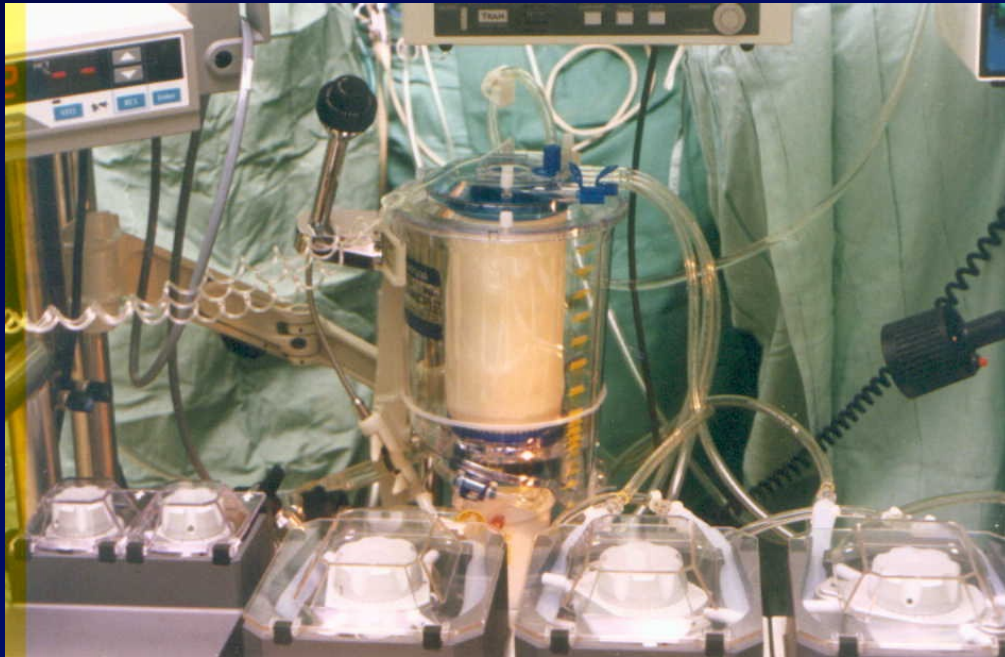
Krevní pumpa

- Válečkové čerpadlo (roller pump)
- ✓ Dva protilehlé válečky rotující v pevné kleci uvádějí do pohybu krev ve stlačitelné hadici

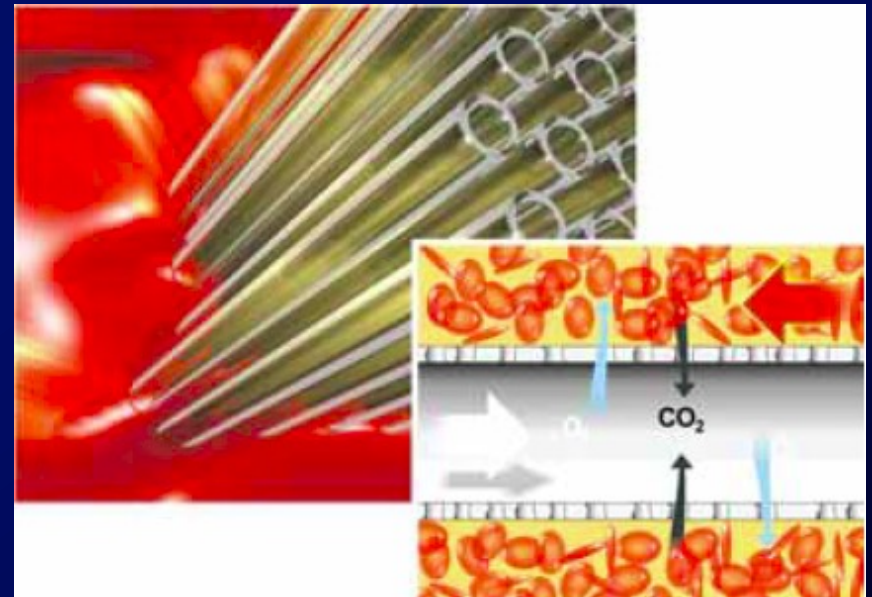
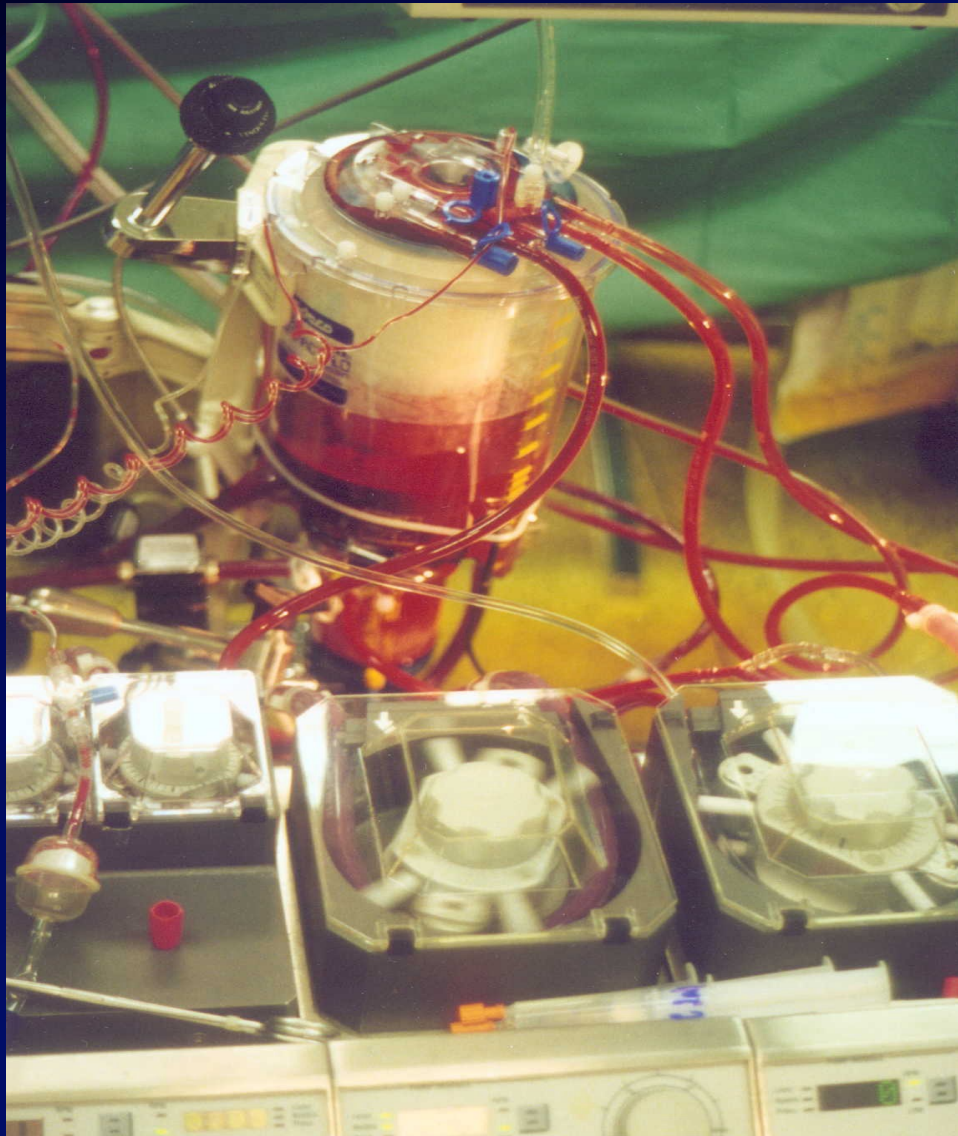


Rezervoár + oxygenátor

- Dutá vlákna
- ✓ Uvnitř dutého vlákna prochází směs plynů
- ✓ Zevně jsou vlákna omývána krví



Rezervoár + oxygenátor



Přístroj pro MO



Důležité aspekty MO

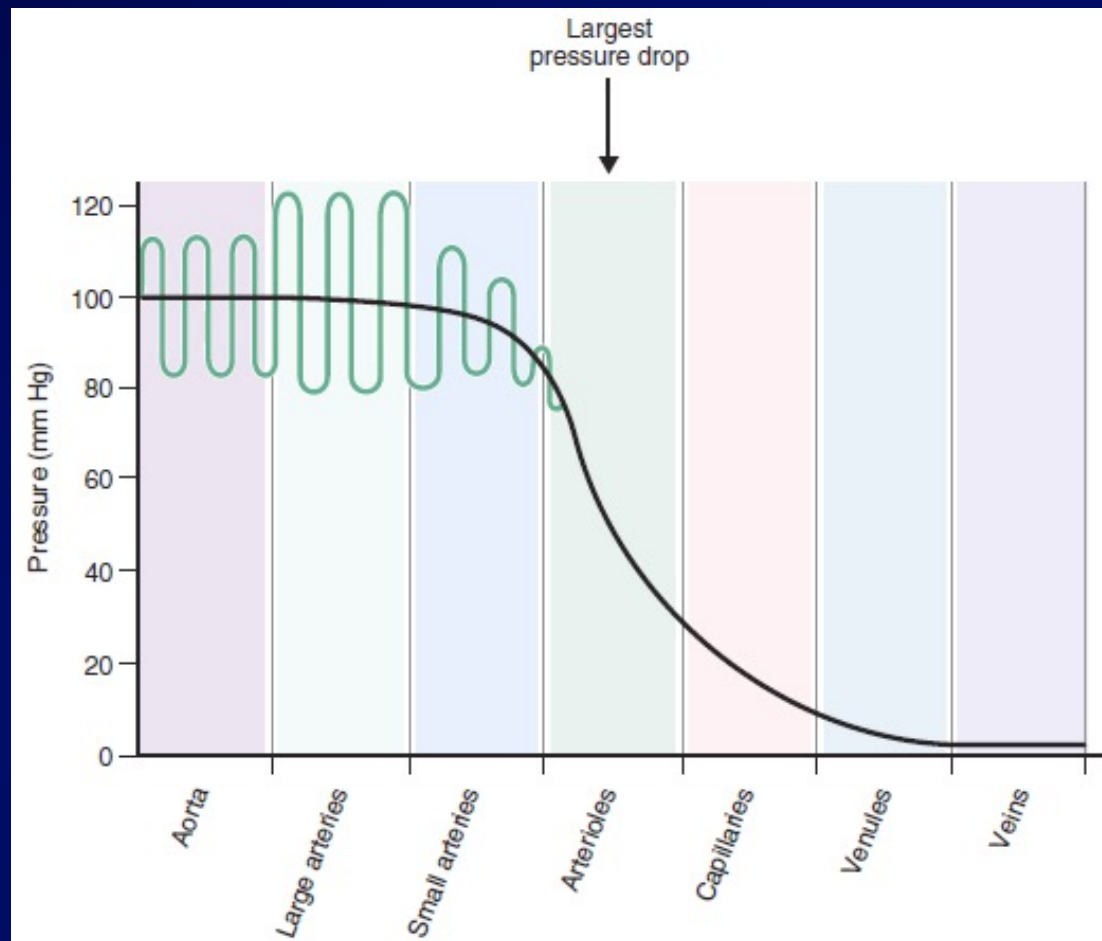
- Nepulzatilní krevní průtok
- ✓ Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta
- Přerušení mechanické aktivity srdce
- ✓ Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti
- Venting levé komory
- Hemokoagulační systém
- SIRS

Důležité aspekty MO

- **Nepulzatilní krevní průtok**
- ✓ **Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta**
- Přerušení mechanické aktivity srdce
- ✓ Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti
- Venting levé komory
- Hemokoagulační systém
- SIRS

Nepulzatilní krevní průtok

- V arteriolách se mění krevní průtok z pulzatilního na nepulzatilní
- MO => nepulzatilní krevní průtok i ve velkých tepnách



Monitorace vitálních funkcí

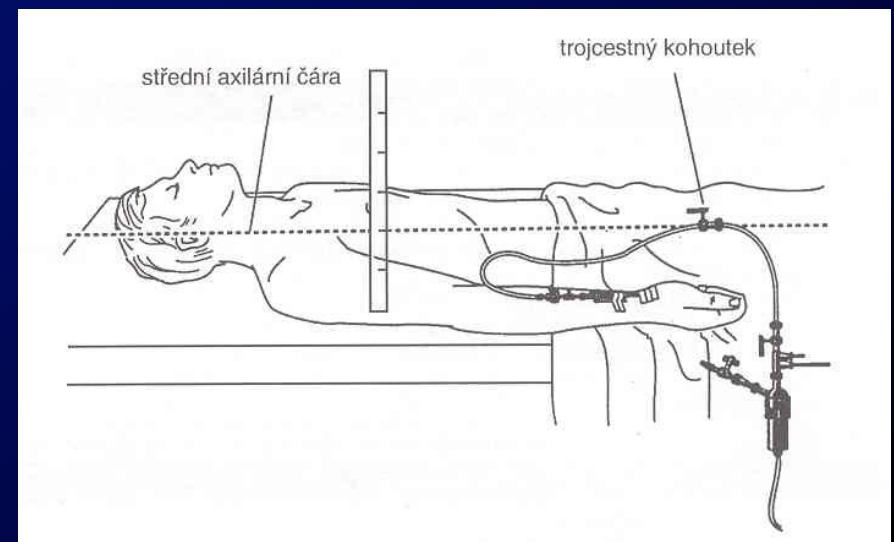
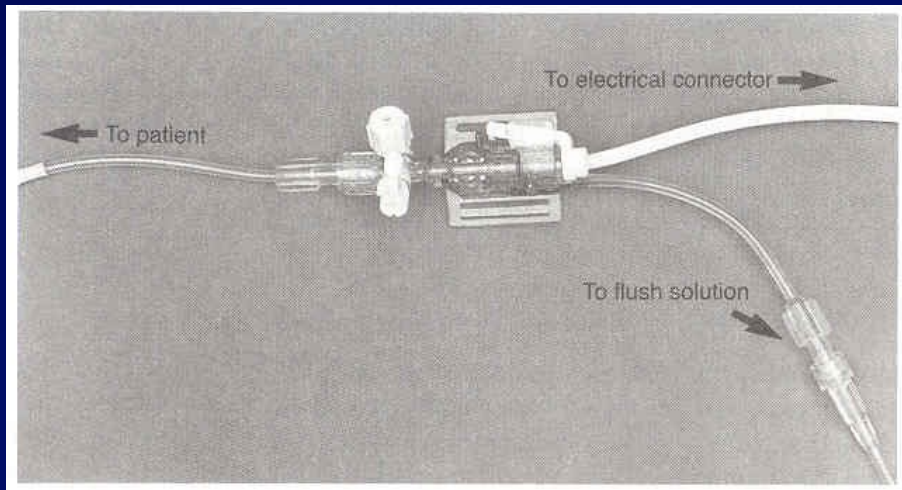
- Latin. **monere** = varovat, připomínat
 - **Monitorace** = sledování fyziologických funkcí pacienta
 - **Cíl** = včas rozpoznat abnormality fyziologických funkcí nebo zhodnotit efekt provedených terapeutických intervencí
-
- Poskytuje informace o funkci kardiovaskulárního aparátu
 - Umožňuje kvantitativně zhodnotit hemodynamické funkce
-
- Rozšíření monitorace hemodynamiky z kardiologických katetrizačních laboratoří na koronární jednotky, operační sály, jednotky intenzivní péče a další pracoviště v 70. letech 20. st.
-
- ✓ *Swan HJC, Ganz W, Forester JS, et al.*
Catheterization of the heart in man with the use of a flow-directed, balloon-tipped catheter. N Engl J Med 1970;283:447-451

Měření krevního tlaku

- Obecný princip: detekce pulzatility krevního toku
 - Tlaková manžeta omezí/zastaví krevní průtok distálně
 - 3 hodnoty: systolický, diastolický a střední arteriální tlak
- **Oscilometrická metoda**
 - ✓ Mikroprocesorem asistovaná interpretace oscilací v manžetě tonometru
- Velikost manžety má velký vliv na přesnost měření
- **Omezení**
 - Nepřesnost (oblast extrémně vysokých a nízkých hodnot)
 - Intermitentní měření
 - Krevní průtok musí být pulzatilní

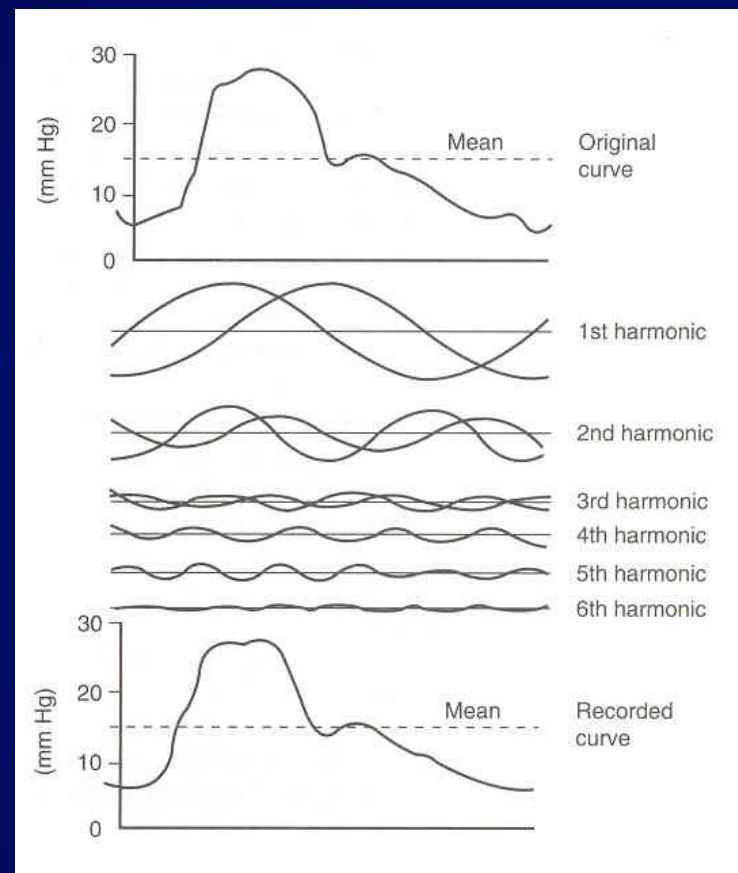
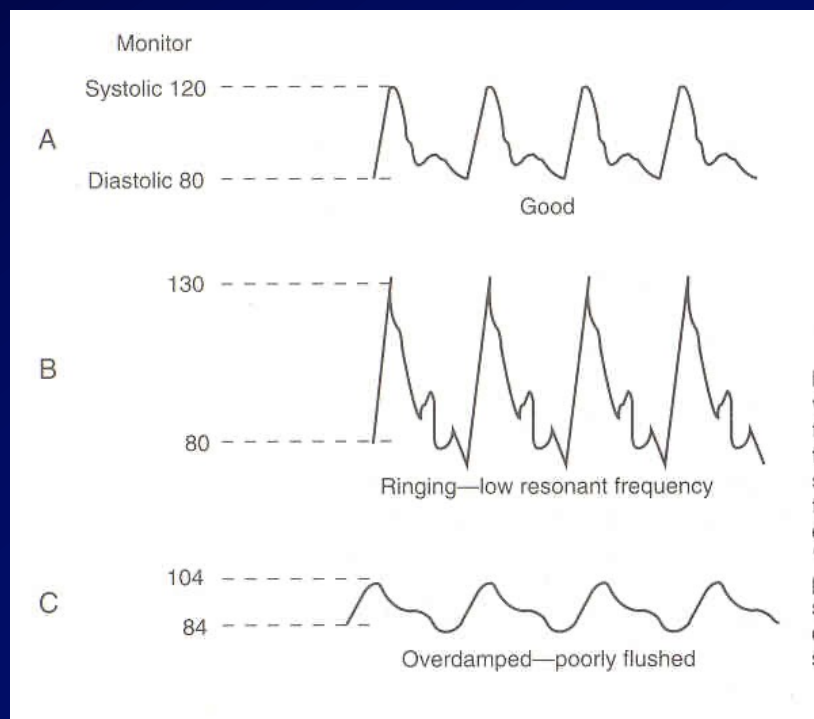
System katetr–snímač pro invazivní měření tlaků

- **Elektromanometr** = zařízení pro přímé měření tlaku
- **Tlakový převodník** = převádí mechanickou energii na elektrický signál
- ✓ Tlakové oscilace jsou přenášeny katetrem (naplněn kapalinou) do komůrky, kde je flexibilní membrána
- ✓ Pohyb membrány je elektricky snímán a převáděn na elektrický signál
- **Nulování (kalibrace):** otevření systému do atmosféry => „nula“
- **Poloha pro monitoraci tlaků:** standardní referenční hladina v úrovni srdce (střed hrudníku; vleže ~ rovina střední axilární čáry)



System katetr–snímač pro invazivní měření tlaků

- **Vznik výsledné křivky (odraz, rezonance)**
- **Vlastnosti systému katetr–snímač**
 - ✓ Průměr katetru; minimální poddajnost článků
 - ✓ Kontinuální proplachování (~ 300 mmHg)
 - ✓ Přítomnost vzduchu => nepřesné hodnoty

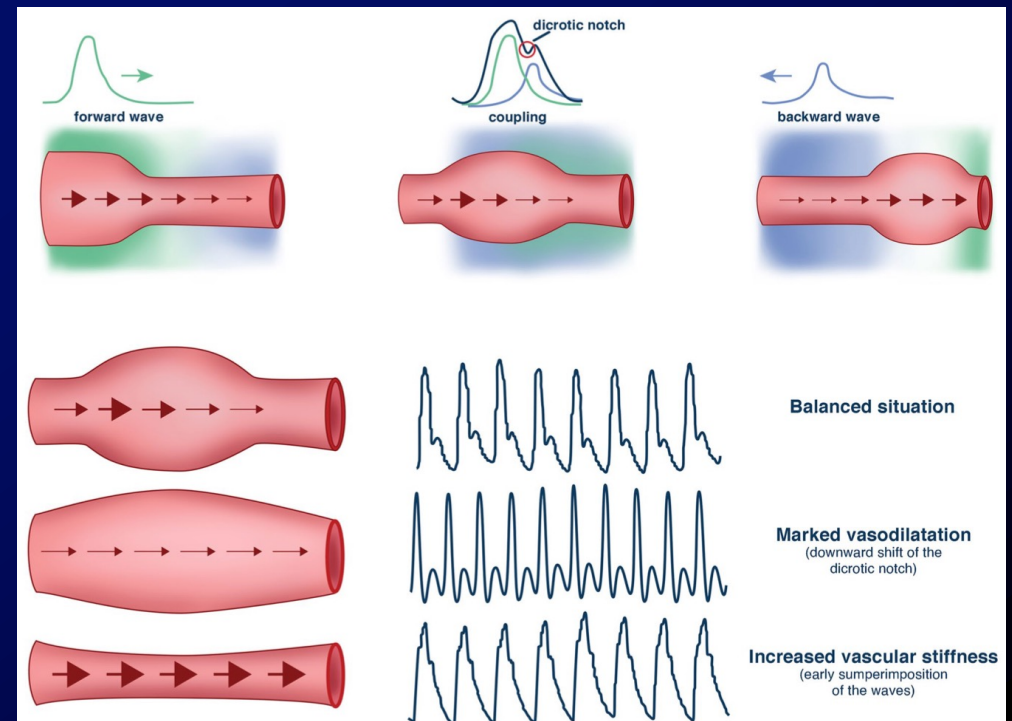
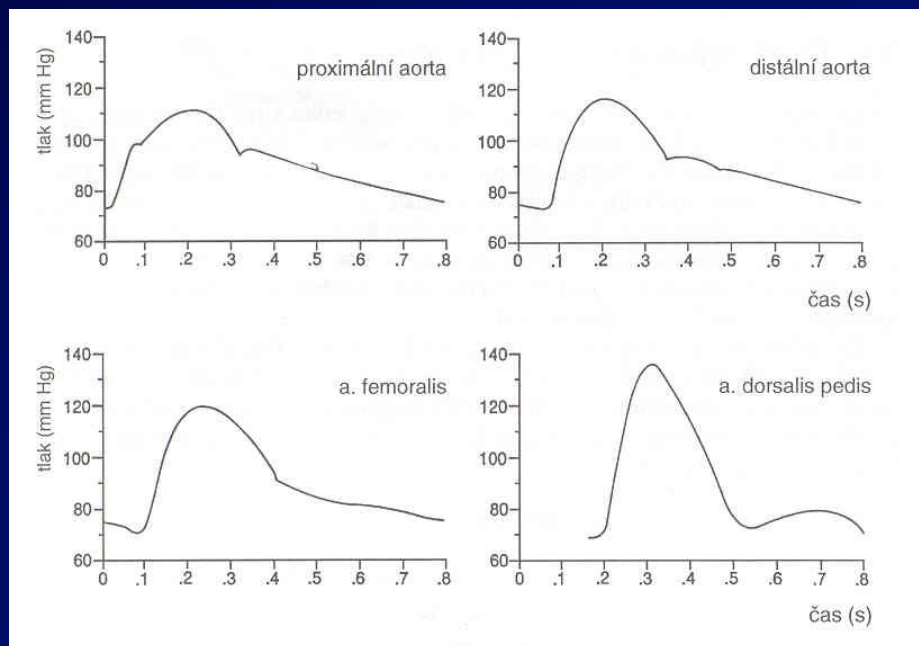


Krevní tlak: invazivní měření

- **Definice:** tlak v arteriálním řečišti mezi Ao chlopní a odporovými arterioly
- ✓ Mění se v průběhu srdečního a dechového cyklu
- „Zlatý standard“ monitorace krevního tlaku
- Tlaková vlna x průtok; $BP = CO \times SVR$ (Ohmův zákon)

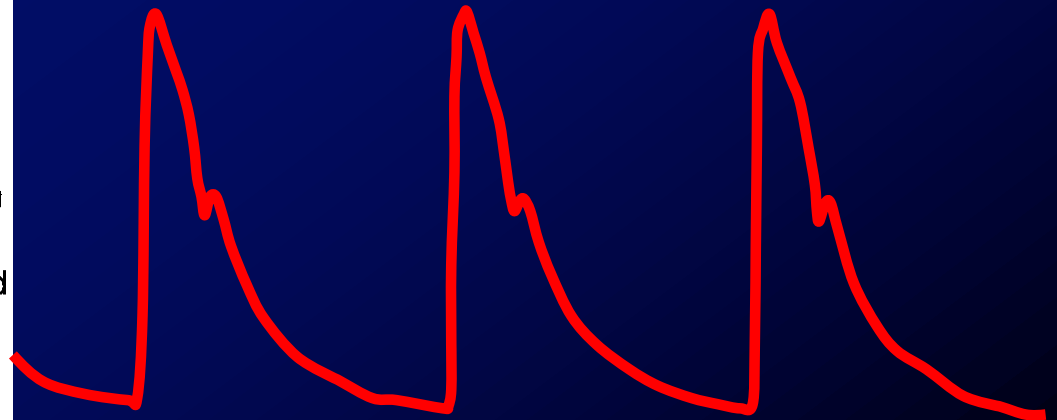
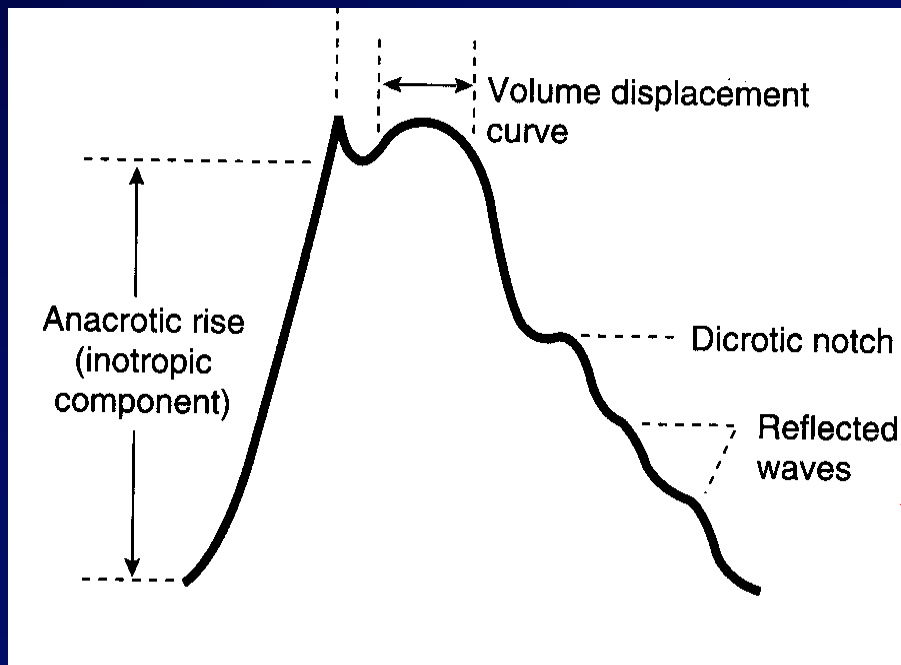
➤ Místo monitorace má vliv na tvar arteriální křivky

Hernandez G et al. ICM 2022;48:1495



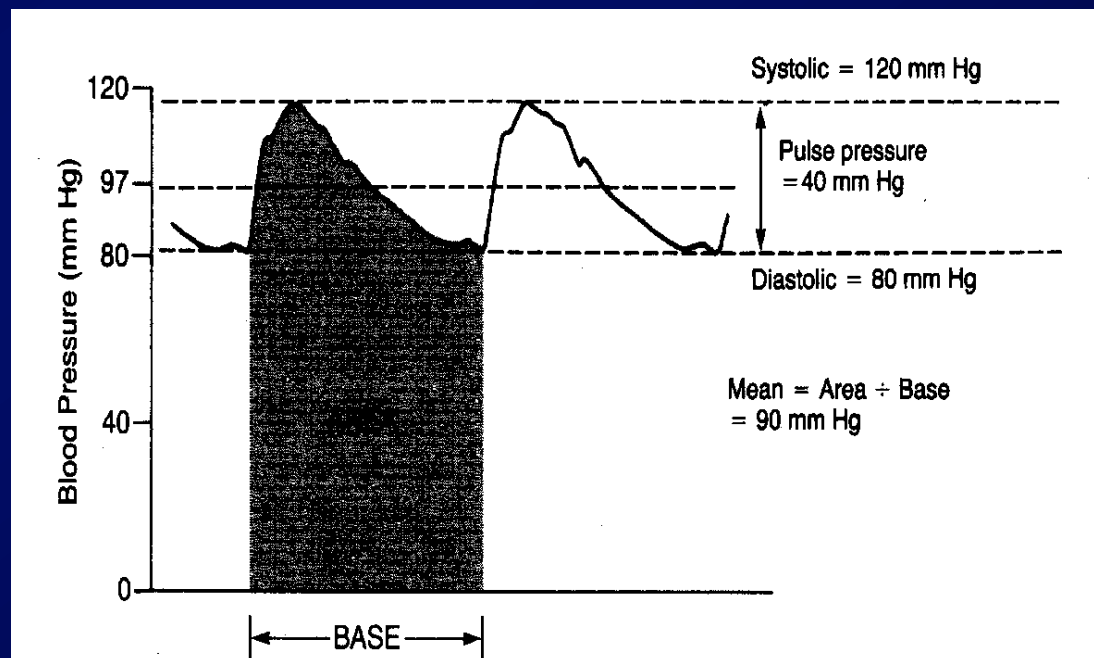
Krevní tlak: invazivní měření

- **Fáze I** – inotropická komponenta: časná systola (po otevření aortální chlopně)
 - **Fáze II** – objemová komponenta: anakrotický zářez (přechod mezi fází I a II)
 - **Fáze III** – komponenta pozdní systoly a diastoly (dikrotický zářez)
- Plocha pod systolickou částí křivky ~ tepový objem
- Výška dikrotického zářezu ~ periferní cévní rezistence



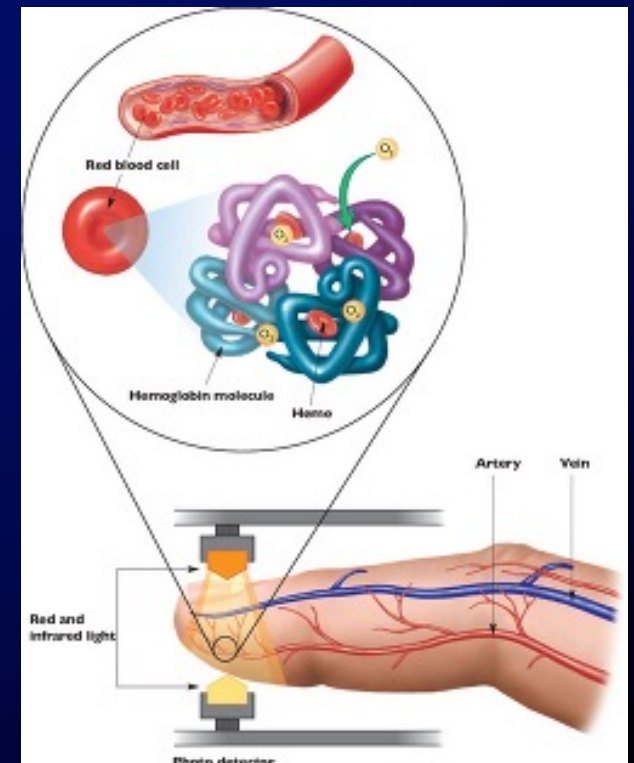
Krevní tlak: invazivní měření

- **Střední arteriální tlak (mean arterial pressure; MAP)**
- Skutečný „driving“ tlak pro periferní krevní průtok
- Nemění se s pohybem tlakové křivky distálně => jeho hodnota je téměř stejná ve všech částech arteriálního řečiště
- Blíží se hodnotě centrálního aortálního tlaku
- Měření elektronicky: integrál plochy pod tlakovou křivkou/délka srdečního cyklu
- Orientační výpočet: $MAP = TK_D + 1/3 (TK_S - TK_D)$



Pulzní oxymetr

- Měří množství hemoglobinu saturovaného O_2 (%)
- ✓ Dvě diody + snímač
- ✓ Snímač se umísťuje na prst (nehtové lůžko) nebo ušní lalůček
- Množství absorbovaného světla (diody) závisí na jeho vlnové délce a poměru oxygenovaného a deoxygenovaného hemoglobinu
- ✓ Absorbce dána tkáněmi, venózní a arteriální krví
- SpO_2 (%)



Důležité aspekty MO

- Nepulzatilní krevní průtok
- ✓ Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta
- **Přerušení mechanické aktivity srdce**
- ✓ **Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti**
- Venting levé komory
- Hemokoagulační systém
- SIRS

Příčná svorka

- **Naložení příčné svorky na ascendentní aortu**
 - Žádný průtok koronárními tepnami
 - Globální ischemie myokardu

- **Ochrana myokardu**
 - **Kardioplegický roztok do koronárních tepen**
 - ✓ Krevní vs. krystaloidní roztok
 - ✓ Vysoká koncentrace kalia (až 20 mmol/l)
 - ✓ Přechodná zástava srdeční činnosti v diastole
 - **Hypotermie**
 - ✓ Ledová tříšť okolo srdce; chladný kardioplegický roztok
 - ✓ Snížení metabolismu (o 8 % na 1 °C)

Příčná svorka

- **Sejmutí příčné svorky z ascendentní aorty**
 - Reperfuze

- **Ischemicko-reperfuzní poškození myokardu**

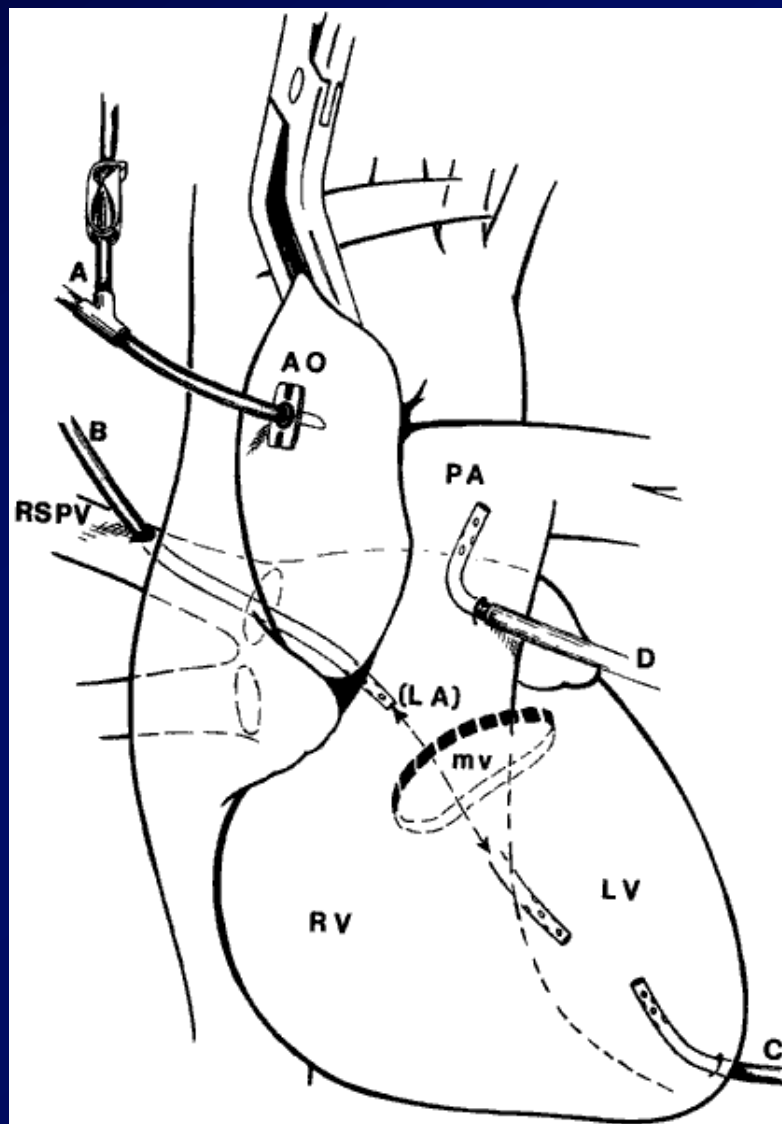
- **Klinické projevy**
 - ✓ Reperfuzní arytmie
 - ✓ Stunned (omráčený) myokard

- **Možnosti terapeutického ovlivnění**
 - Kardiostimulace
 - Inotropika (léky zvyšující kontraktilitu myokardu)

Důležité aspekty MO

- Nepulzatilní krevní průtok
- ✓ Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta
- Přerušení mechanické aktivity srdce
- ✓ Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti
- **Venting levé komory**
- Hemokoagulační systém
- SIRS

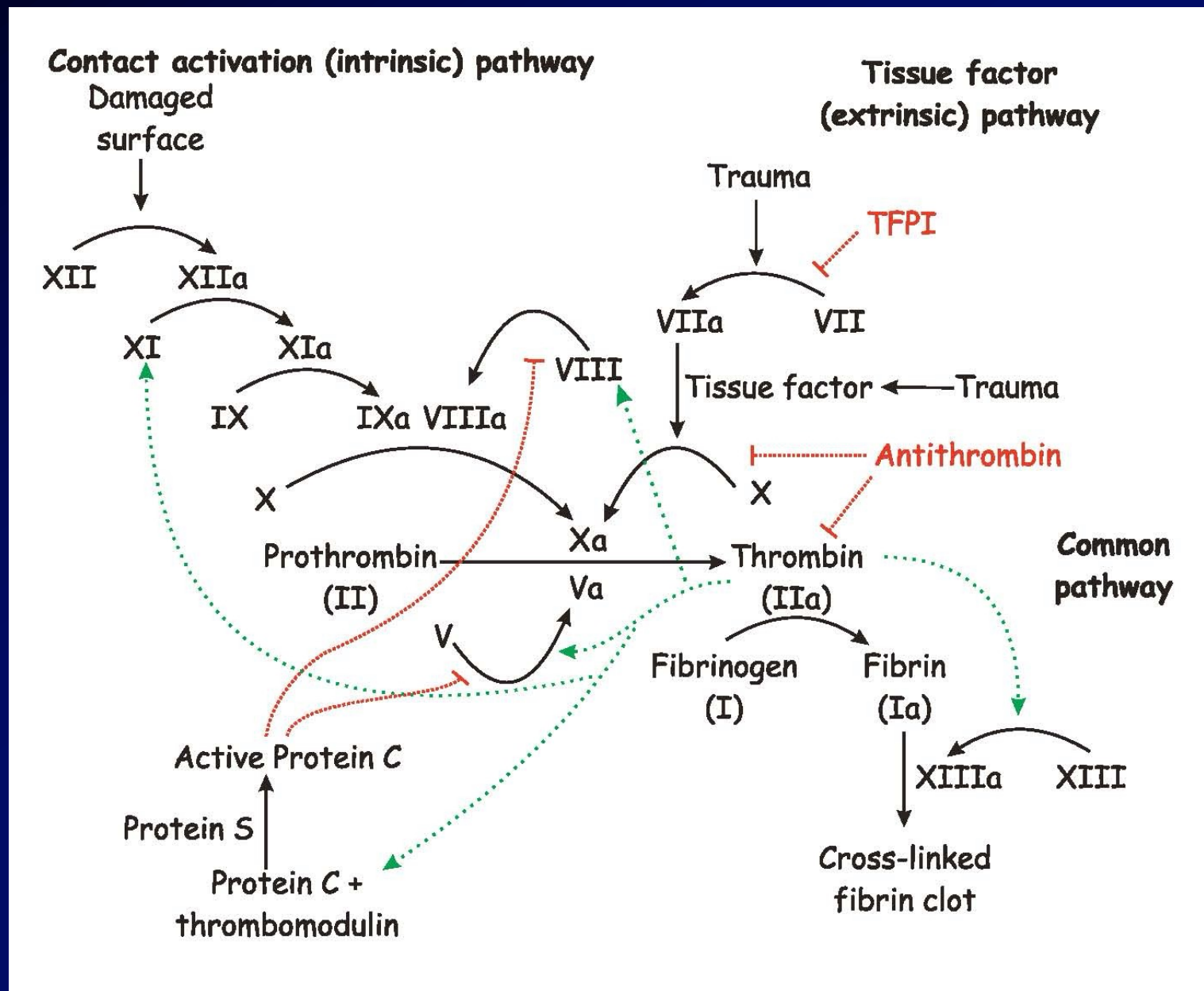
Venting/dekomprese levé komory



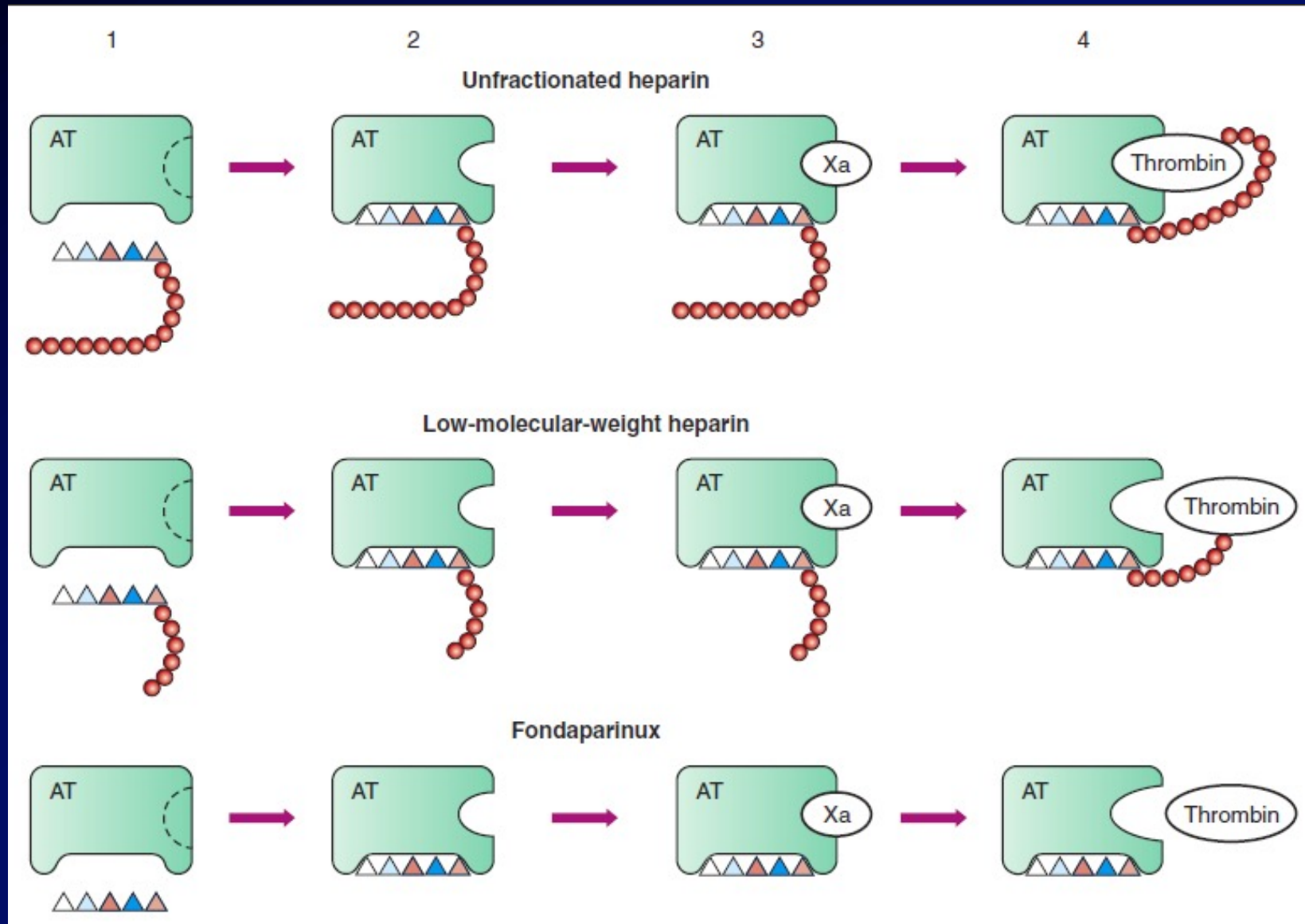
Důležité aspekty MO

- Nepulzatilní krevní průtok
- ✓ Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta
- Přerušení mechanické aktivity srdce
- ✓ Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti
- Venting levé komory
- **Hemokoagulační systém**
- SIRS

Krev mimo cévy (endotel)

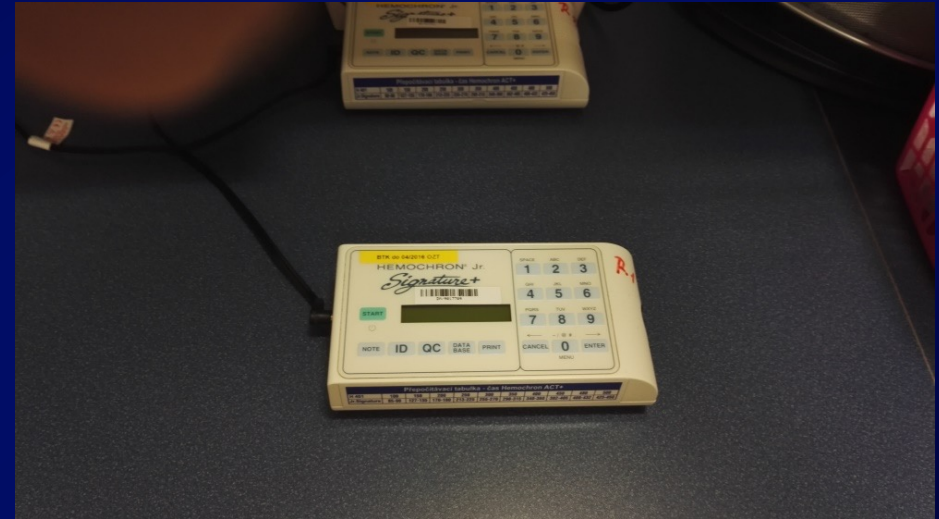


Heparin



Antikoagulace

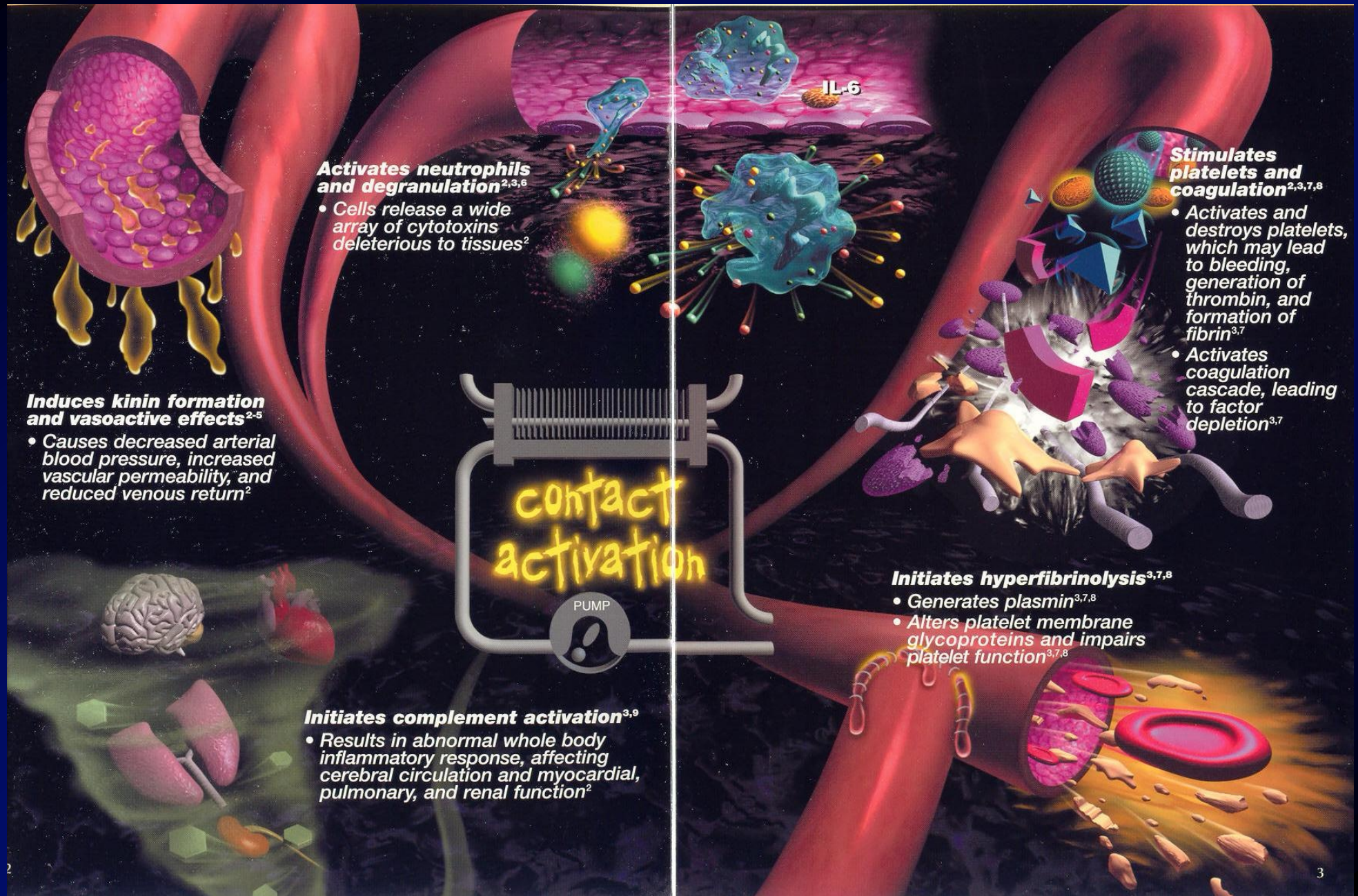
- Antikoagulancia (farmaka bránící koagulaci)
- **Heparin**
 - ✓ Vysoká dávka i.v. (300 IU/kg)
- Účinek kontrolován pomocí testu ACT
- Aktivovaný koagulační čas (ACT)
 - ✓ Normální hodnoty <120 s (závisí na kitu výrobce)
 - ✓ Pro MO je potřeba ACT >480 s
- Antagonizace účinku heparinu protaminem



Důležité aspekty MO

- Nepulzatilní krevní průtok
- ✓ Monitorace (sledování) vitálních funkcí pacienta
- Přerušení mechanické aktivity srdce
- ✓ Zástava elektrické/mechanické srdeční činnosti
- Venting levé komory
- Hemokoagulační systém
- **SIRS**

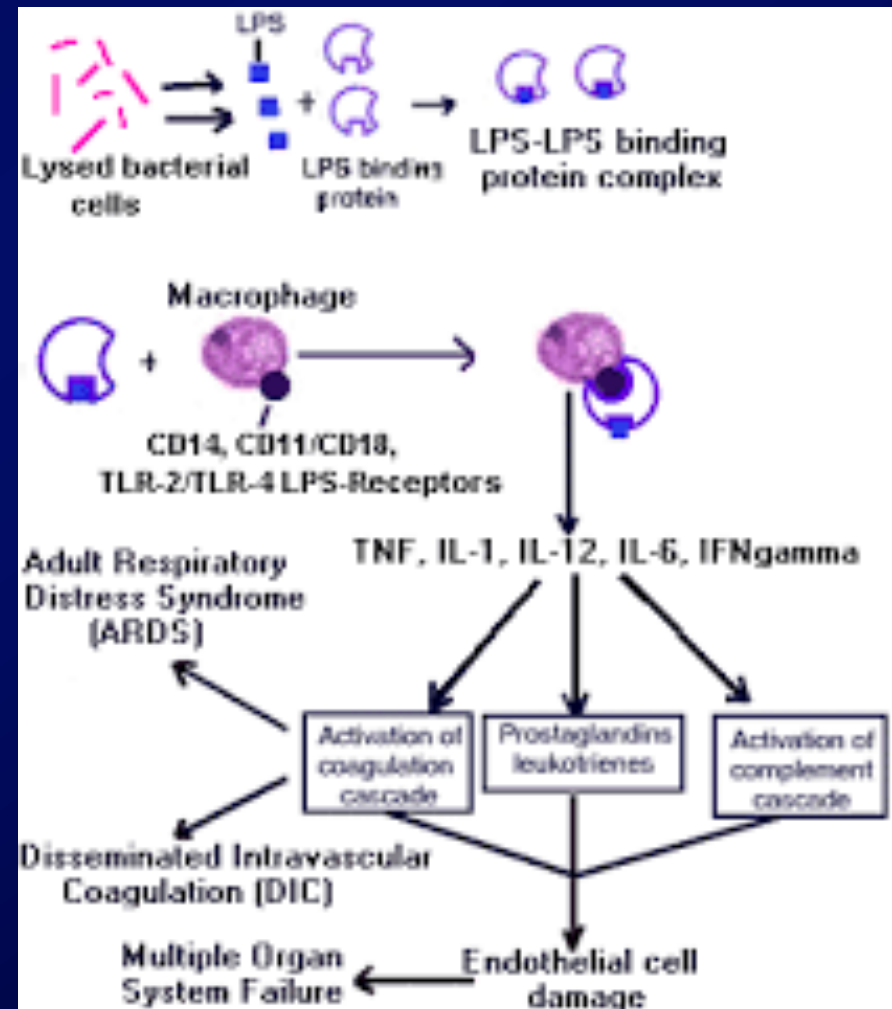
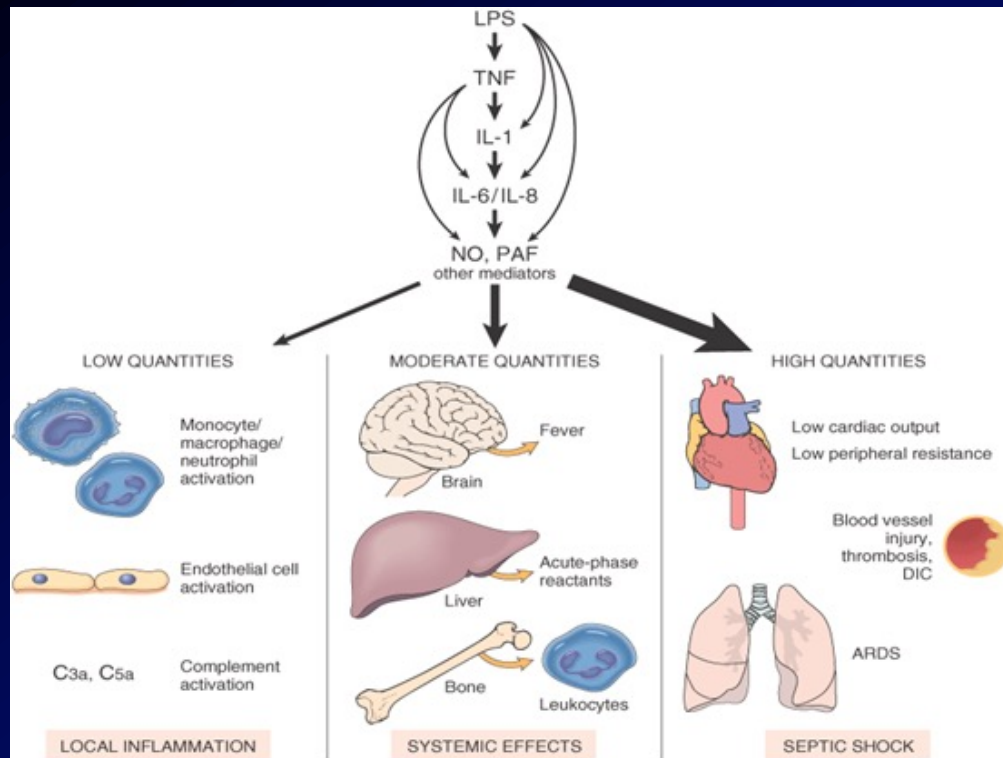
SIRS



SIRS

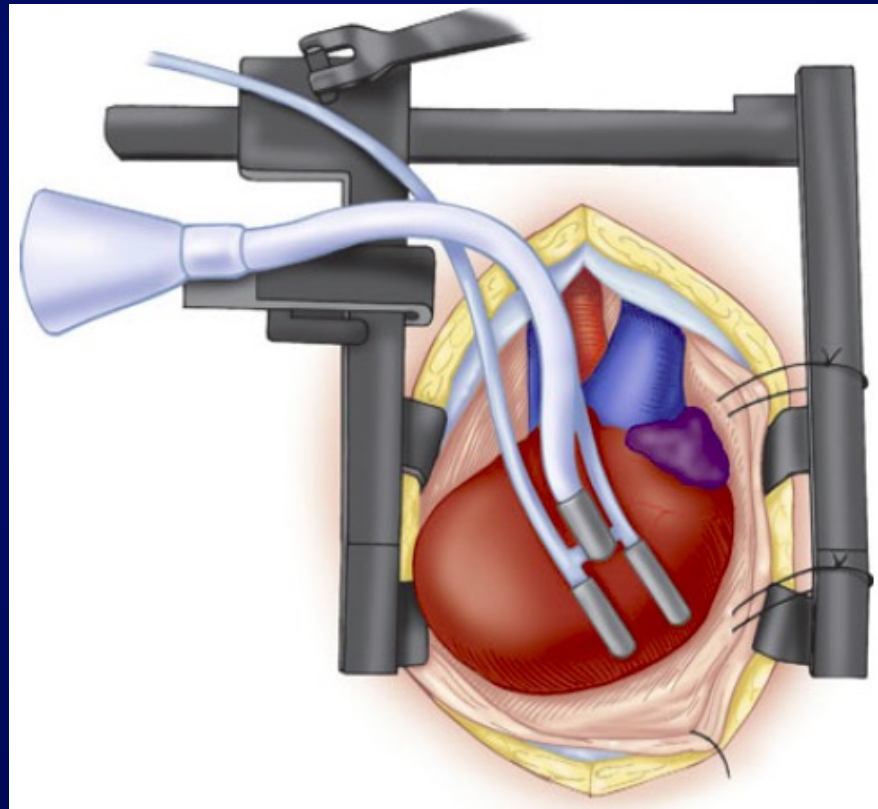
- **Systemic inflammatory response syndrome**
- Intravaskulární inflamace neinfekčního charakteru
 - Prozánětlivé cytokiny (TNF-alfa, IL-6, IL-8, ...)
 - Protizánětlivé cytokiny (IL-10, ...)
- ✓ Zvýšená tělesná teplota
- ✓ Leukocytóza
- ✓ Vysoké hodnoty laboratorních markerů zánětu: CRP, PCT, ...
- Vazoplegický syndrom
 - ✓ Těžká hypotenze s normálním nebo zvýšeným srdečním výdejem

Sepsis vs. SIRS



Off-pump výkony

- Některé kardiologické výkony lze provést i bez MO
 - Tzv. výkony na bijícím srdci
- OPCAB (off-pump coronary artery bypass)



Anesteziologie



Anestezie

- Celková anestezie = vyřazení veškerého cití a ztráta vědomí
- ✓ Plně reverzibilní stav
- ✓ Místní (regionální) anestezie
- ✓ Svodná (okrsková)
- ✓ Infiltrační

Anestetika

- **Celková anestetika**

- ✓ Intravenózní
- ✓ Inhalační

- **Lokální anestetika**

- ✓ Amidy
- ✓ Estery

- **Řada dalších farmak**

- ✓ Opioidy
- ✓ Benzodiazepiny
- ✓ Svalová relaxancia (blokátory neuromuskulárního přenosu)

Anestezie

- **Celková anestezie = vyřazení veškerého cití a ztráta vědomí**
- Vedlejší/nežádoucí účinky anestetika a dalších farmak
- **Monitorace během anestezie (standard dle ASA)**
 - ✓ EKG
 - ✓ Krevní tlak
 - ✓ Pulzní oxymetrie (SpO_2)
 - ✓ Ventilace (UPV: ETCO_2 (end-tidal CO_2), tlak v dýchacích cestách)

Inhalační anestetika

- Moderní inhalační anestetika jako součást celkové anestezie

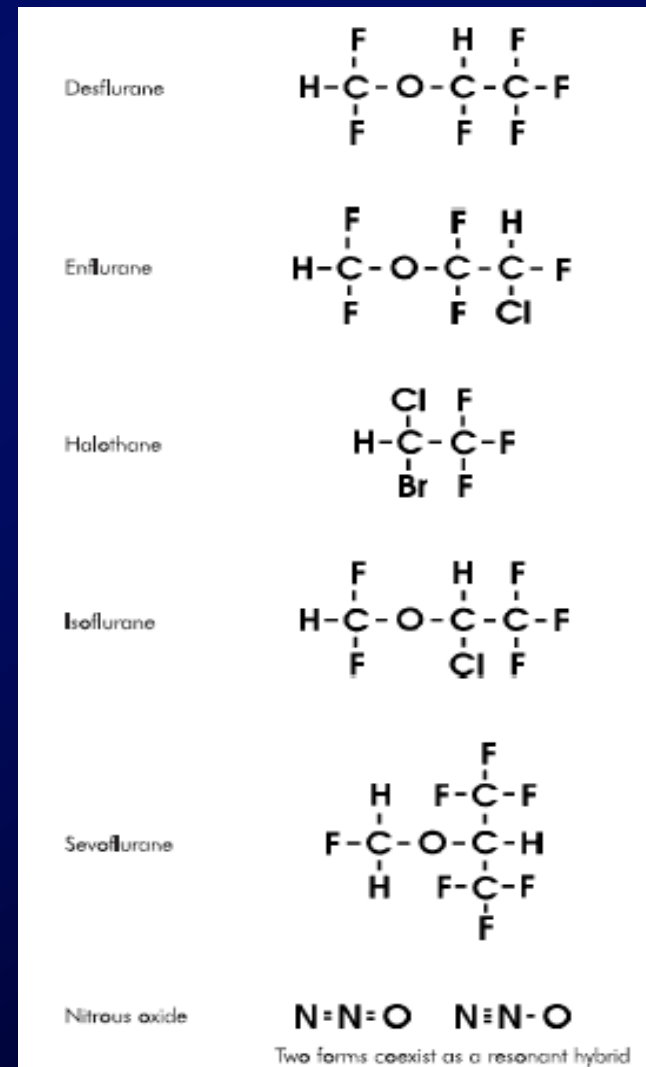
- Xenon

- Páry těkavých kapalin

➤ Halogenované uhlovodíky

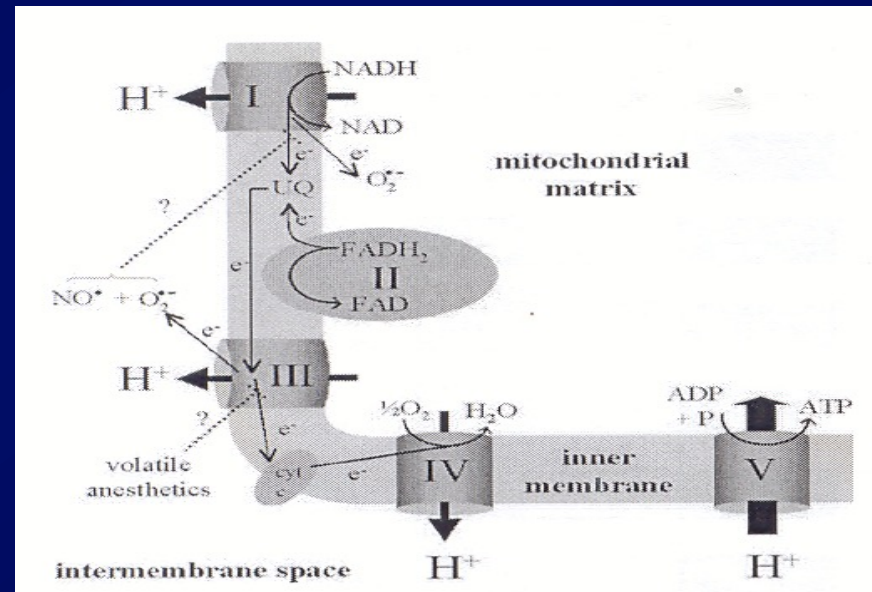
✓ Étery: izofluran, enfluran, sevofluran, desfluran

✓ Alkan: halotan



Mechanismy KV účinků inhalačních anestetik

- Snadný průnik membránami buněk i jednotlivých intracelulárních organel
- Ovlivnění funkce řady iontových kanálů i receptorů
- Inhalační anestetika ovlivňují transport elektronů na membráně mitochondrií

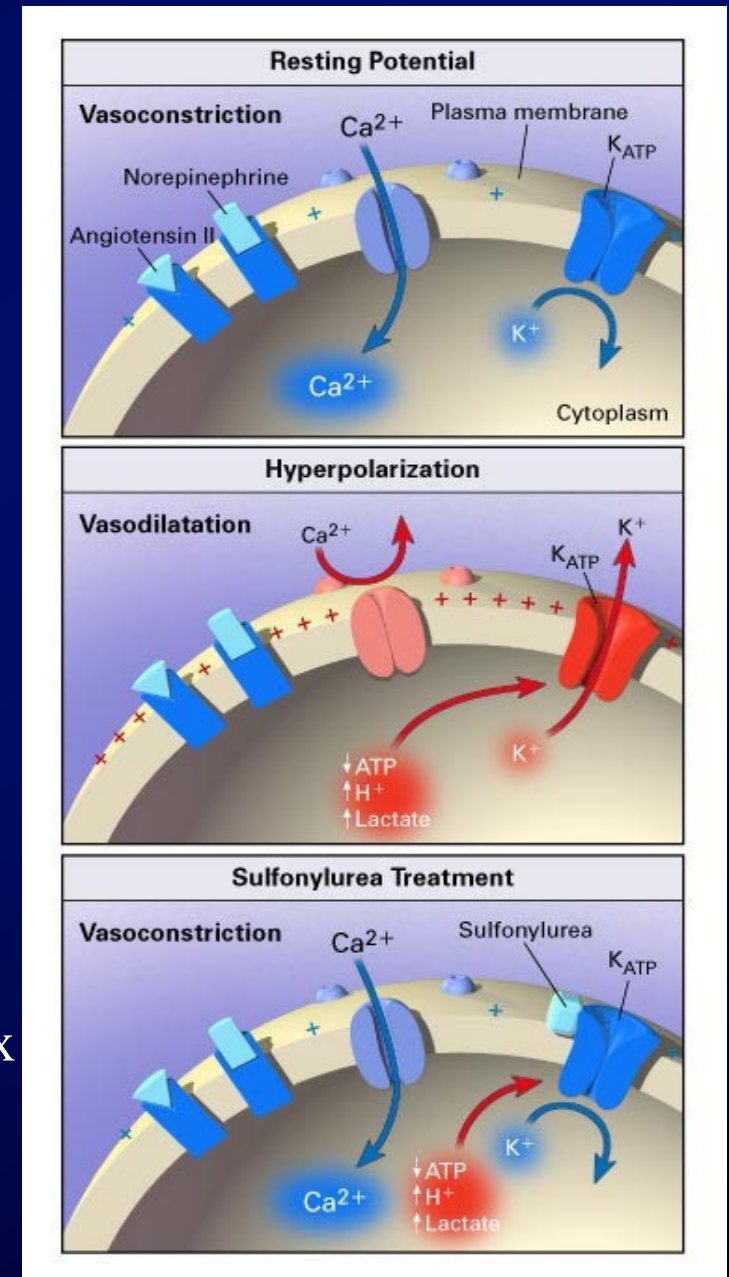


- **Negativně inotropní účinek:** inhibice influxu Ca^{2+} iontů v kardiomyocytech
- **Snížení SVR:** vliv na pohyb Ca^{2+} iontů v buňkách hladké svaloviny cév

Membránový potenciál a regulace cévního tonu

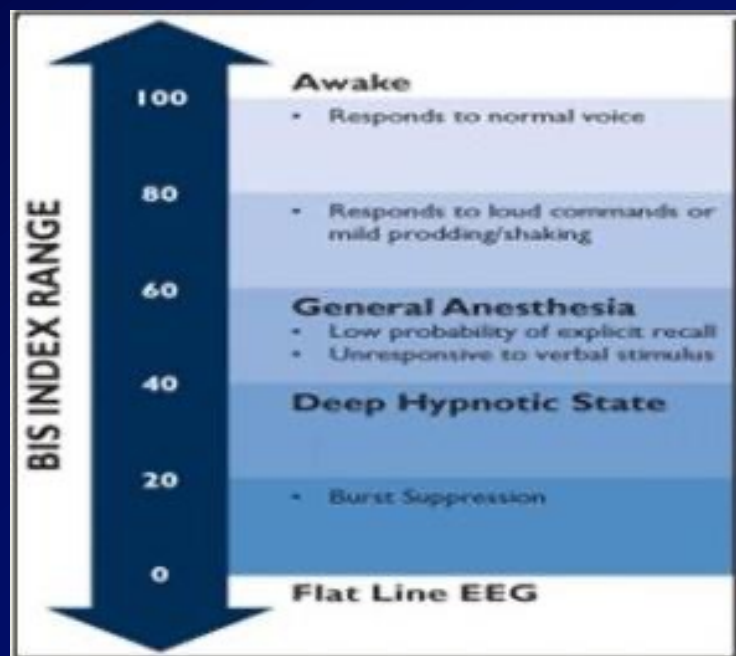
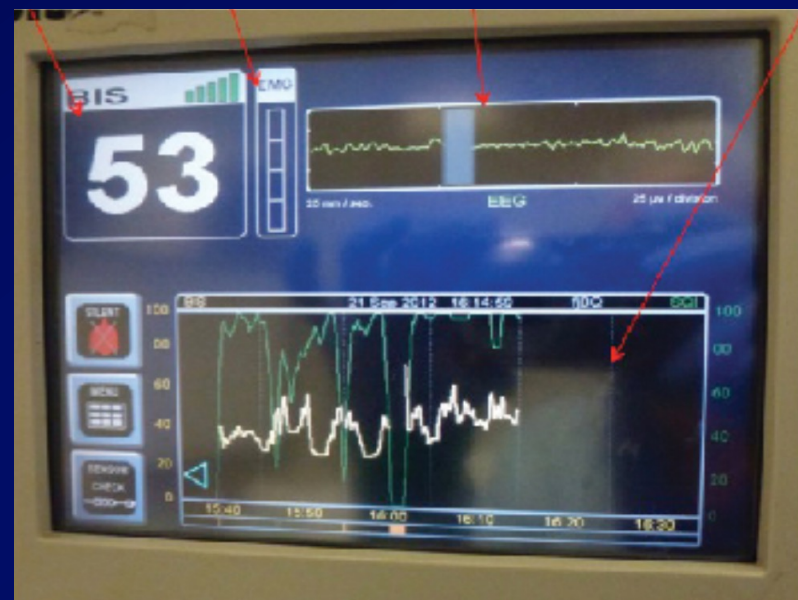
- K^+_{ATP} kanály v plazmatické membráně buňky hladké svaloviny cévní stěny
 - Otevření K^+_{ATP} $\Rightarrow$ eflux K^+ $\Rightarrow$ hyperpolarizace membrány $\Rightarrow$ omezení influxu Ca^{2+} napětím řízenými Ca^{2+} kanály
 - Sulfonylurea blokuje K^+_{ATP} kanály $\Rightarrow$ Ca^{2+} influx $\Rightarrow$ obnovení účinku vazokonstriktorů

Landry DW, Oliver JA. *N Engl J Med* 2001;345:588-95



Monitorace hloubky anestezie

- Procesované EEG
- Bispektrální index
- ✓ Hodnoty 0–100

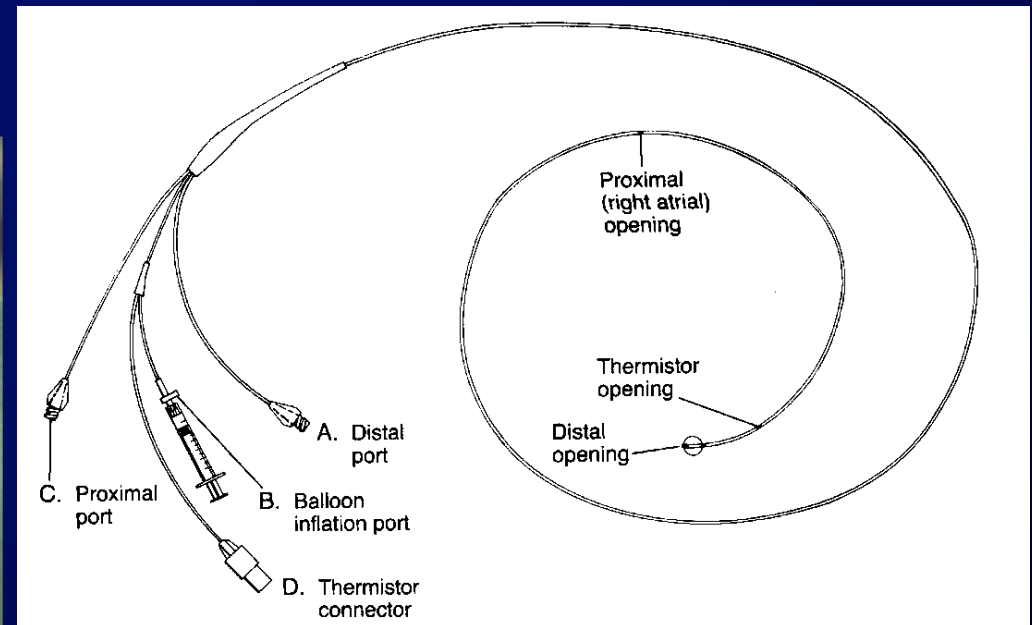
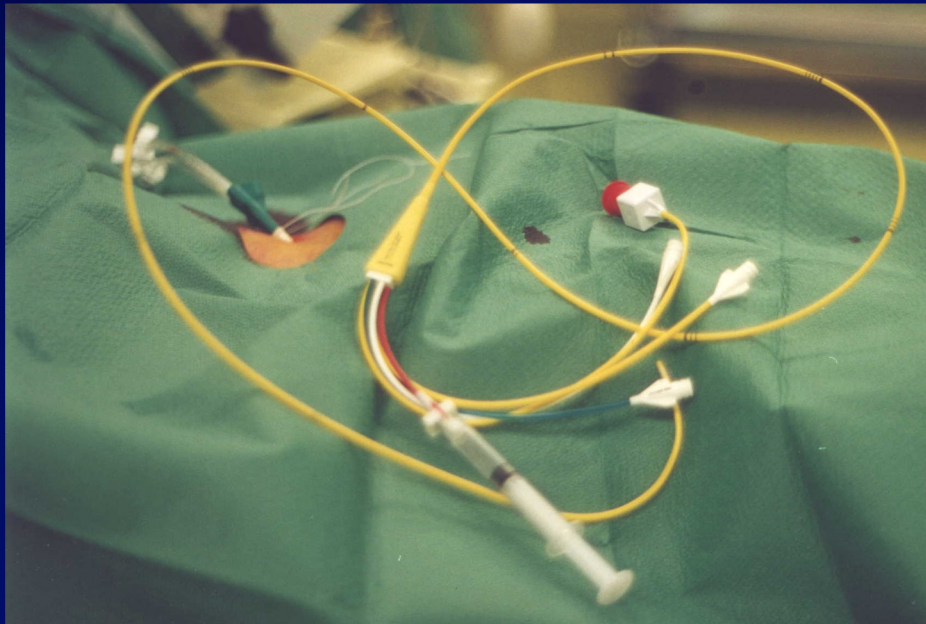


Kardioanestezie

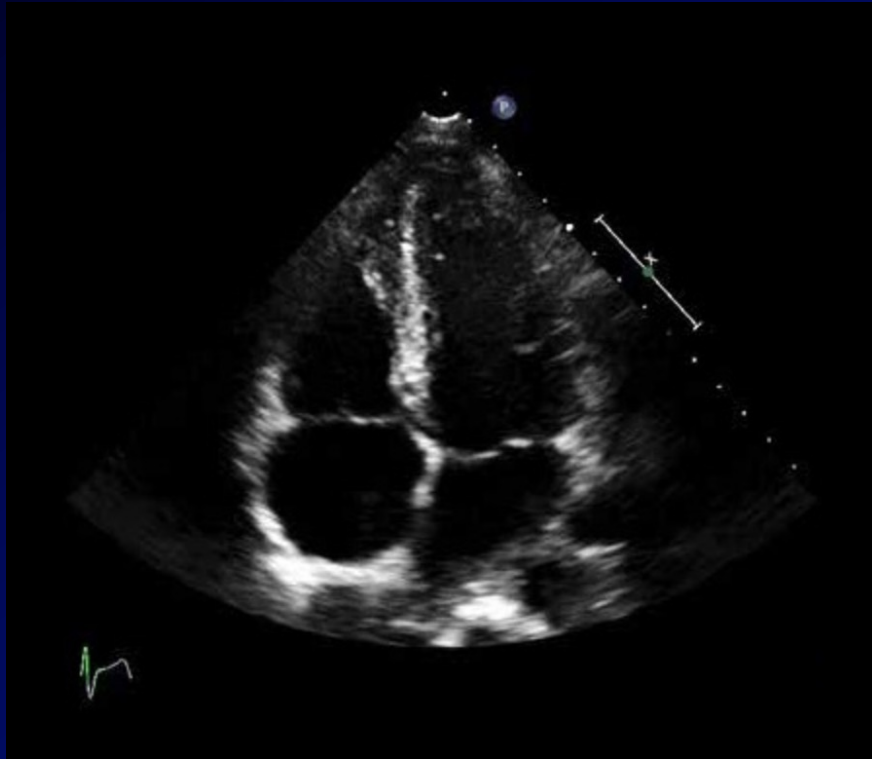


Plicnicový katetr (S-G katetr)

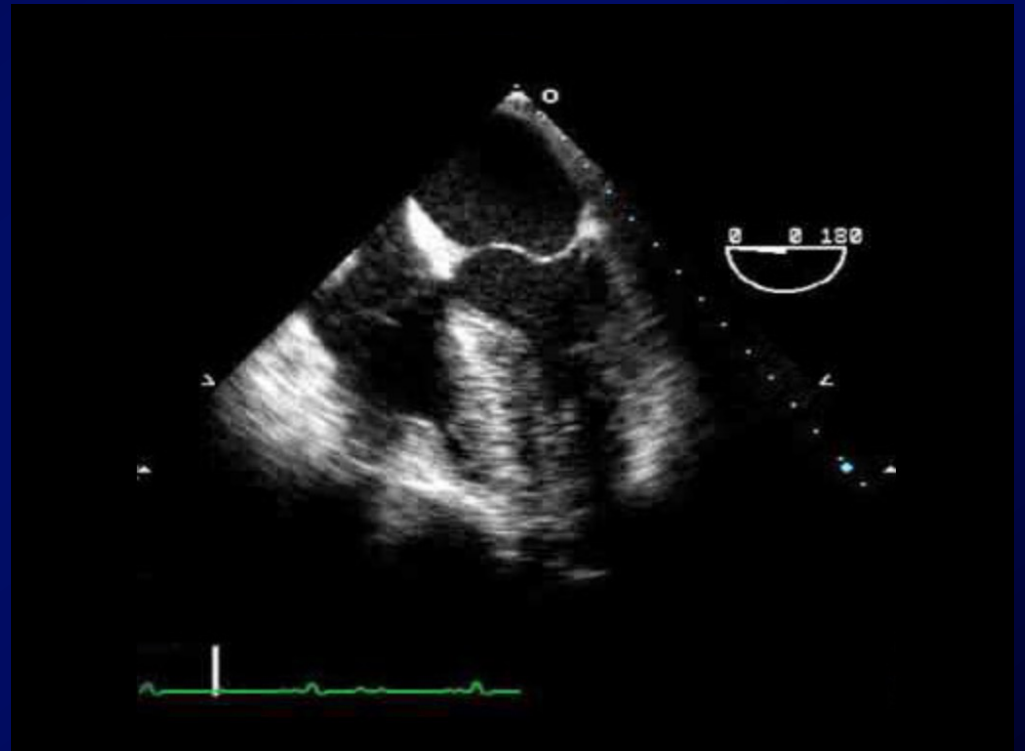
- **PAC** = pulmonary artery catheter; S-G katetr (H. Swan, W. Ganz)
- Délka: 110 cm
- Průměr: 7; 7,5; 8 Fr
- Latexový balonek na konci katetru (obsah 1,5 ml)
- Termistor na distálním konci katetru
- Řada typů: fiberoptické vlákno (S_vO_2), termofilamentum (CCO), port na úrovni pravé komory pro komorovou stimulaci



Echokardiografie

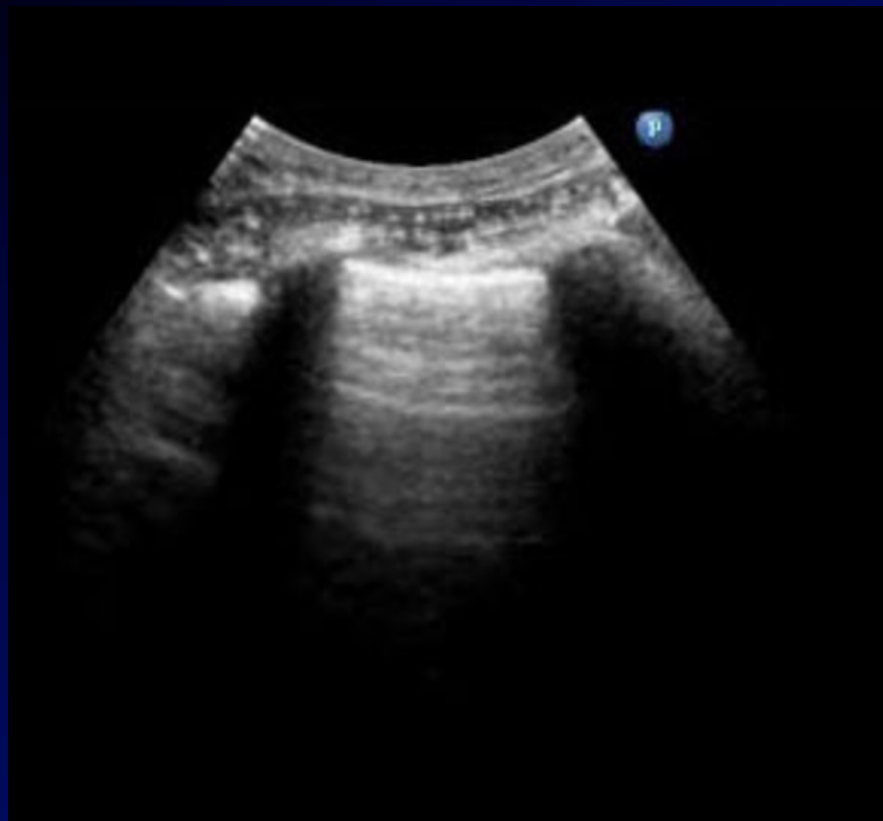


TTE

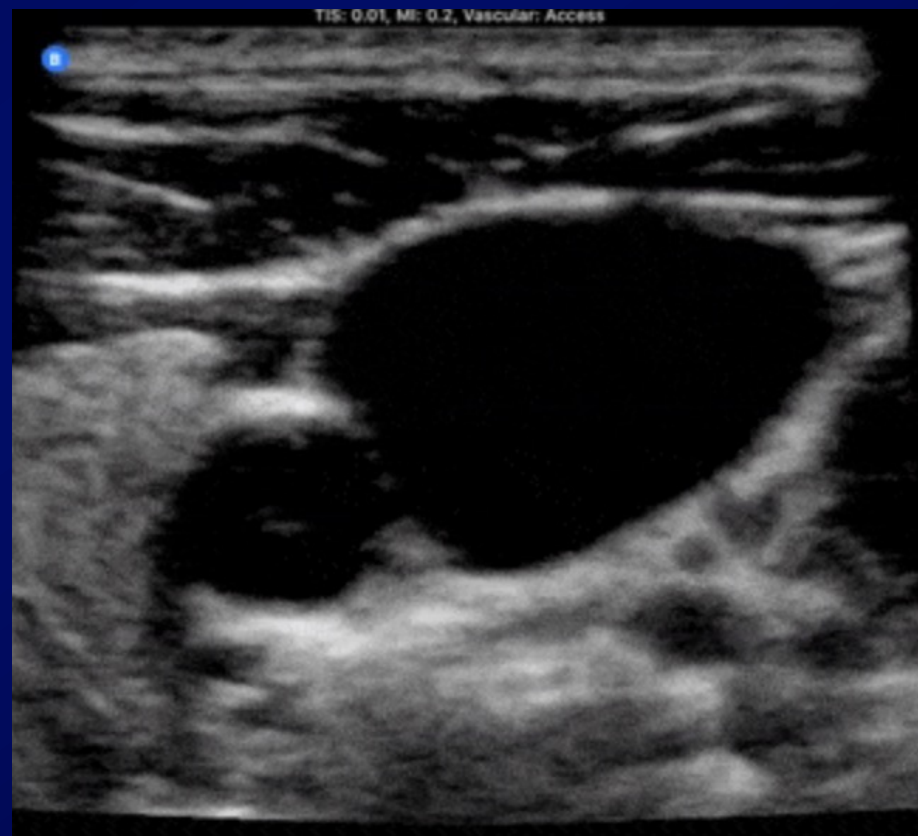


TEE

Ultrazvuk v oboru A+IM



Lung ultrasound (LUS)



Kanylace v. jugularis int. 1.dx.

Závěr

„The heart that loves is always young.“

Greek proverb

- Email
- ✓ hynek.riha@ikem.cz

„Coming together is the beginning;
keeping together is progress;
working together is success.“

Henry Ford

