



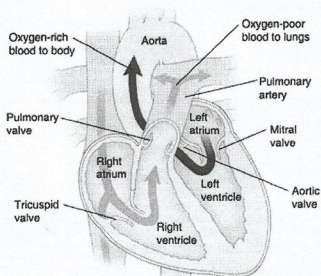
Semmelweis Egyetem
KARDIOLÓGIAI
KÖZPONT

A vérkeringési rendszer mérhető változásai: nyomásmérés, áramlásmérés

Dr. Radovits Tamás, PhD
egyetemi adjunktus

Semmelweis Egyetem, Kardiológiai Központ, Budapest

A szív mechanikus működése



Főbb kardiovaszkuláris változók és az azokat meghatározó paraméterek

$$\bar{P}_A = CO \cdot TPR$$

$$CO = SV \cdot HR$$

$$SV = EDV - ESV$$

$$\text{ejekciós frakció} = SV / EDV$$

$$SV \leftarrow \text{kamrai pumpafunkció} \begin{cases} (+) \uparrow \text{előterhelés (EDV-re kifejtett hatáson keresztül)} \\ (+) \uparrow \text{kontraktilitás (ESV-re kifejtett hatáson keresztül)} \\ (-) \uparrow \text{utóterhelés (ESV-re kifejtett hatáson keresztül)} \end{cases}$$

A szív előterhelése a centrális vénás nyomással (P_{cv}) arányos.

$$P_{cv} \leftarrow \text{centrális vértérőfogat} \begin{cases} (+) \uparrow \text{teljes vértérőfogat} \\ (+) \uparrow \text{perifériás véns tónus} \\ (+) \text{vázizom pumpa} \\ (+) \text{légszíri pumpa} \\ (-) \text{álló helyzet} \\ (-) \uparrow \text{peritérőfogat} \\ (-) \text{pirvri kontrakció} \end{cases}$$

$$\text{véns tónus} \leftarrow \begin{cases} (+) \uparrow \text{szimpatikus aktivitás (NA, } \alpha\text{-receptorokon keresztül)} \end{cases}$$

\bar{P}_A : (artériás) átlagos nyomás

CO: cardiac output - perctérőfogat

TPR: teljes perifériás ellenállás

SV: verőterőfogat (stroke volume)

HR: szívfrekvencia (beats rate)

EDV: végdiastolés térőfogat

ESV: végzsztolés térőfogat

$$\text{kontraktilitás} \leftarrow \text{kamrai sejték} \begin{cases} (+) \uparrow \text{szimpatikus aktivitás (NA, } \beta\text{-receptorokon keresztül)} \end{cases}$$

A szív utóterhelése az artériás középnyomással (\bar{P}_A) arányos.

$$HR \leftarrow \text{sinuscsomó sejtjeinek} \begin{cases} (+) \uparrow \text{szimpatikus aktivitás (NA, } \beta\text{-receptorokon keresztül)} \\ (-) \uparrow \text{paraszimpatikus aktivitás (ACh)} \end{cases}$$

$$TPR \leftarrow \text{artériás tónus} \begin{cases} (+) \uparrow \text{szimpatikus aktivitás (NA, } \alpha\text{-receptorokon keresztül)} \\ (-) \uparrow \text{helyi metabolitok (} \uparrow \text{ helyi metabolizmus sebessége)} \end{cases}$$

$$P_P \sim SV/C_A$$

$$C_A \leftarrow \text{nagyartériák elasticitása} \begin{cases} (-) \uparrow \text{életkor} \quad C_A = dV/dP \end{cases}$$

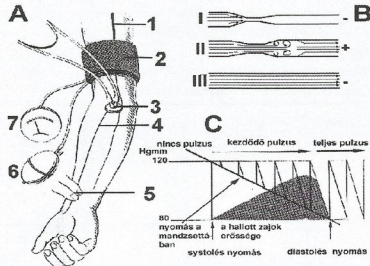
\bar{P}_A : középnyomás; CO: perctérőfogat; TPR: teljes perifériás ellenállás; SV: verőterőfogat; HR: szívfrekvencia; EDV: végdiastolés térőfogat; ESV: végzsztolés térőfogat; P_{cv} : centrális véns nyomás; NA: noradrenalin; ACh: acetilolin; P_P : artériás pulzusnyomás; C_A : artériás compliance; - az arányosság jele

* artériás utóterhelés-rendszer (impedancia - kapacitancia)

a kamra és az artériák összekapcsoló faktora (szisztolés nyomás: fal feszülés - kamratérőfogat*, szisztolés áramlás: verőterőfogat, szívfrekvencia, verőterőfogat; inercia)

* falvastagság, relaxáció, kamrai geometria, restriányok

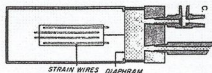
Noninvazív vérnyomásmérés Riva Rocci szerint (RR) :



A: Vérnyomásmérés. 1. a. brachialis, 2. gumimandzsetta, 3. sztetoszkóp, 4. a. radialis, 5. a radialis tapintása, 6. gumihallon, 7. manométer
 B: Éreresztémszétel-változások vérnyomásméréskor. I. teljes kompresszió, II. szisztolés nyomásértékét, III. diasztolés nyomásértékét
 C: Nyomásváltozások és hangjelenségek vérnyomásmérés alatt.

Invazív, katéteres nyomásmérés: elektromanométer

Strain gauge típusú (pl. Statham-Gould):
 merev hordozón rögzített vezető deformációra (megnyúlásra) való ellenállásváltozása
 nyomáshullám (folyadékkal töltött katéteren át) ⇒ elasztikus membrán ⇒ nyúlásmérő bélyeg



$$dR/R = (1+2\mu) dL/L + d\rho/\rho,$$

R: ellenállás, L: a vezető hossza,
 ρ: fajlagos ellenállás, μ: Poisson állandó

Piezoelektromos nyomás mérőfejek
 (nyomáshullám - kristály deformáció -
 feszültség generálás)
 „membrane-tip” katéterek (pl. Millar):
 mechanikus áttétel (folyadék) nélkül
 - nagy pontosság, kis sérülékenység



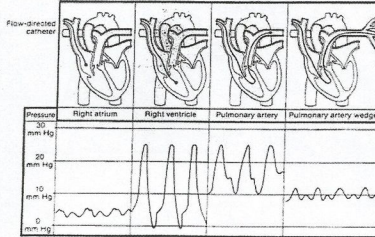
bis venákból lehet mérni vele a nagy vénák vénnyomását
pulmonális kapilláris elzárókat mér a bal pitvar vénnyomása



bal kamra
töltődésére
lehetővé teszi a
katétert

Invaszív nyomásmérés, art. pulmonális nyomás, ékvomás

- A. pulmonalis katéter (Swan-Ganz katéter)
 - PCWP (pulmonary capillary wedge pressure)/PAOP (pulmonary arterial occlusion pressure)
 - BK-i előterhelés (LVEDP) megbecsülésére
 - Állatkísérletekben BK katéterezés egyszerűbb!



bal kamra
előterhelésének
vizsgálatára
megfelelő param-
éterek keresése

← alacsony
nyomás

véna elzáródás
a jobb pitvarban
gittünk, jobb
kamra, artéria
pulmonalis, tüdő,

1 tüdő artériára
elzáródás →
nyomás hiányzik, de a bal
pitvarban, ezt mérjük

jobb szívkatét
meg kell
jóvágyani!

Invaszív nyomásmérés

nulla pont: mellkas harmadpontjának szintje / katéter vége

Jellemző értékek (S: szisztole, D: diasztole):

jobb pitvar 0-8 Hgmm, jobb kamra S: 15-30 Hgmm, D: 0-8 Hgmm

a. pulmonalis S: 15-30 Hgmm, D: 5-15 Hgmm,

pulmonalis kapilláris (wedge) nyomás = bal pitvari nyomás: 5-14 Hgmm

bal kamra S: 90-140 Hgmm, D: 4-12 Hgmm,

aorta S: 90-140 Hgmm, D: 60-90 Hgmm

Intravaszkuláris és intrakavitális nyomásvizonyok, nyomásdifferenciák:

szűkület (érlumen, billentyű rés)

billentyű zárási elégtelenség, regurgitáció

vértáplálás: $\frac{\text{relatív mennyiség (cal)}}{\text{időegység (perc)}}$

RÉGI MÓDSZER — már nem használják

Invaszív áramlásmérés: elektromágneses technika

Elv: mágneses térben mozgó vezető feszültséget (EME) indukál melynek iránya a mágneses erővonalakra merőleges

Lorentz-törvény

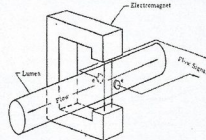
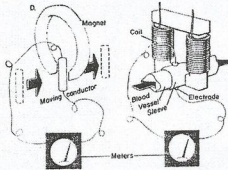
Elektromágneses áramlásmérők:

miniatűr elektromágnes egy mandzetta alakú fejben
a pólusokra merőleges érzékelőkkel
mozgó vezető: vér (ionok)

$$\text{EME} = (B \times V) \times 10^9 / L$$

(B mágneses térerő, L átmérő,
V áramlási sebesség)

sebesség profil - függő, érátmérő függő
kontaktus minőségétől függő



érármában kéne' helyett tenne a tekercset

mozgó' közeggel
merőleges az UH

szelvények
váltásait
mérjük

2 áramlási
mérés az UH -
hullám

MAI MÓDSZER

Invaszív áramlásmérés: transit-time ultrahangos technika

Elv: Mozgó közegen áthaladó ellenirányú UH hullámok áthaladási idejének (transit time) összege a volumen áramlással arányos

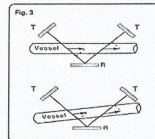
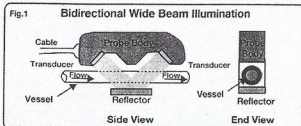
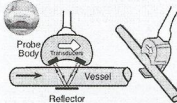
Két transducer: elektromos impulzusra UH kibocsátás és érzékelés

"downstream" ciklus: T1 - UH tranzit idő az áramlástól függően csökken

"upstream" ciklus: T2 - UH tranzit idő az áramlástól függően nő

T2 - T1 = teljes tranzit idő - volumen áramlással arányos

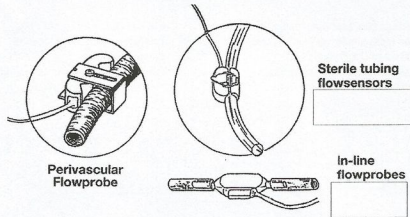
- tranzit időt a teljes átmérőben mérve: sebesség profilról - érátmérőtől független
- a tranzit időt módosító áramlás-vektorok összegét véve - áthaladási szögétől független



perivascularis = és hőre kell helyezni
 inline = el kell vágni az erőt → állatműveletekhez

2016.09.12.

Ultraszagos áramlásmérő-fej típusok



VIZSOALÉRDÉS!

Vaszkuláris és kardiális szűkületek fokának jellemzése:

Volumenáramlás (érben, szívüregben): cm^3/sec vagy $\frac{\text{ml}}{\text{perc}}$
 áramlási keresztmetszet: cm^2 ↓
 ⇒ lineáris áramlási sebesség: cm/sec ↑

Bernoulli elv:

az energiamegmaradás törvénye hidrodinamikai megfogalmazása

összenyomhatatlan folyadékokra:

Bernoulli törvény

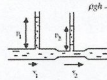
$$P + (1/2)\rho v^2 + \rho gh = \text{konstans}$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstans}$$

potenciális nyomás:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 \text{ dinamikus nyomás}$$

ρgh hidrosztatikai nyomás



erő a műkület

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

P: laterális nyomás, ρ : a folyadék (vér) sűrűsége,
 v: áramlási sebesség, g: gravitációs állandó, h: a folyadékoszlop magassága

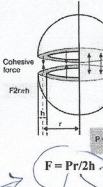
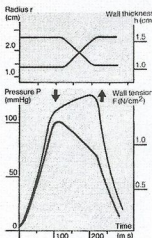
(Aneurysma esetén: áramlás ↓, nyomás ↑, tárgyat fokozódik!)

↑
 látásgátló

↑
 pangás
 véralvadás
 veszély

↓
 elcsúszás és!

A kamrai működés (kontrakció) fizikai-geometria paramétere: a Laplace törvény



$$F = Pr/2h$$

- r mérsékelt növekedése:**
- izomrost megnyúlás
 - kontrakció ereje nő (Frank-Starling effektus) → *erősebb kontrakció, ha megnagyulik a szív*
 - fal feszülés növekedés
 - energia igény mérsékelt növekedés (fokozott kamrateljesítmény)

- r erőteljes növekedése:**
- izomrost túlzott megnyúlás
 - kontrakció ereje csökken
 - fal feszülés túlzott növekedése
 - energia igény kiugró növekedése (teljesen kamraműködés)

- h csökkenése:**
- patológiás elvékonyodás, szív aneurizma
 - fal feszülés nő (lokális), ruptúra veszély

h növekedése:

- kamrai hipertófia
- fokozott kamrateljesítmény
- fokozott ellenállással szembeni munka
- fal feszülés csökkenése

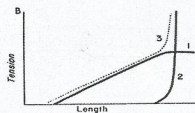
Laplace összefüggés az érrendszerben

Fő determinánsok: az érfalra ható nyomás (transzmurális nyomás) és az ér átmérője jelentősége:

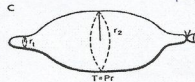
- az aorta és a kapilláris erek „nyomás-toleranciája”
- kitágult artéria szakaszok (ér aneurizmák) nagy fal feszülése, ruptúra veszély

a Laplace törvény módosulása: az érfal viskoelasztikus sajátosságainak szerepe

- az összefüggés nem lineáris *de*
- adott átmérő mellett a nyomás növelése az egységnyiért nagyobb feszülés növekedést idéz elő
- a nyomás csökkentésével a fal feszülés erőteljesebben csökken: az ér pozitív transzmurális nyomásérték mellett záródik (kritikus záródási nyomás) → *felismerés riasztás hipoperfúzió*



1 - elastikus rost, 2 - kollagén rost, 3 - együttes



Szűkíllentéjűkiből → azt nem kell tudni!

