

# A VÉRKERINGÉS ÉS SZÍVMŰKÖDÉS BIOFIZIKÁJA

KELLERMAYER MIKLÓS

## AZ ÉRRENDSZER

### A. Feladata:

Sejtek környezeti állandóságának biztosítása

Transzport:

Gázok

Metabolitok

Hormonok, jelátvivő anyagok

Immunglobulinok

Hő

### B. Áramlástan igények:

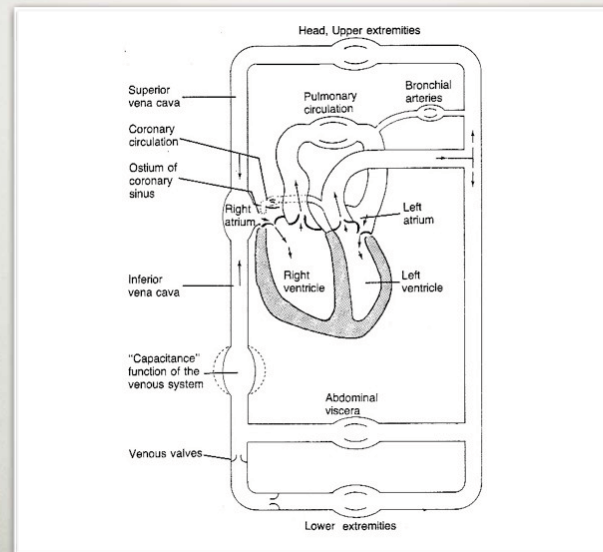
Lassú

Egyenletes

Egyirányú

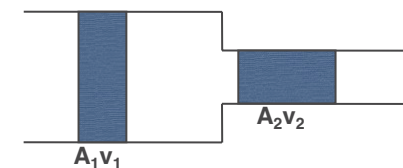
### C. Az érrendszer zárt, önmagába visszatérő csőrendszer

## Az érrendszer zárt, önmagába visszatérő csőrendszer



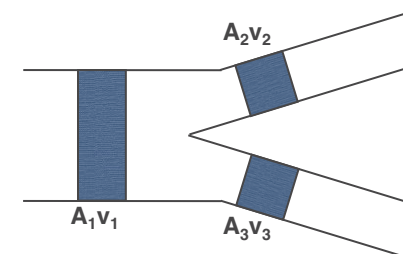
## Folyadékáramlás csőrendszerben

### Kontinuitási egyenlet – emlékeztető



$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{konst}$$

A = keresztmetszet  
v = áramlási sebesség



$$A_1 v_1 = A_2 v_2 + A_3 v_3 = \text{konst}$$

$A_\Sigma$  = összkétszmet

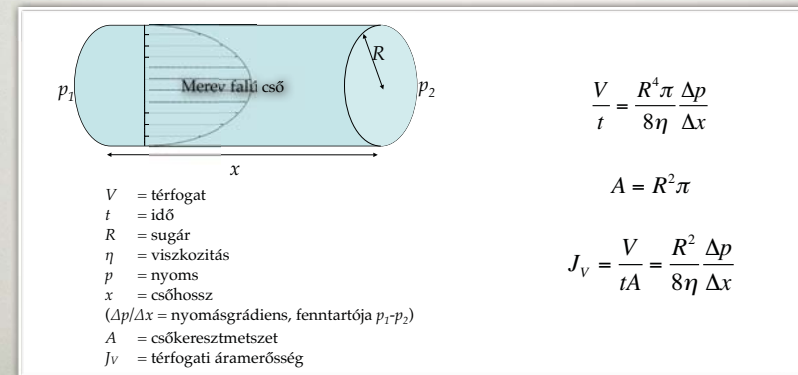
# TERMODINAMIKAI ÁRAMOK

- A természeti folyamatok ritkán reverzibilisek.
- Ha a rendszer különböző pontjain különbségek vannak az intenzív mennyiségekben, áramok (termodinamikai áramok) lépnek fel.
- A termodinamikai áramok az egyensúly helyreállítására irányulnak.

| Termodinamikai áram  | Áramot fenntartó intenzív mennyiség-különbség | Áramsűrűség  | Törvény          |
|----------------------|---|--|------------------|
| Hőáram               | Hőmérséklet ( $T$ )                           | $J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$           | Fourier          |
| Térfogati áram       | Nyomás ( $p$ )                                | $J_V = -\frac{R^2 \Delta p}{8\eta \Delta x}$         | Hagen-Poiseuille |
| Elektromos áram      | Elektromos potenciál ( $\phi$ )               | $J_Q = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta \phi}{\Delta x}$ | Ohm              |
| Anyagáram (diffúzió) | Kémiai potenciál ( $\mu$ )                    | $J_n = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$                 | Fick             |

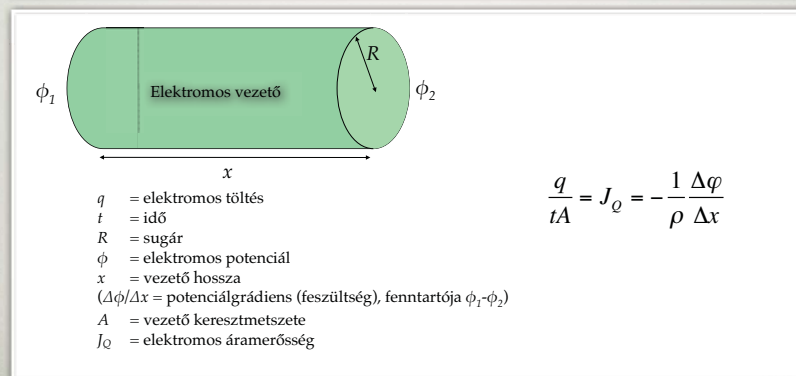
# TÉRFOGATI ÁRAM

| Termodinamikai áram | Áramot fenntartó intenzív mennyiség-különbség | Áramsűrűség                                  | Törvény          |
|---------------------|---|--|------------------|
| Térfogati áram      | Nyomás ( $p$ )                                | $J_V = -\frac{R^2 \Delta p}{8\eta \Delta x}$ | Hagen-Poiseuille |

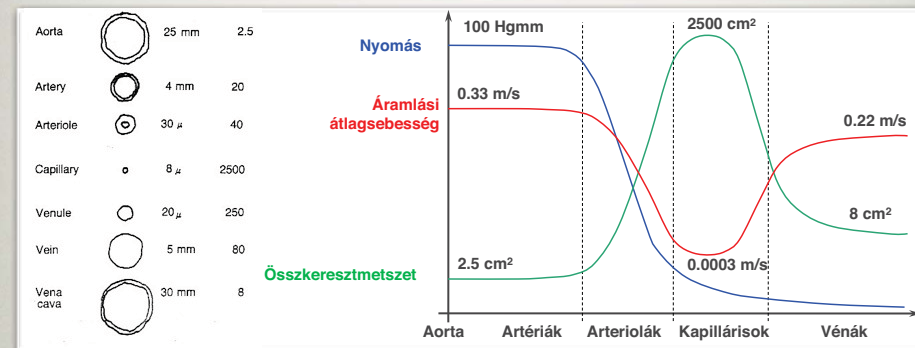


# ELECTRIC CURRENT

| Termodinamikai áram | Áramot fenntartó intenzív mennyiség-különbség | Áramsűrűség  | Törvény |
|---------------------|---|--|---------|
| Elektromos áram     | Elektromos potenciál ( $\phi$ )               | $J_Q = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta \phi}{\Delta x}$ | Ohm     |



# Az érrendszer felépítése és fizikai paraméterei



**Nyomás:** áramlást fenntartó nyomás, "véryomás".

**Nyomáscsökkenés oka:** energia zöme hővé alakul.

**Sebesség és összkérsztmetszet** fordított arányban változik, a kontinuitási egyenlet alapján ( $A_v = \text{állandó}$ ).

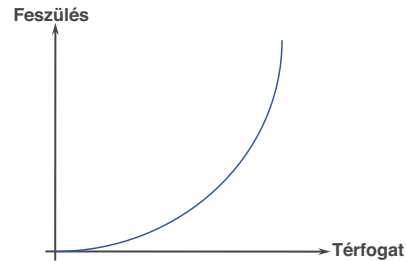
**Sebesség** általában nem haladja meg a kritikus sebességet (l. Reynolds szám), és az áramlás lamináris marad. (De: aortabillentyű mögötti szakasz, érszűkítések, viszkozitáscsökkenéssel járó állapotok, Korotkov hang).

**Arteriolák:** (vegetatív beidegzés alatt álló, simaizommal ellátott erek) mint vérnyomásscabályozók: "rezisztencia erek".

**Vértérfogat** jelentős része a vénás rendszerben: "kapacitás erek".

# Az erek rugalmas falú csövek

Nem-lineáris elaszticitás  
Megnyúlás nem arányos a feszüléssel.



Érfali rugalmasság meghatározói:

Elastikus rostok  
Kollagén  
Simaizom

Érfali rugalmasság hatása:

Potenciális (elasztikus) energia tárolódás  
Pulzáló nyomás elsimul  
Állandó áramlási sebesség

# Érfal-feszülés és vérnyomás

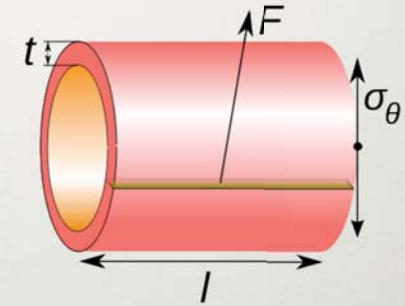
Kerületi feszülés ( $\sigma_\theta$ ) - (Young-Laplace - egyenlet)

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot r}{t}$$

$P$  = vérnyomás  
 $r$  = sugár  
 $t$  = falvastagság

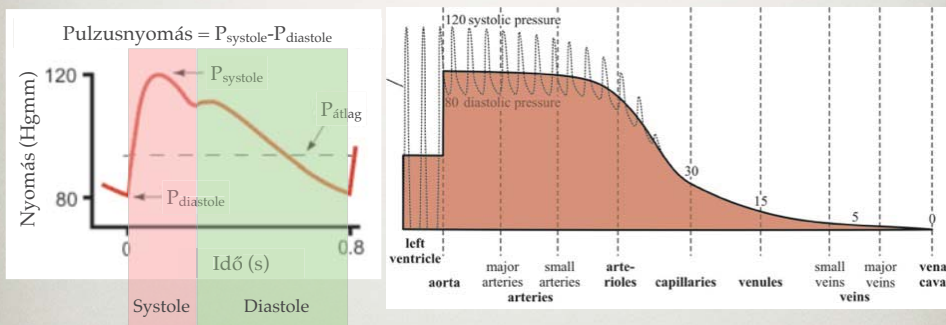
$$\sigma_\theta = \frac{F}{t \cdot l}$$

$F$  = erő  
 $l$  = csőhossz



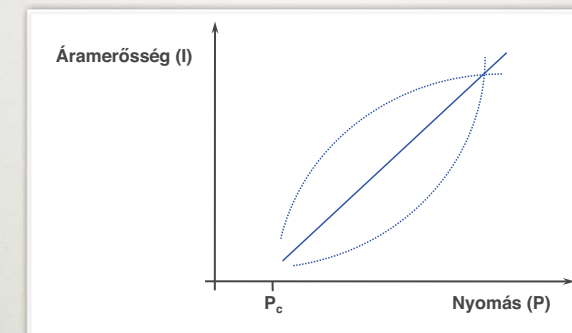
Az érfal-feszülés vagy kerületi feszülés a kör keresztmetszetű henger alakú cső kerületén ható átlagos erő.

# Dinamikus nyomásváltozások az artériás rendszerben



Az érfali rugalmasság miatt a hirtelen nyomás-ingadozások elsimulnak.

# Az áramerősség és nyomás összefüggése

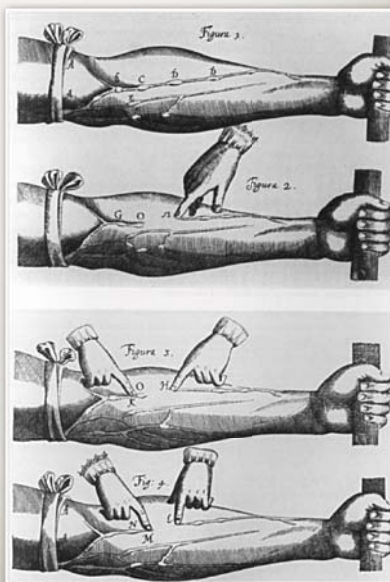


N.B.:

-A görbék nem 0-nál metszik a Nyomás tengelyt: kritikus záródási nyomás ( $P_c$ ).

# A vérkeringés segéderői

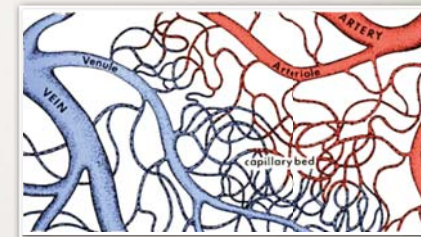
1. Artériafalak rugalmassága  
(elasztikus rostok->potenciális, elasztikus energiátárolás)
2. Vénabillentyűk (Harvey-féle kísérlet).  
"On the Circulation of the Blood" (1628).
3. Izommunka
4. Negatív mellúri nyomás
5. Atrioventricularis sík fel-le mozgása  
(kamrasystolével szinkron átmeneti negatív nyomás a jobb pitvarban)



Harvey-féle kísérlet

# Kapilláris keringés, folyadékcseré

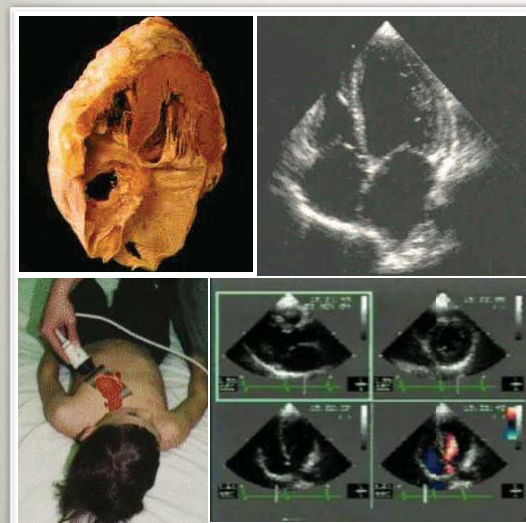
1. Kapillárisok:  
Hossz: 400-700  $\mu\text{m}$   
Átmérő: 0.5  $\mu\text{m}$
2. Nyitott állapot funkciófüggő  
Nyitott kapillárisok száma izomban  
Nyugalomban 5/mm<sup>2</sup>  
Aktivítás során 200/mm<sup>2</sup>
3. Kapilláris folyadékcseré  
plazma és interstícium közötti folyadékáramlás  
hajtóerő: vérnyomás és kolloid ozmotikus nyomás közötti különbség  
Kolloid ozmotikus (onkotikus) nyomás:  
kolloidális fehérjék által létrehozott ozmotikus nyomás (2.6 kPa)



|                          | Arteriálák | Kapillárisok | Venulák |
|--------------------------|------------|--------------|---------|
| Vérnyomás                | 4.0 kPa    | 2.6 kPa      | 1.3 kPa |
| Kolloid ozmotikus nyomás | 2.6 kPa    | 2.6 kPa      | 2.6 kPa |

# A SZÍVMŰKÖDÉS BIOFIZIKÁJA

## Szív: A keringési rendszer pumpája

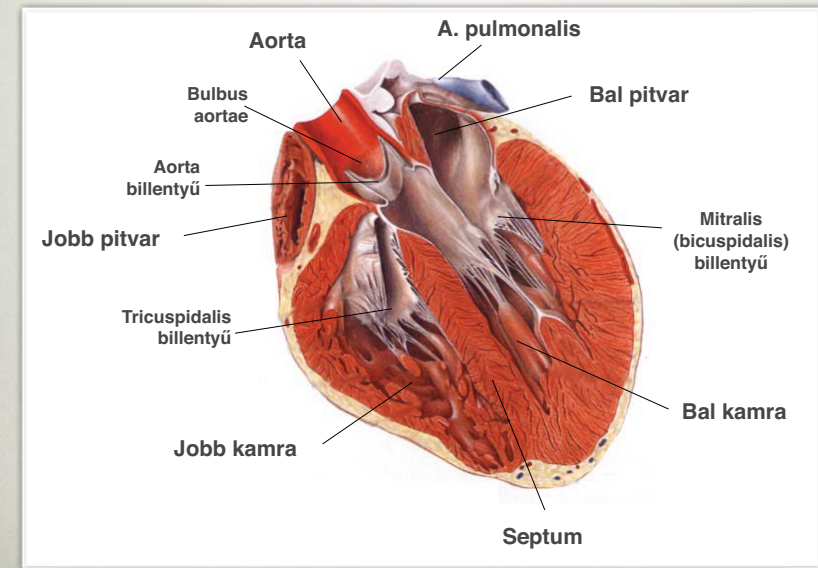


|              | Összehúzódnások száma  | Továbbított vértérfogat  |
|--------------|------------------------|--------------------------|
| 1 perc       | ~70                    | ~6 l                     |
| 1 nap        | ~100.000               | ~8600 l                  |
| Élet (70 év) | ~2.5 x 10 <sup>9</sup> | ~220 x 10 <sup>6</sup> l |

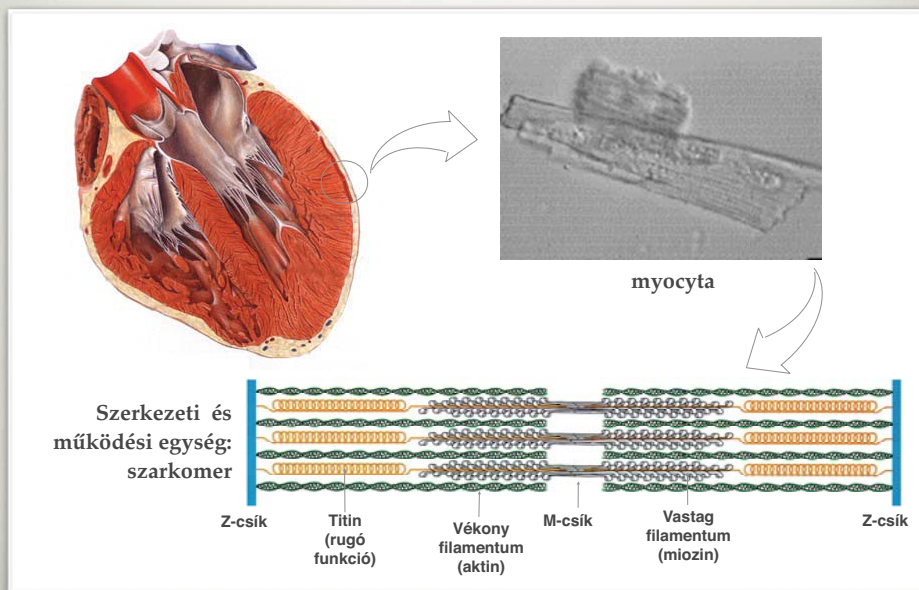
# Szívműködés biofizikája

1. A szív vázlatos felépítése
2. Koordinált összehúzódás
3. A szív ciklus
4. A szív munkája

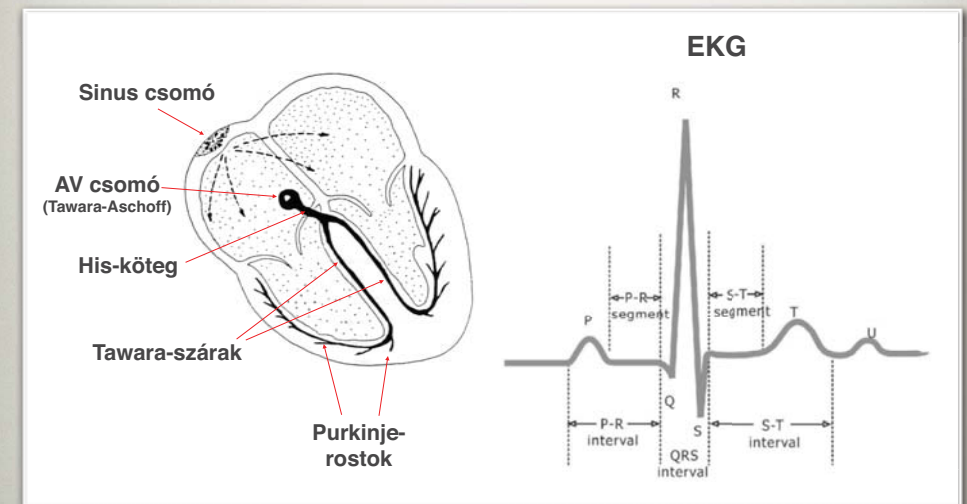
## A szív vázlatos felépítése



## A szívizom funkcionális szerkezete

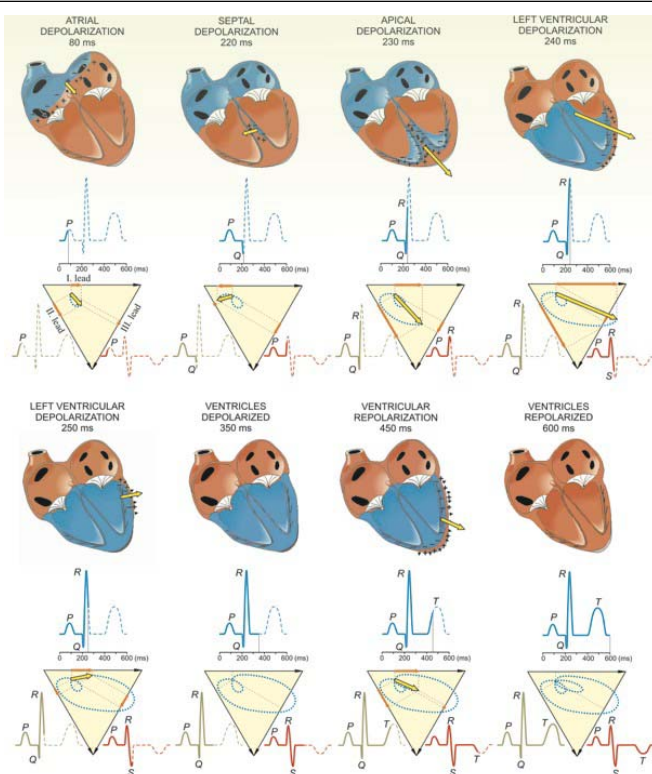


## Koordinált mechanikai működés aktiválása



## EKG:

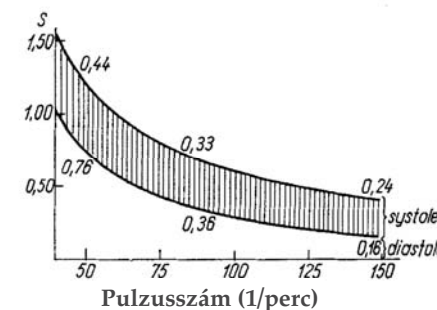
A szívizom depolarizációja és repolarizációja során térben és időben változó eredő dipólus (integrálvektor) adott irányú (elvezetések szerinti) vetületei.



## A szívciklus

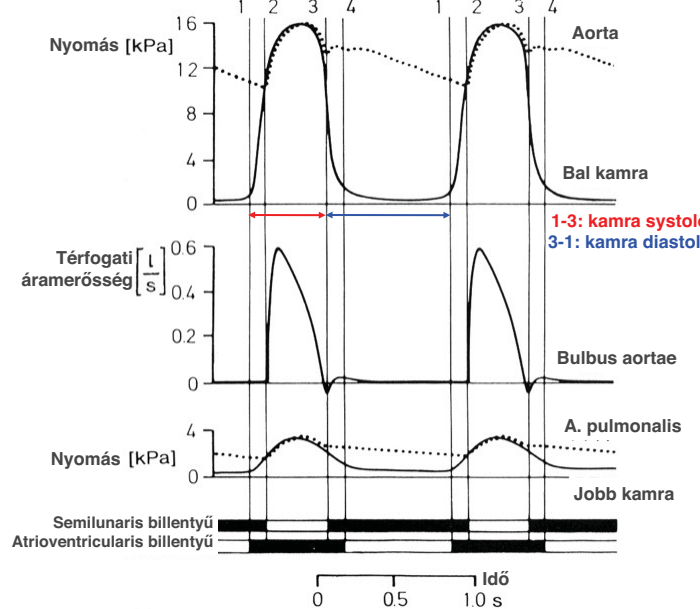
A szív kontrakciós (systole) relaxációs (diastole) ciklusa

|        | systole | diastole |
|--------|---------|----------|
| pitvar | 0,1 s   | 0,7 s    |
| kamra  | 0,3 s   | 0,5 s    |

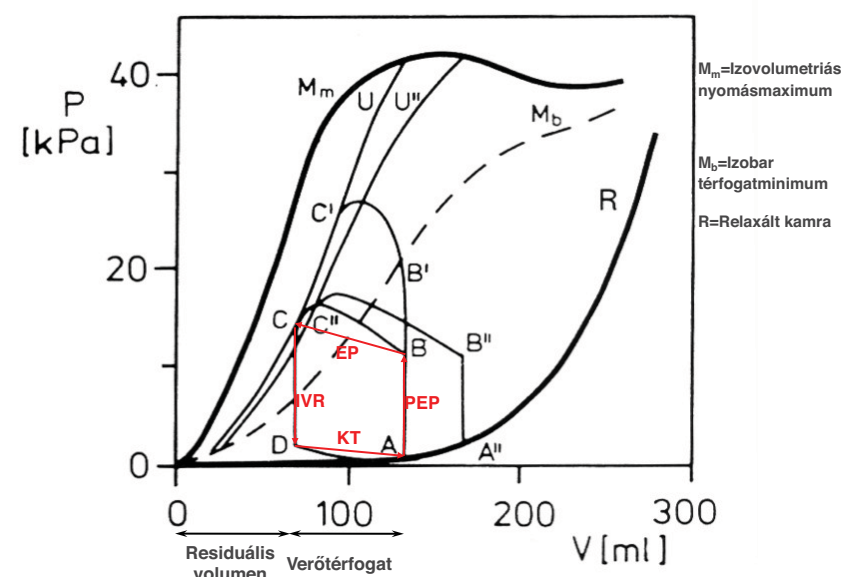


## A szívciklus eseményei

1-2: pre-ejekciós periódus (PEP) 2-3: ejekciós periódus (EP) 3-4: izovolumetriás relaxáció (IVR) 4-1: kamratelődés (KT)



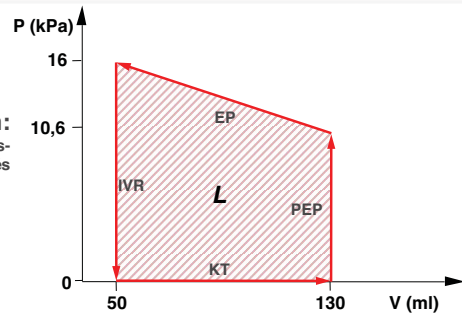
## A bal kamra nyomás-térfogat diagramja



# A szív munkája

(bal kamra munkája)

Indikátordiagram:  
egyszerűsített nyomás-  
térfogat összefüggés



$$L = p\Delta V + \frac{1}{2}mv^2$$

$p\Delta V$ =térfogati munka (statikus komponens)  
 $\frac{1}{2}mv^2$ =sebességi munka (dinamikus komponens)  
 $p$ =nyomás  
 $\Delta V$ =verőtérfogat (pulzustérfogat)

$$13,3 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \times 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + \frac{1}{2} 0,08 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 1,06 \text{ Nm} + 0,04 \text{ Nm} = 1,1 \text{ J}$$