

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:

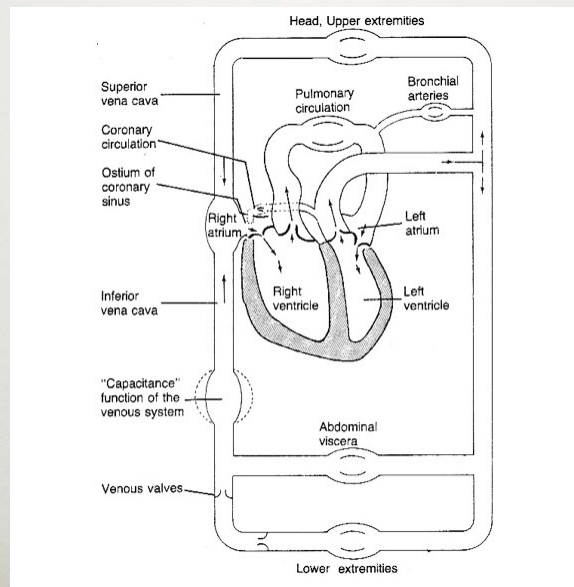
Lassú

Egyenletes

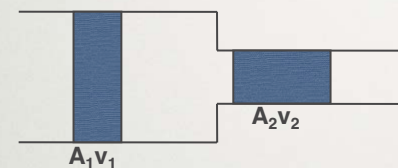
Egyirányú

C. Az érrendszer zárt, önmagába visszatérő csőrendszer

Az érrendszer zárt, önmagába visszatérő csőrendszer

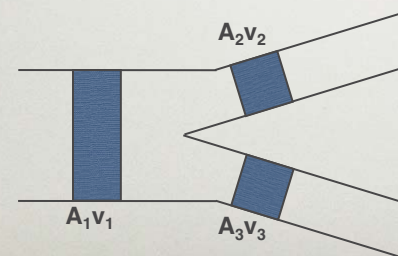


Folyadékáramlás csőrendszerben Kontinuitási egyenlet – emlékeztető



$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = konst$$

A = keresztmetszet
 v = áramlási sebesség



$$A_1 v_1 = A_{\Sigma}(v)_{\text{átlag}} = konst$$

A_{Σ} = összkétszmet

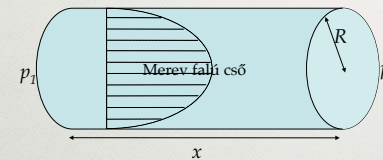
TERMODINAMIKAI ÁRAMOK

- 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)	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta x}$	Hagen-Poiseuille
Elektromos áram	Elektromos potenciál (ϕ)	$J_Q = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta \phi}{\Delta x}$	Ohm
Anyagáram (diffúzió)	Kémiai potenciál (μ)	$J_n = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$	Fick

TÉRFOGATI ÁRAM

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



V = térfogat
 t = idő
 R = sugár
 η = viszkozitás
 p = nyoms
 x = csőhossz
 $(\Delta p/\Delta x)$ = nyomásgrádiens, fenntartója p_1-p_2
 A = csőkeresztmetszet
 J_V = térfogati áramerősség

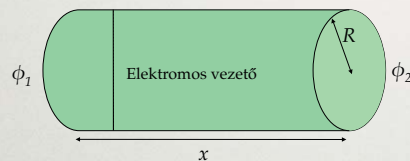
$$\frac{V}{t} = \frac{R^4 \pi \Delta p}{8\eta \Delta x}$$

$$A = R^2 \pi$$

$$J_V = \frac{V}{tA} = \frac{R^2 \Delta p}{8\eta \Delta x}$$

ELEKTROMOS ÁRAM

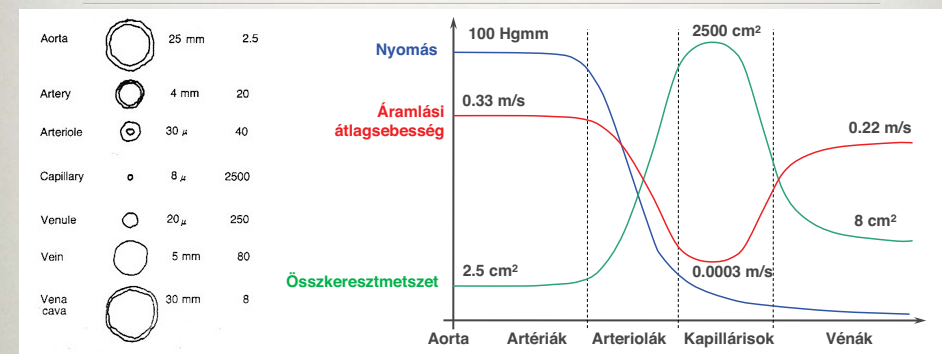
Termodinamikai áram	Áramot fenntartó intenzív mennyiség-különbség	Áramsűrűség	Törvény
Elektromos áram	Elektromos potenciál (ϕ)	$J_Q = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta \phi}{\Delta x}$	Ohm



q = elektromos töltés
 t = idő
 R = sugár
 ϕ = elektromos potenciál
 x = vezető hossza
 $(\Delta \phi/\Delta x)$ = potenciálgrádiens (feszültség), fenntartója $\phi_1-\phi_2$
 A = vezető keresztmetszete
 J_Q = elektromos áramerősség

$$\frac{q}{tA} = J_Q = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta \phi}{\Delta x}$$

Az érrendszer felépítése és fizikai paraméterei



Nyomás: érfalra nehezedő nyomás, "vérnyomás". A véráramlást a nyomáskülönbség tartja fenn.

Nyomáscsökkenés oka: energia zöme hővé alakul.

Sebesség és összkeresztmetszet fordított arányban változik, a kontinuitási egyenlet alapján ($A \cdot v = \text{állandó}$).

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).

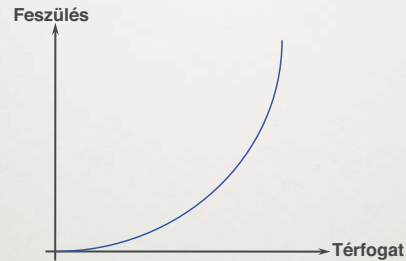
Arteriolák: (vegetatív beidegzés alatt álló, simaizommal ellátott erek) mint vérnyomásszabályozók: "rezisztencia erek".

Vértérfog jelentős része a vénás rendszerben: "kapacitás erek".

Az erek rugalmas falú csövek

Nem-lineáris rugalmasság

Megnyúlás (térfogatváltozás) nem egyenesen arányos a feszüléssel.



Érfali rugalmasság meghatározói:

Elasztikus rostok
Kollagén
Simaizom

Érfali rugalmasság hatása:

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

Érfal-feszülés és vérnyomás

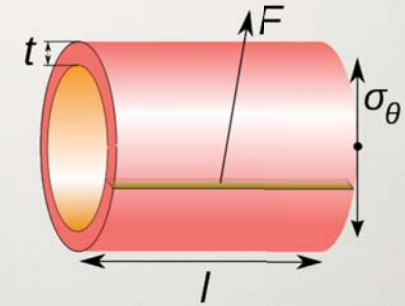
Kerületi feszülés (σ_θ) - (Young-Laplace - egyenlet)

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

P = vérnyomás
 r = sugár
 t = falvastagság

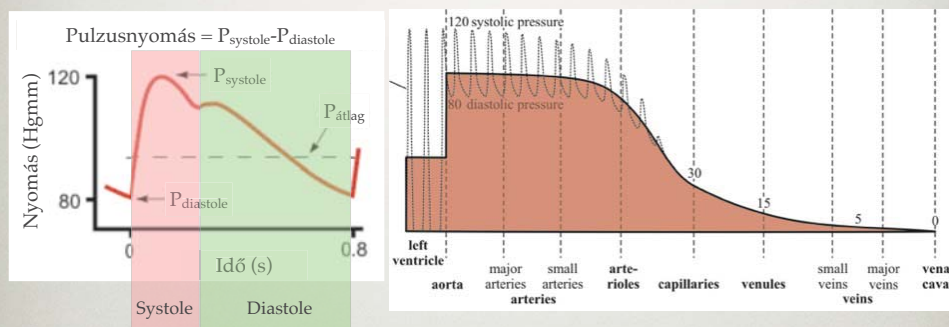
$$\sigma_\theta = \frac{F}{t \cdot l}$$

F = erő
 l = csőhossz



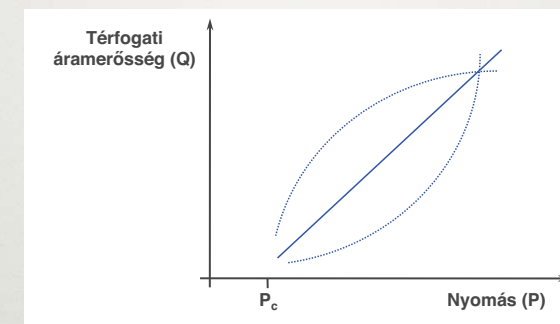
Az érfal-feszülés vagy kerületi feszülés a kör keresztmetszetű henger alakú cső kerületén ható átlagos erő.

Dinamikus nyomásváltozások az artériás rendszerben



Az érfali rugalmasság miatt a hirtelen nyomás-ingadozások elsimulnak.

A térfogati áramerősség és nyomás összefüggése

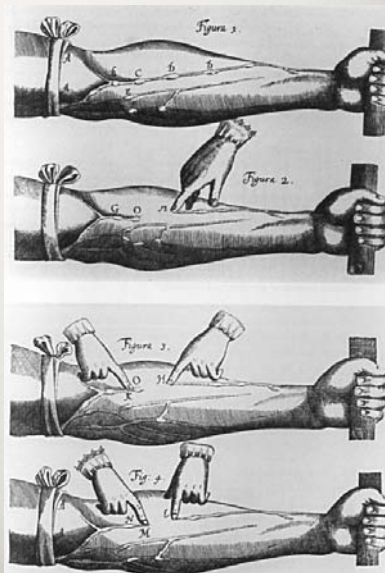


N.B.:

-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

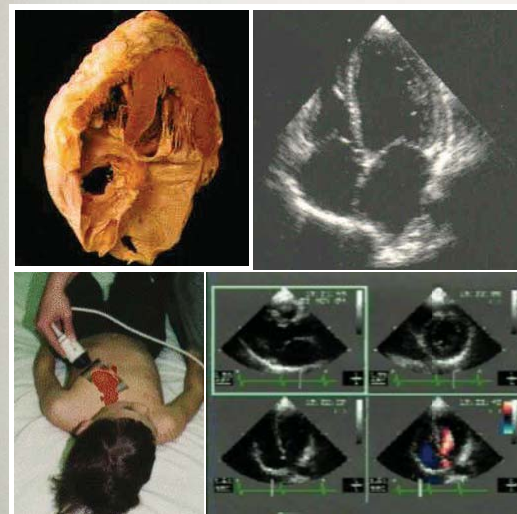
1. Kapillárisok:
Hossz: 400-700 μm
Átmérő: 0.5 μm
2. Nyitott állapot funkciófüggő
Nyitott kapillárisok száma izomban
Nyugalomban 5/mm²
Aktivitás során 200/mm²
3. Kapilláris folyadékcseré
plazma és intersticium közötti folyadékvándorlás
hajtóerő: vérnyomás és kolloid ozmotikus nyomás közötti különbség
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

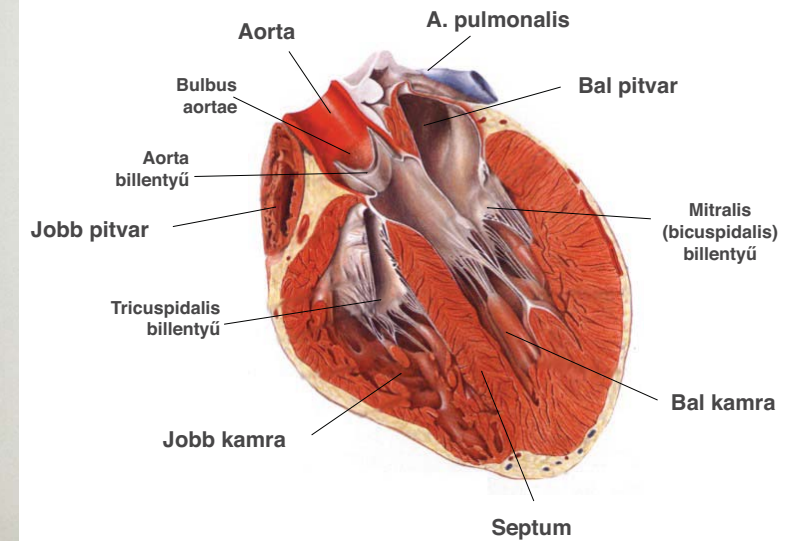


	Összehúzódnások száma	Továbbított vértérfogat
1 perc	~70	~6 l
1 nap	~100.000	~8600 l
Élet (70 év)	~2.5 x 10 ⁹	~220 x 10 ⁶ l

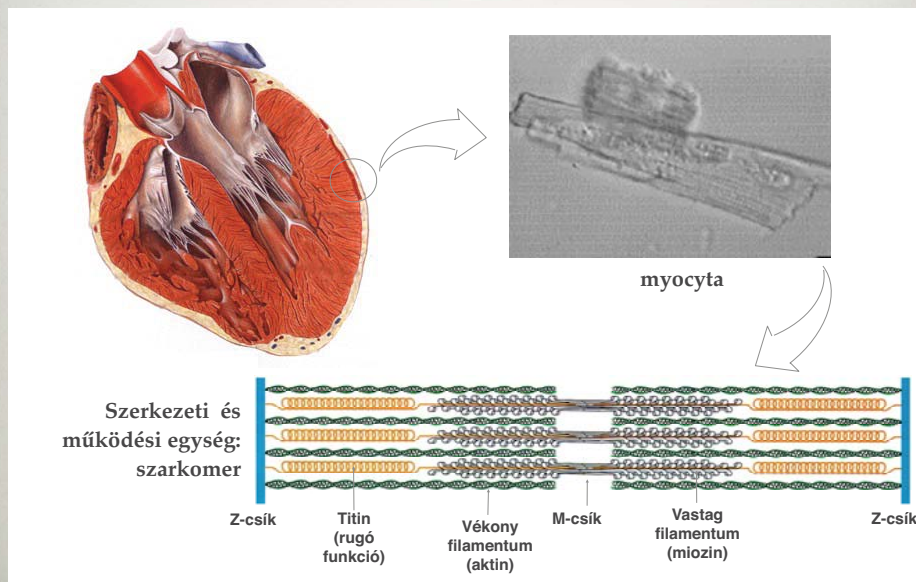
Szívműködés biofizikája

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

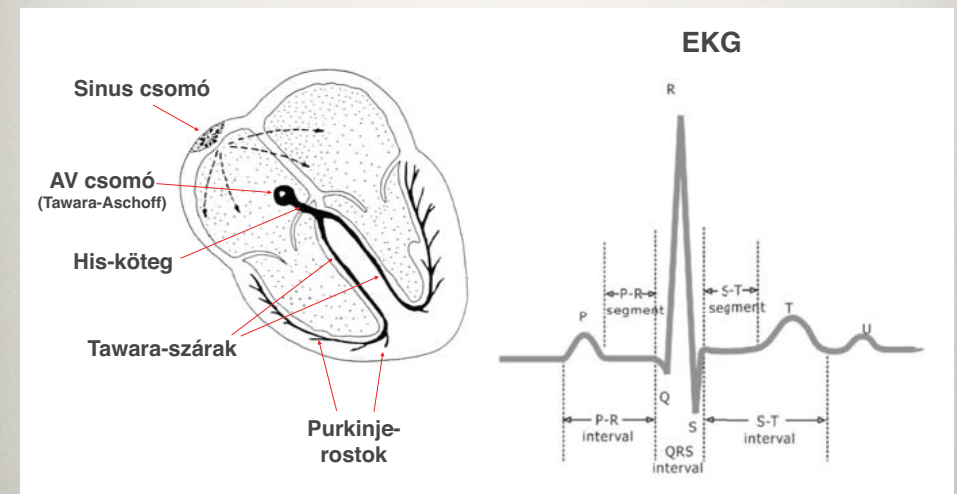
A szív vázlatos felépítése



A szívizom funkcionális szerkezete

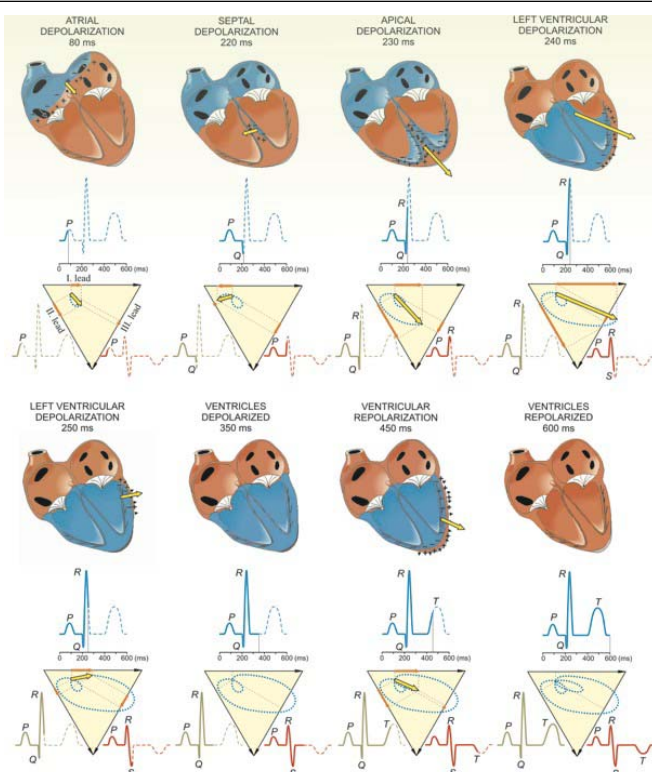


Koordinált mechanikai működés aktiválása



EKG:

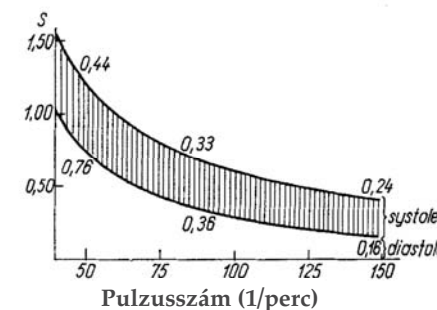
A szívizom depolarizációja és repolarizációja során térben és időben változó eredő dipólus (integrálvektor) adott irányú (elvezetések szerinti) vetületei.



A szívciklus

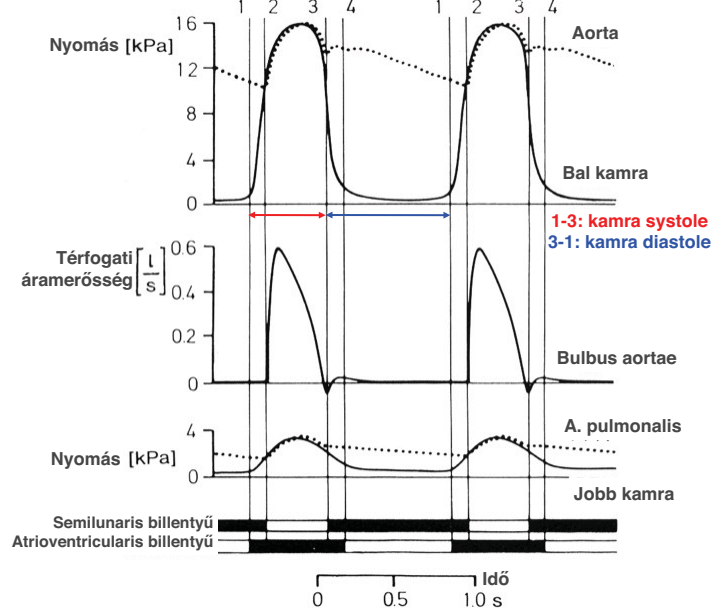
A szív kontrakciós (systole) relaxációs (diastole) ciklusa

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

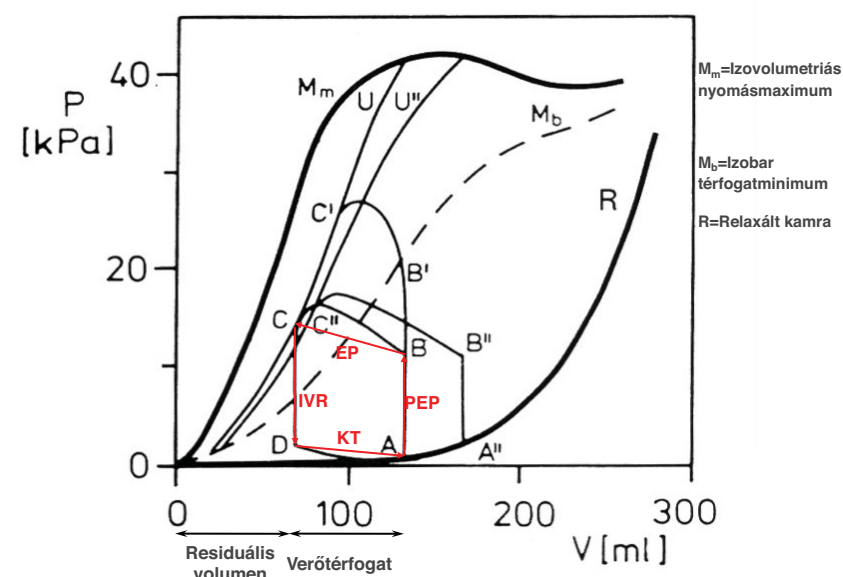


A szívciklus eseményei

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

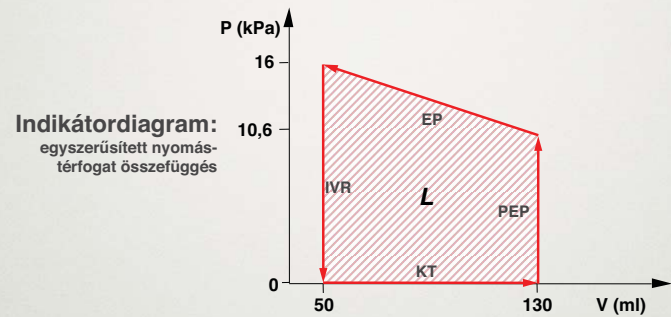


A bal kamra nyomás-térfogat diagramja



A szív munkája

(bal kamra munkája)



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

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

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