

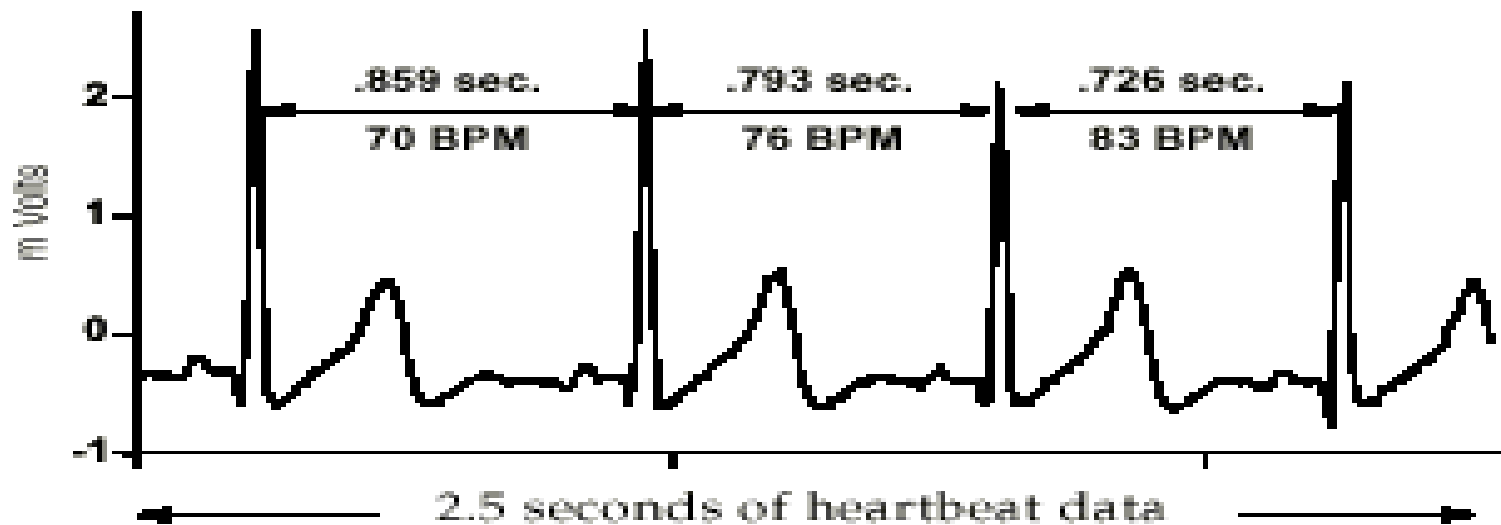


Srčani ciklus: varijacije u fiziološkim uslovima



Srčani ciklus

- Vremenski period između dve uzastopne srčane kontrakcije



Srčani ciklus

- U fiziološkim uslovima, *trajanje srčanog ciklusa se konstantno menja* u određenim fiziološkim granicama
- Ova varijabilnost je rezultat integrativnih neurohumoralnih uticaja

Regulacija rada srca (I)

- ***Sopstvena regulacija (intrinsic):*** uslovljena funkcionalnim karakteristikama srca, a ne nervnim ili humoralnim faktorima
 - ◆ Starlingov zakon
- ***Spoljašnja regulacija (extrinsic):*** uslovljena nervnim i humoralnim faktorima
 - ◆ simpatikus (pozitivno; srčani, β_1 receptor)
 - ◆ parasimpatikus (negativno; preko vagusa, muskarinski M_2 receptor)
 - ◆ hormoni (kateholamini, glukagon, tiroksin, hormon rasta, glukokortikoidi, mineralokortikoidi)
 - ◆ elektroliti (K^+ i Ca^{2+})

Regulacija rada srca (II)

Faktori koji utiču na rad srca:

◆ *Lokalni*

- heterometrijska autoregulacija (Frank-Starlingov zakon)
- K^+ i Ca^{++}
- temperatura

◆ *Nervni*

- simpatikus i parasimpatikus

◆ *Humoralni*

- kateholamini
- glukagon
- tiroksin
- hormon rasta
- glukokortikoidi
- mineralokortikoidi

Uticaji na rad srca mogu biti:

- **Pozitivni ili negativni:**
 - ◆ hronotropni (frekvencija)
 - ◆ inotropni (snaga)
 - ◆ batmotropni (razdrazljivost, podrazljivost)
 - ◆ dromotropni (spovodljivost, brzina provođenja impilsa)

Srčana frekvencija

- Broj srčanih ciklusa u jednoj minuti
- SF; HR; f_c
- Fiziološke varijacije 60 – 90 (100) min^{-1}
 - ◆ tahikardija $> 100 \text{ min}^{-1}$
 - ◆ bradikardija $< 60 \text{ min}^{-1}$

Kako i kada se meri SF?

- SF se određuje u mirovanju, ujutru, odmah posle buđenja
- Može se odrediti: palpacijom udara srčanog vrha, auskultacijom srca ili analizom EKG-a
- Nije isto što i puls (p)

(izuzetno, kod novoređenčadi može se palpirati i brahijalna ili femoralna arterija, pulsacije prednje fontanele)

Srčana frekvencija: trajanje srčanog ciklusa

srčana frekvencija	trajanje srčanog ciklusa
40 min ⁻¹	1,5 s
60 min ⁻¹	1 s
80 min ⁻¹	0,75 s
100 min ⁻¹	0,6 s
120 min ⁻¹	0,5 s

! Trajanje sistole i diastole ne skraćuju se proporcionalno

Srčana frekvencija u različitim periodima života

uzrast	SF (min ⁻¹)
Novorođenčad	100 - 160
deca 1 to 10 godina	70 - 120
Deca preko 10 g., odrasli (uključujući stare)	60 – 90(100)
sportisti (“aerobni”)	40 - 60

SF tokom dana (24 časa)

- *Cirkadijalni ritmovi*
- najmanja ujutru
- zavisi od položaja tela (u stojećem položaju fiziološki veća čak za 15-20 min⁻¹)

Efekti starenja na srce

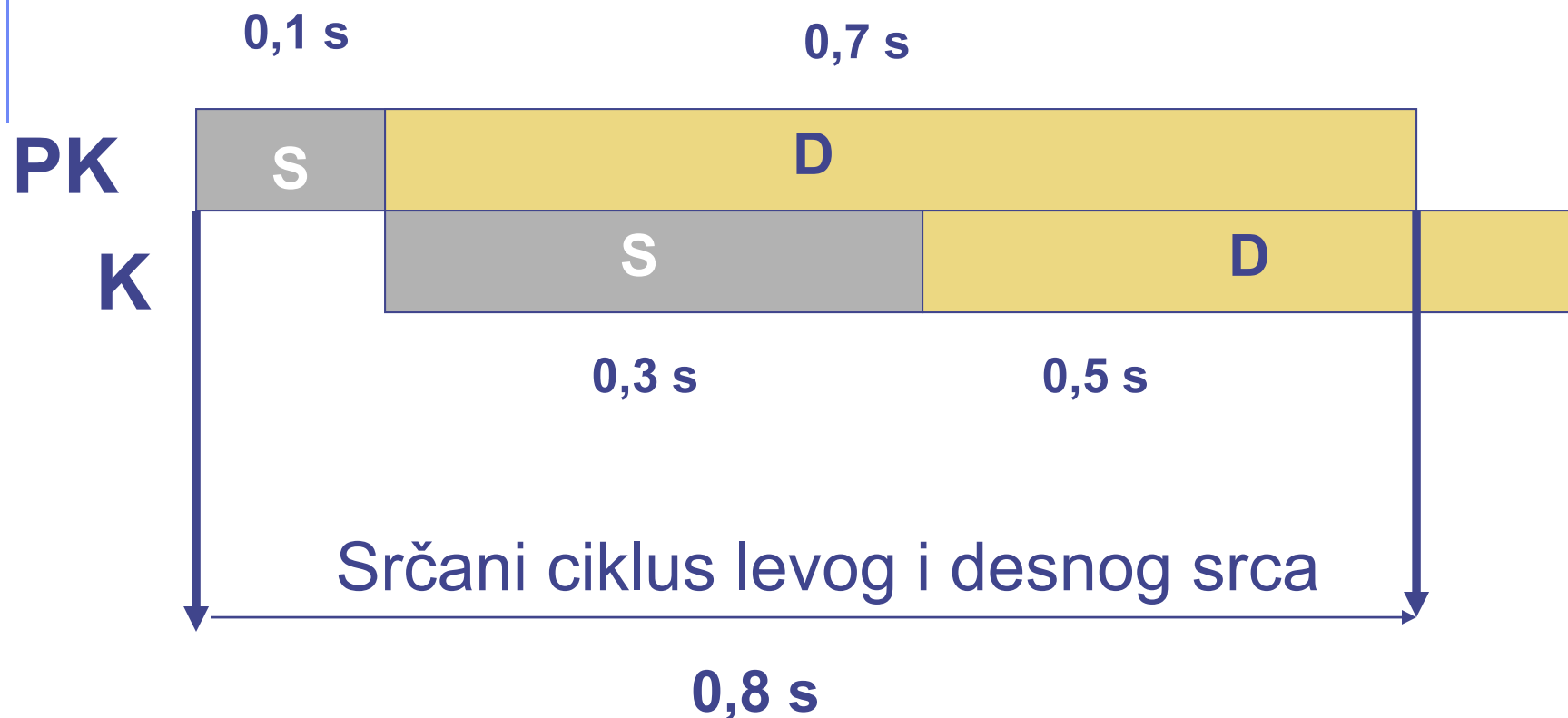
- Postepene promene, neznatne u uslovima mirovanje, izraženije tokom fizičke aktivnosti
- Hipertrofija leve komore
- Smanjenje maksimalne SF
- Povećana učestalost patoloških promena na zaliscima i sklonost aritmijama
- Povećana potrošnja kiseonika neophodna da se istisne ista količina krvi

Fiziološka sinusna aritmija u vezi sa ciklusima disanja

- **karakteristično za decu**
- **povećanje SF u inspiraciji**
- **smanjenje SF u ekspiraciji**

Srčani ciklus ako je $SF=75 \text{ min}^{-1}$

Obuhvata: sistolu i dijastolu pretkomore (PK)
sistolu i dijastolu komore (K)
(sve levog i desnog srca)



Faze srčanog ciklusa komora

- izovolumetrijska kontrakcija
- istiskivanje – ejekcija

} *sistola
ventrikula*

- izovolumetrijska relaksacija
- punjenje komora
(brzo, dijastaza i
pretkom. sistola)

} *dijastola
ventrikula*

Faze srčanog ciklusa komora

- ***Sistola komora (0,33 s)***
 - ◆ izovolumetrijska faza (0,08 s)
 - ◆ izbacivanje krvi – ejekcijska faza (0,25 s)
 - brzo izbacivanje (0,12 s)
 - sporo izbacivanje (0,13 s)
- ***Dijastola komora (0,47 s)***
 - ◆ protodijastolna faza (0,04 s)
 - ◆ izovolumetrijska relaksacija (0,08 s)
 - ◆ faza punjenja krvlju (0,35 s)
 - brzo punjenje (0,09 s)
 - sporo punjenje – dijastaza (0,16 s)
 - ◆ presistola (0,1 s)

*Pavlović,
Mujović*

Završna faza dijastole komora

*Presistolna faza,
sistola pretkomora
(završno punjenje komora)*

Sistola pretkomora (PK)

- Između PK i vena nema zalistaka
- krv stalno dotiče venama
- pasivno teče iz PK u komore kroz otvorenu AV valvulu (80%)
- Tokom sistole PK istiskuje se preostalih 20 - 30 % krvi
- Kontrakcija PK završava se pre početka kontrakcije komora
- PK igraju ulogu rezervoara krvi

Sistola pretkomora - Pritisci i volumeni

- "a" talas se javlja kada se PK kontrahuje što poveća pritisak. Pritisak u desnoj PK je 4-6, a u levoj PK 7-8 mmHg
- krv koja je stigla do PK ne može da uđe, tako da se "vraća" u jugularnu venu, javlja se prvi talas pulsa jugularne vene
- Pritisak krvi u komorama na kraju sistole PK manji je od 12 (u desnoj komori, <5 mmHg)
- pritisak u PK pada po završetku kontrakcije PK
- kontrakcija PK se završava pre otpočinjanja kontrakcije K



Početak sistole komora

Izovolumetrijska kontrakcija



Izovolumetrijska kontrakcija

- Depolarizacija → infuks Ca^{2+}
- Otpočinje zatvaranjem AV zalistaka
- Zatvoreni su i semilunarni zalisci (aortni i pulmonalni)
- Komora je puna krvlju
- Kontrakcija ne menja volumen, pritisak raste

(Ova faza se po nekim autorima zajedno sa fazom asinhronone kontrakcije naziva *tenziona faza*)

Izovolumetrijska kontrakcija - Pritisci i volumeni

- **AV valvule se zatvaraju kada pritisak u komorama nadmaši pritisak u predkomorama**
 - **ne dolazi do promene volumena, ali raste pritisak u komorama sve do vrednosti pritiska u aorti i pulmonalnim arterijama**
 - **Semilunarne valvule će se otvoriti kad pritisak bude veći od 80 (aorta), tj. 8 mmHg (a. pulmonalis)**
- “c” talas se javlja zbog izbočavanja AV zalistaka u PK i povlačenja pretkomorskog mišića prema komorama**

Nastavak sistole komora

Period izbacivanja–ejekciona faza

period brzog - naglog izbacivanja (70% krvi)

period sporog - redukovanog izbacivanja (30% krvi)

Period brzog izbacivanja tokom ejekcione faze

- na početku ove faze otvaraju se semilunarni (aortne i pulmonarne) zalisci
- Pritisci rastu, u aorti sa 80 na 120 mmHg, u plućnoj cirkulaciji sa 8 na 25 mmHg

Period brzog izbacivanja - Pritisci i volumeni

- Tokom kontrakcije ventrikula raste pritisak u komorama koji prevazilazi pritisak u aorti i pulmonalnim arterijama. Krv se istiskuje iz ventrikula i volumen ventrikula se rapidno smanjuje.
- Maksimalna vrednost pritiska u levoj komori i aorti je 120 mmHg, a u desnoj komori i a.pulmonalis 25 mmHg.



Period sporog izbacivanja tokom ejakcijske faze

Kraj sistole komora



Period sporog izbacivanja

- Na kraju ove faze semilunarni (aortni i pulmonalni) zalisci se zatvaraju

Period sporog izbacivanja - Pritisci i volumeni

- Posle maksimuma komorskog i arterijskog pritiska javlja se usporeni pad P
- Smanjuje se i volumen krvi u komorama
- Kada je pritisak u komorama manji nego pritisak u arterijama, krv iz arterija počinje da se vraća ka komorama i dovodi do zatvaranja semilunarnih valvula i pojave incizure
- predstavlja kraj komorske sistole



Početak dijastole komora

Izovolumetrijska relaksacija



Izovolumetrijska relaksacija

- Uvod u dijastolu (faza protodijastole) je faza u toku koje su još uvek otvoreni semilunarnih zalisci a krv ne teče jer su pritisci izjednačeni. Čak mala količina krvi se vraća i zatvara semilunarne zaliske.
- Zatvoreni su i AV zalisci
- Pritisak u komorama postaje niži od pritiska u aorti i a. pulmonalis

Izovolumetrijska relaksacija - Pritisci i volumeni

- Pritisak u komorama nastavlja da pada
- Volumen u komorama je na minimumu
- Dolazi do porasta pritiska u pretkomorama
- Javlja se "v" talas koji je posledica punjenja PK, kao i vraćanja krvi odbijene od zatvorenih AV valvula



Punjenje komora

Brzo punjenje komora

Sporo punjenje komora - dijastaza



Brzo punjenje komora

- počinje otvaranjem AV zalistaka
- krv nagomilana u pretkomorama prelazi u komore
- traje prvu trećinu dijastole komora

Brzo punjenje komora - Pritisci i volumeni

- Krv prelazi iz pretkomora u komore i dolazi do povećanja volumena komora
- Pritisci su mali

Sporo punjenje komora dijastaza

- Krv iz vena preko pretkomora sporo utiče u komore
- Druga trećina dijastole komora

Sporo punjenje komora - Pritisci i volumeni

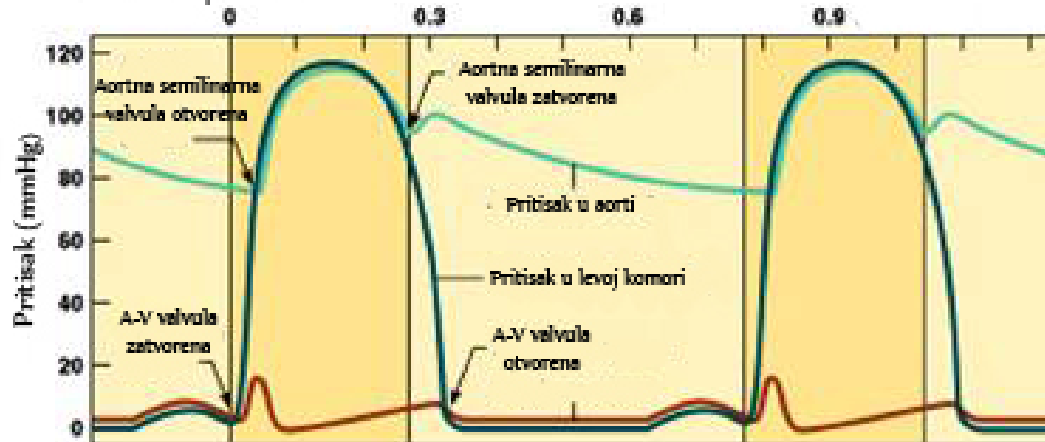
- **Volumen krvi u komorama nastavlja, usporenije, da raste dok se komore ne ispune krvlju**

Presistolna faza komora, sistola pretkomora

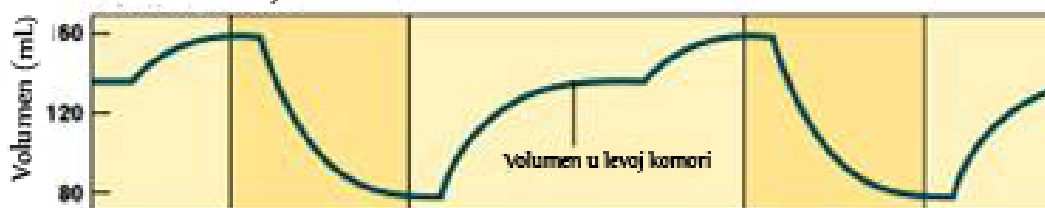
- **Sistolom pretkomora istiskuje se preostalih 20-30%**
- **završetak dijastole komora**

	Sistola pretkomora	Diastola pretkomora		Sistola pretkomora	Diastola pretkomora
	Diastola komora	Sistola komora	Diastola komora	Sistola komora	Diastola komora

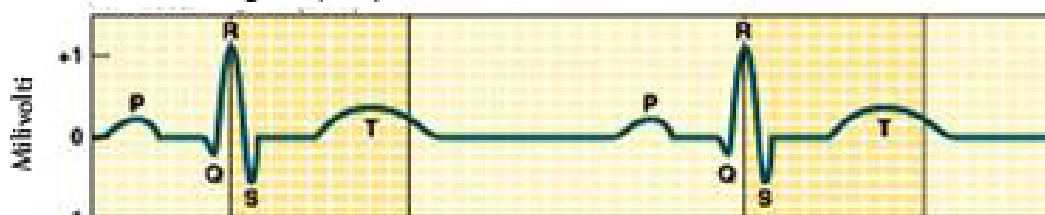
Promena pritiska



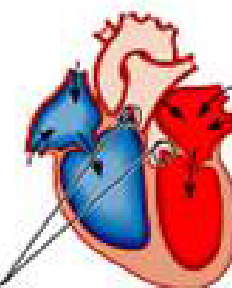
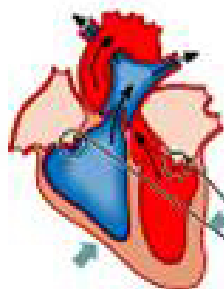
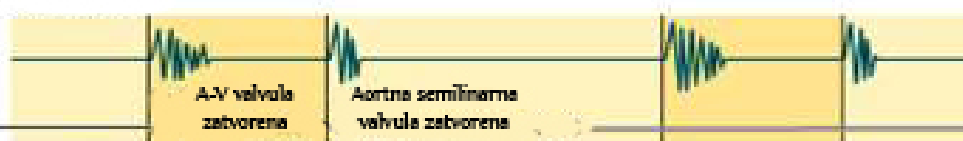
Volumen u levoj komori



Elektrokardiogram (EKG)



Srčani tonovi



- **Udarni volumen UV**
- **Srčana frekvencija SF**
- **Minutni volumen srca MVS**

$$\mathbf{MVS = UV \times SF}$$

$$\mathbf{5000 \text{ ml} = 70 \text{ ml} \times 72 \text{ min}^{-1}}$$

Srčani indeks = MVS / telesna površina

$$\mathbf{2.5 - 4.0 \text{ L m}^{-2} (3,2)}$$

- **end-dijastolni volumen (EDV)**
oko 120 ml zapremina krvi u komori na kraju dijastole
- **end- sistolni volumen (ESV)**
oko 50 ml zapremina krvi u komori na kraju sistole


$$UV = EDV - ESV = 120 - 50 = 70 \text{ ml}$$

UV udarni volumen

Ejekcijska frakcija

$$EF = UV / EDV$$

fiziološke varijacije: 65 +/- 10 %

- 
- **Preload – predopterećenje, opterećenje volumenom,**
stepen napetosti mišića na kraju dijastole (EDP)
 - **Afterload – naknadno opterećenje, opterećenje pritiskom,**
opterećenje koje mišić savlada kontrakcijom (SP)

Fiziološka bradikardija

- **Sportisti u mirovanju**
- **Tokom spavanja (određene faze)**

Fiziološka tahikardija

- deca
- tokom fizičke aktivnosti

SF tokom fizičke aktivnosti

- SF raste tokom fizičke aktivnosti
- maksimalna: 220 – godine starosti
(student 20 godina, $SF_{\max} = 200$)

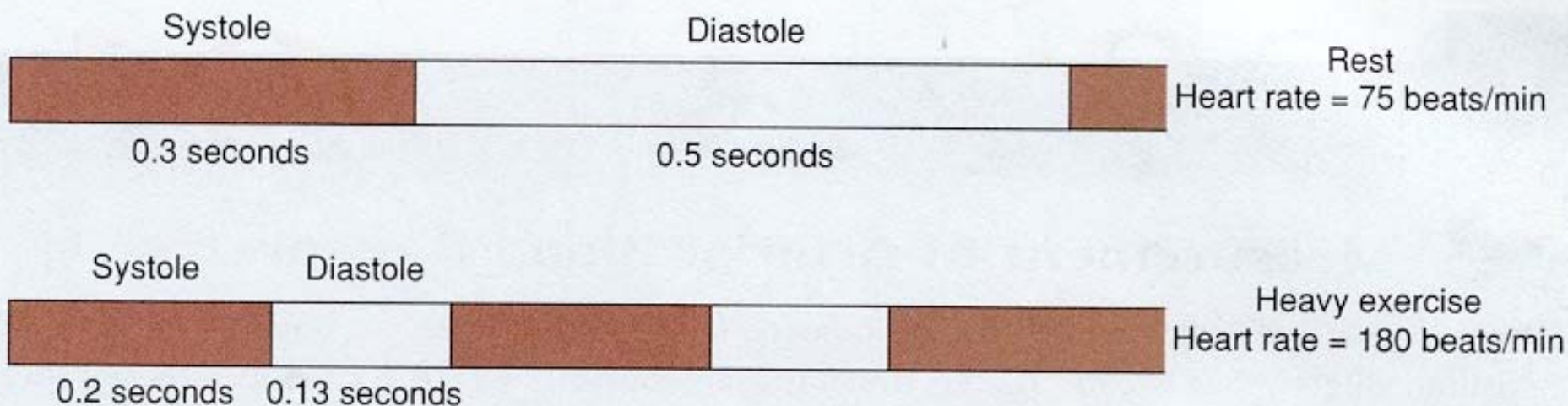
Srčani ciklus tokom fizičke aktivnosti

Sistola

- Faza kontrakcije

Dijastola

- Faza relaksacije



Skraćuje se faza usporenog punjenja komora

SF = 180 min⁻¹

- **“Kritična” srčana frekvencija (! vreme trajanja tahikardije)**
- **Vreme trajanja srčanog ciklusa: 0,3 s**
 - ◆ **sistola 0,2 s**
 - ◆ **dijastola 0,1 s**
- **Nema dijastaze ni faze naglog punjenja**
- **Kontrakcija predkomora ključna za brzo punjenje komora**
(isto važi i za mitralnu stenozu)

Sportisti

- **SF** ↑
- **UV** ↑
- **MVS** 25 L (zdravi, netrenirani),
30-35 L (vrhunski sportisti)
- **ESV** pada na 10-30 ml
- **EDV** raste na 200-250 ml
- Kod utreniranih **MVS** više raste na račun **UV**, a kod netreniranih na račun **SF**

Teze za seminar

- Definicija srčanog ciklusa
- Izračunavanje trajanja srčanog ciklusa
- Redosled faza sistole i dijastole pretkomora i komora, hemodinamski značaj ovog redosleda
- Srčani ciklus pretkomora – promene pritiska, volumena i stanja zalistaka; srčani ciklus komora - promene pritiska, volumena i stanja zalistaka
- Fiziološke varijacije trajanja srčanog ciklusa
- Trajanje sistole i dijastole pri srčanoj frekvenciji od 60, 75 i 180 min⁻¹
- Regulacija srčane frekvencije