

FIZIOLOGIA **APARATULUI** **CARDIOVASCULAR**

Anul II semestrul I
2020-2021

CICLUL CARDIAC
CURBA PRESIUNE-VOLUM
ZGOMOTE CARDIACE
DEBITUL CARDIAC

CICLUL CARDIAC

Definiție: modificările succesive ale presiunii și volumelor de sânge în cursul sistolei și diastolei.

Durata ciclului cardiac depinde de frecvența cardiacă;

Exemplificare: 0,8 secunde la frecvența de 75 cicluri cardiace / minut.

Ciclul cardiac la nivelul atriilor:

- sistola atrială = 0,11 – 0,15 sec.
- diastola atrială = 0,7 sec.

Ciclul cardiac la nivelul ventriculilor:

- sistola ventriculară = 0,27 – 0,3 sec.
- diastola ventriculară = 0,5 sec

Perioadele sistolei ventriculare:

- perioada de pregătire = 0,07 – 0,11 sec.
- perioada de contracție izovolumetrică = 0,05 sec.
- perioada de ejeție rapidă = 0,09 sec.
- perioada de ejeție lentă = 0,13 sec.

Perioadele diastolei ventriculare:

- perioada de protodiastolă fiziologică = 0,04 sec.
- perioada de relaxare izovolumetrică = 0,08 sec.
- perioada de umplere rapidă = 0,11 sec.
- perioada de umplere lentă = 0,19 – 0,27 sec.
- sistola atrială = 0,11 sec.

Este important de reținut:

- activitatea electrică a inimii precede activitatea mecanică;
- circulația sângelui prin cavitățile cordului se face în sens unic (dirijat de gradientul presional și de valvule) de la atri la ventriculi și de la ventriculi la vasele mari;
- deschiderea valvelor inimii se face în sensul circulației sângelui prin cavitățile cordului, iar închiderea valvelor, se face în sens invers circulației;
- contracția inimii drepte precede cu 0,02 sec. contracția inimii stângi;
- valvele drepte (tricuspidă și pulmonară) se deschid înainte și se închid după cele stângi (mitrală și aortă);

Ciclul cardiac atrial

Sistola atrială (0,11 – 0,15sec.) corespunde ultimei perioade din diastola ventriculară. Sângele curge cu viteză din atriu în ventricul și produce zgomotul IV fiziologic. Prin sistola atrială se asigură umplerea cavităților ventriculare cu aproximativ 20% din volumul telediastolic.

Diastola atrială – (0,7 sec.) corespunde următoarelor perioade ale ciclului cardiac la nivelul ventriculilor: sistolă ventriculară, relaxare izovolumetrică, umplere rapidă și umplere lentă. În diastola atrială sângele se întoarce la cord, în mod intermitent, sub influența gradientului de presiune dintre venele cave și atricul drept, respectiv venele pulmonare și atricul stâng și a presiunii din cavitatea toracică, variabilă în cursul fazelor respirației. La sfârșitul diastolei atriale, presiunea sângelui în atri crește peste valoarea presiunii telesistolice din cavitățile ventriculare și determină deschiderea pasivă a valvelor atrioventriculare.

Ciclul cardiac ventricular

Sistola ventriculară:

Perioada de pregătire (0,07sec. – 0,09sec.) de scurtă durată, nu se poate măsura practic. Convențional se măsoară de la unda q (ECG) până la primele vibrații ale zgomotului I (închiderea mitralei), deci din momentul în care unda de excitație ajunge la miocard până la momentul de răspuns prin contracția ventriculului. Se înregistrează direct prin cateterism. Contracția miocardului crește valoarea presiunii intracavitare a sângelui și determină închiderea valvelor atrioventriculare (componentele valvulare mitrală închidere – Mî, tricuspida închidere – Tî, aparținând zgomotului I fiziologic).

Perioada contracției izovolumetrice (0,05sec.). Miocardul este în contracție, presiunea sângelui crește până la valori mai mari decât presiunea diastolică din aortă, respectiv artera pulmonară și determină deschiderea valvelor sigmoide de la baza acestor artere (pulmonară deschidere – Pd, aortă deschidere – Ad, componente valvulare ale zgomotului I fiziologic).

Perioada de ejeție rapidă (0,09sec.). Miocardul în contracție determină creșterea în continuare a presiunii intracavitare a sângelui și ejeția unui volum de sânge (volum sistolic) împotriva presiunii din arterele mari.

Perioada de ejeție lentă (0,13sec.). Sângele este în continuare expulzat din cavitățile ventriculare în aortă și artera pulmonară, cu viteză redusă la un gradient de presiune mai mic și în scădere. Presiunea sângelui, în arterele mari ajunge la valoarea presiunii sistolice.

Diastola ventriculară

Protodiastola fiziologică (0,04sec.). Corespunde perioadei de la sfârșitul ejeției lente în care se egalizează presiunile ventricul-aortă, respectiv artera pulmonară, contracția miocardului încetează, coloana de sânge din artere rămâne un timp scurt în echilibru, tinde să se întoarcă spre ventricul și determină închiderea valvelor sigmoide (componente valvulare ale zgomotului II fiziologic: aortă închidere – Aî, pulmonară închidere - Pî).

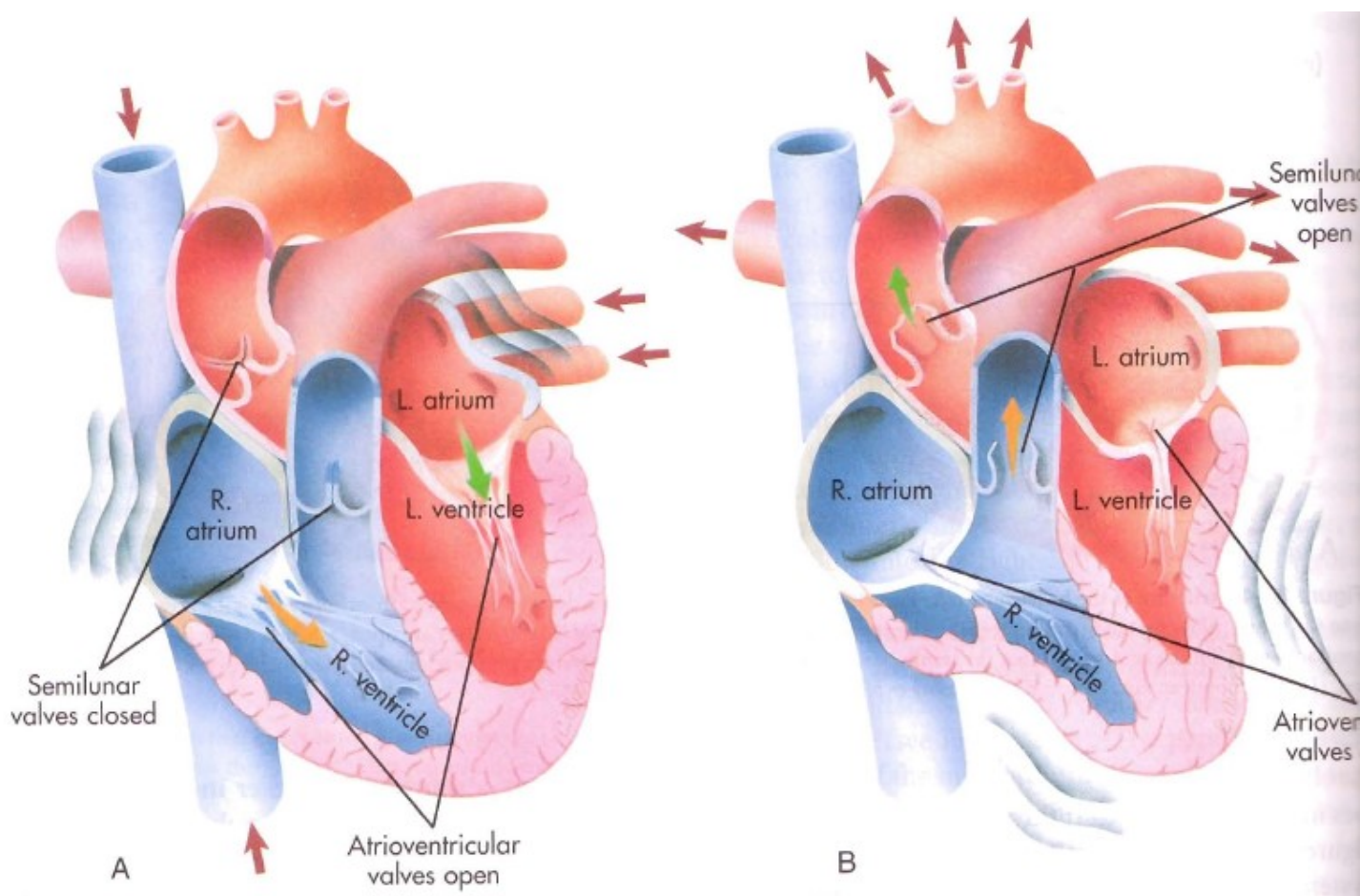
Relaxarea izovolumetrică (0,08sec.). Durează de la închiderea valvelor sigmoide (aortă și pulmonară) până la deschiderea valvelor atrioventriculare, situându-se în interiorul zgomotului II fiziologic. Miocardul se relaxează și determină creșterea volumului cavității ventriculare urmată de scăderea presiunii intraventriculare. La valori ale presiunii mai mici decât presiunea sângelui din atri se deschid pasiv valvele atrio-ventriculare (tricuspidă deschidere – Td, mitrală deschidere – Md, componente valvulare al zgomotului II fiziologic).

Umplerea rapidă (0,11sec.). Deschiderea valvelor atrio-ventriculare permite curgerea sângelui acumulat în atri la un gradient de presiune care, este suficient de mare pentru a determina o curgere turbulentă. Acest fenomen stă la baza producerii zgomotului III fiziologic.

Umplerea lentă (0,19sec. – 0,27sec.). Este perioada în care atât atriul cât și ventriculul sunt în diastolă (diastola generală). Scăderea gradientului de presiune determină o curgere cu caracter laminar, fără zgomote.

Sistola atrială (0,11 – 0,15sec.). Se suprapune cu ultima parte din diastola ventriculară. Cuprinde zgomotul IV fiziologic produs prin ciocnirea sângelui împins de contracția atrială cu masa de sânge aflată în repaus în cavitatea ventriculară.

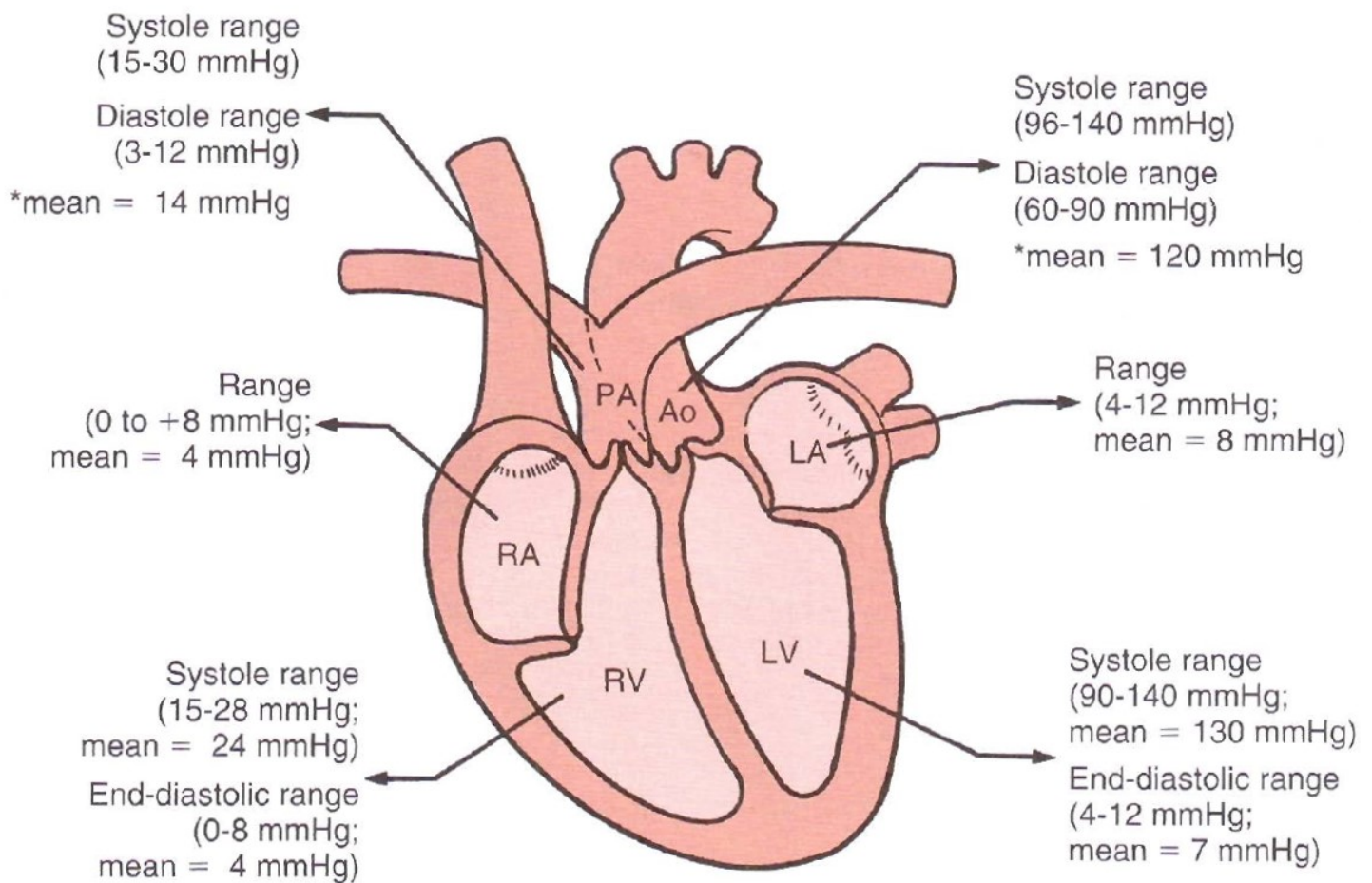
Cele mai stabile perioade, în cazul modificării frecvenței cardiace, sunt contracția izovolumetrică și relaxarea izovolumetrică. Perioadele care se modifică sunt în ordine: umplerea lentă, umplerea rapidă, ejeția lentă și ejeția rapidă.



**A. Secțiune prin cord
în timpul contracției atriale.**

**B. Secțiune prin cord
în timpul contracției
ventriculare.**

(Pathophysiology. The Biologic Basis for Disease in Adults and Children, sixth edition, Mosby Elsevier, 2010)



Valori normale ale presiunilor intracavitare și în vasele mari, în sistolă și în diastolă.

(Pathophysiology. The Biologic Basis for Disease in Adults and Children, sixth edition, Mosby Elsevier, 2010)

**Graficul presiunii arteriale
[mmHg]**

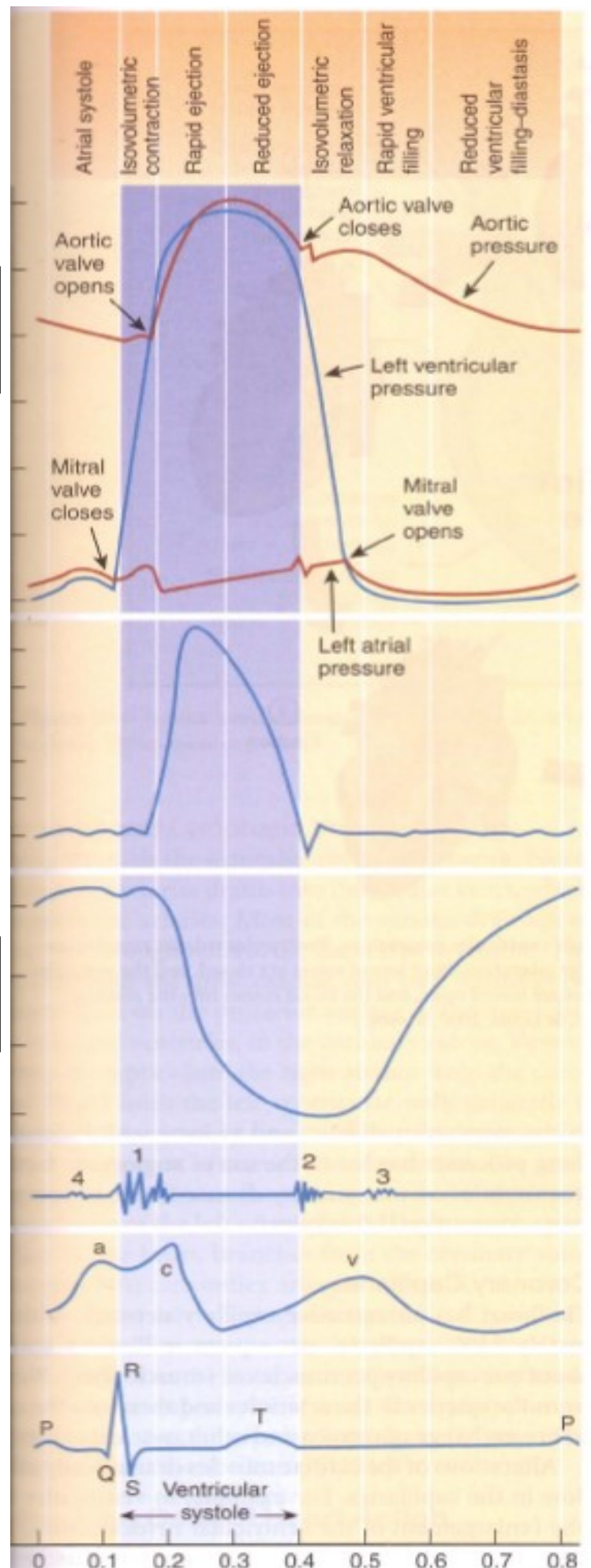
**Graficul fluxului sanguin
aortic [l/minut]**

**Graficul volumului
ventricular [ml]**

Fonocardiograma

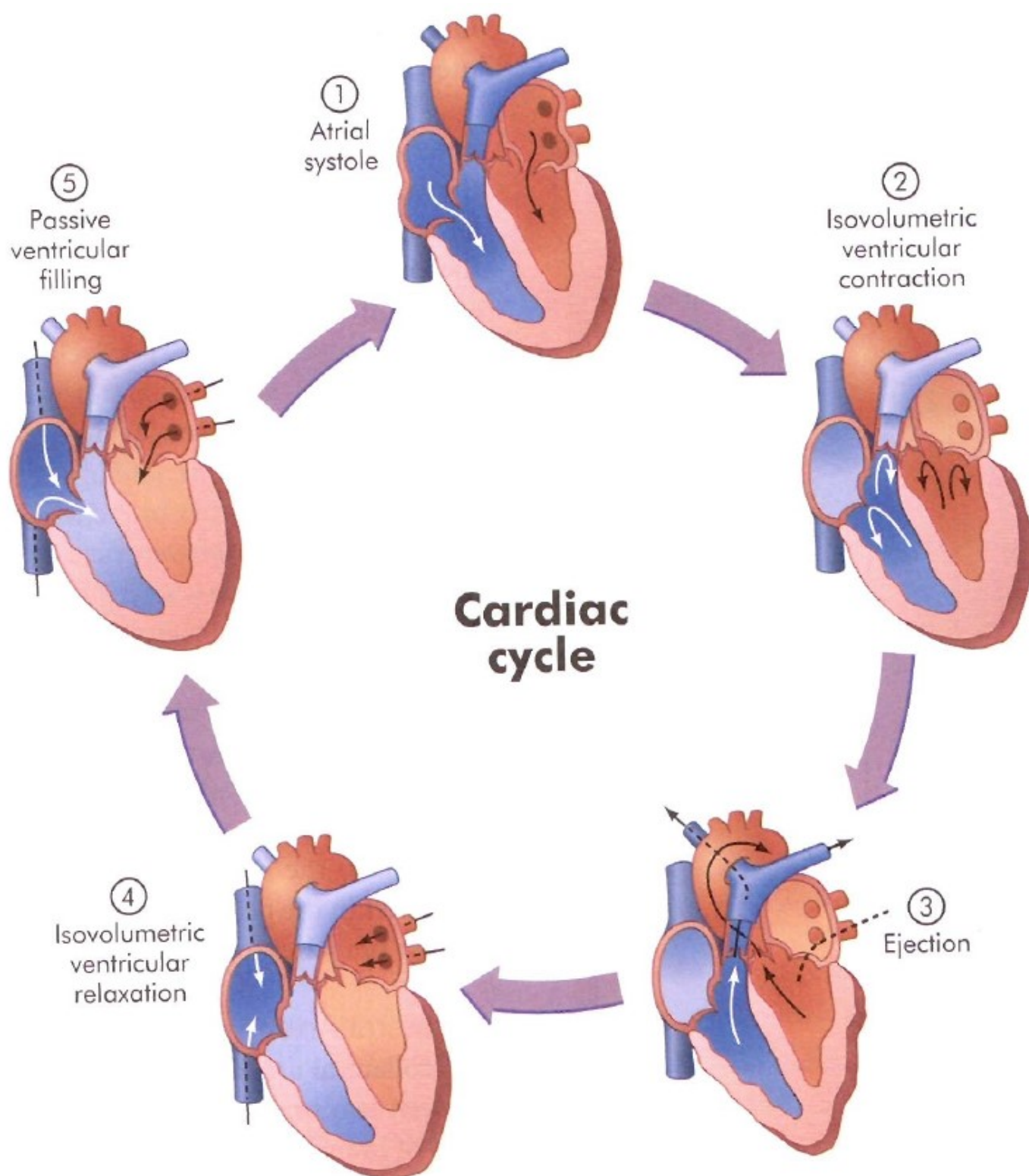
Puls venos

Electrocardiograma



Corelația dintre fazele ciclului cardiac

(Pathophysiology. The Biologic Basis for Disease in Adults and Children, sixth edition, Mosby Elsevier, 2010)



Fazele ciclului cardiac

(Pathophysiology. The Biologic Basis for Disease in Adults and Children, sixth edition, Mosby Elsevier, 2010)

CURBA PRESIUNE – VOLUM

Curba presiune – volum reprezintă grafic relația dintre volumul ventricular (abscisă) și presiunea intraventriculară (ordonată), în succesiunea fazelor ciclului cardiac. Suprafața internă a curbei reprezintă lucrul mecanic dinamic (de ejeție) efectuat de ventriculul pentru care este trasată curba.

Explicația curbei presiune – volum a ventriculului stâng (VS):

Segmentul A – B: corespunde **perioadei de umplere rapidă;**

- punctul A corespunde deschiderii valvei mitrale;
în VS: volumul = 50 ml și presiunea = 7 mmHg ;
- punctul B corespunde începutului perioadei de umplere lentă ;
în VS: volumul = 70 - 75 ml și presiunea = 5 – 10 mmHg;
- segmentul A – B are traiect ușor descendent prin scăderea presiunii în cursul relaxării musculaturii ventriculare în diastolă.

Segmentul B – C: corespunde **perioadei de umplere lentă**, urmată de sistola atrială.

- variația de volum : 70 – 120 ml,
- variația de presiune : 5 – 10 mmHg.

Segmentul C – D: corespunde **perioadei de contracție izovolumetrică;**

- punctul C corespunde închiderii valvei mitrale;
- punctul D corespunde deschiderii valvelor sigmoide aortice la volum = 120 ml (volumul telediastolic) și presiune = 80 mmHg (presiunea diastolică în aortă).

Segmentul D – E: corespunde **perioadei de ejeție rapidă;**

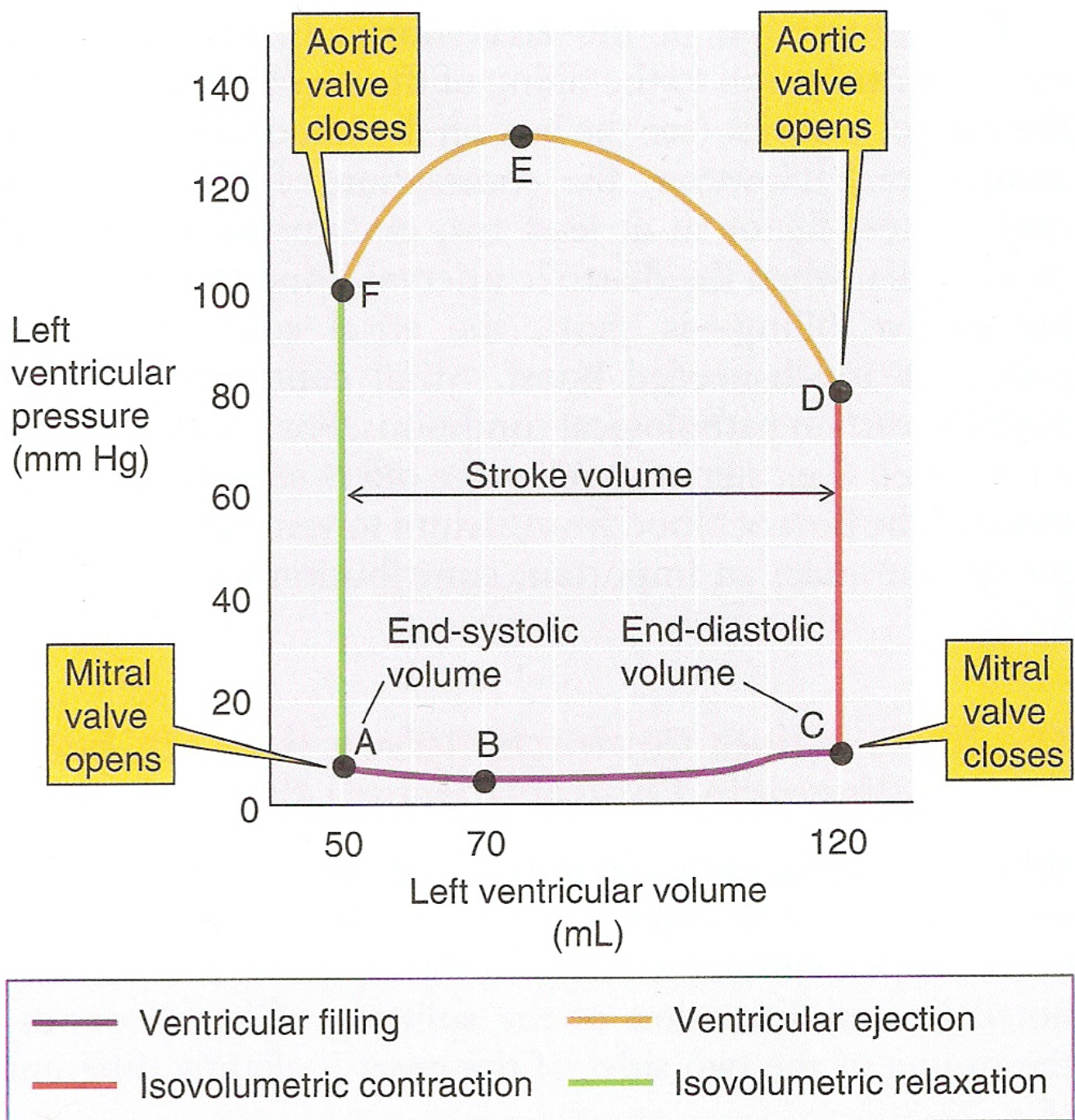
- punctul E corespunde maximului ejeției:
volumul sângelui în ventricul scade de la 120 ml la 70 ml,
presiunea intraventriculară crește, prin contracția miocardului, de la 80 mmHg la 120 – 130 mmHg;

Segmentul E – F: corespunde **perioadei de ejeție lentă;**

- punctul E corespunde începerii relaxării miocardului ventricular,
- punctul F corespunde închiderii valvelor sigmoide aortice,
- presiunea scade de la 130 mmHg la 100 mmHg,
- volumul scade de la 70 – 75 ml la 50 ml (volum telesistolic).

Segmentul F – A: corespunde perioadei de **relaxare izovolumetrică;**

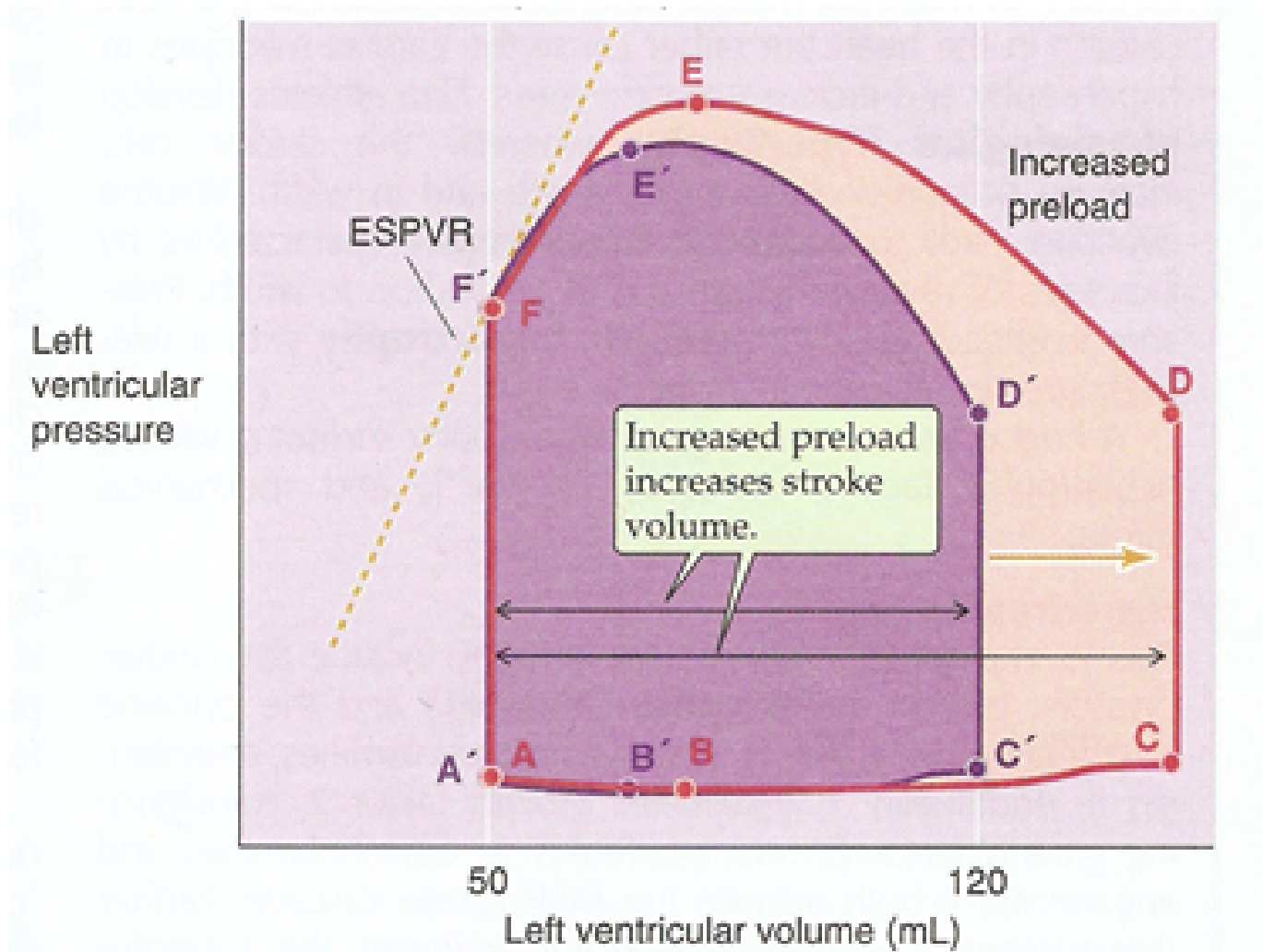
- presiunea scade de la 100 mmHg la 7 mmHg la volum de sânge intraventricular de 50 ml, prin relaxarea miocardului ventricular în diastolă.



Curba presiune-volum în ciclul cardiac pentru ventriculul stâng.

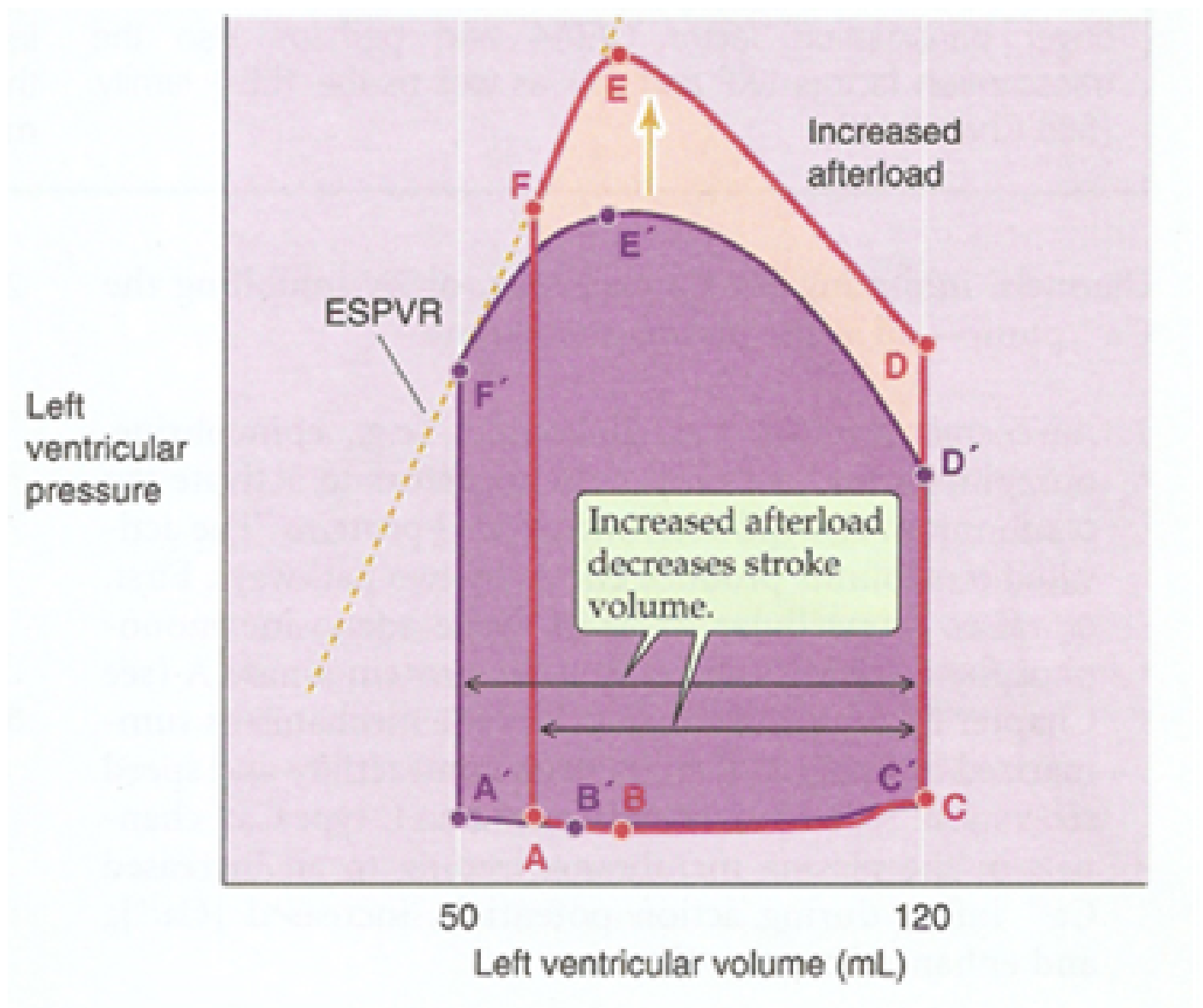
(Boron, Boulpaep - Medical Physiology, second edition, Saunders Elsevier, 2009)

Exemple de curbe presiune – volum, în situații fiziopatologice



**Curba presiune-volum pentru ventriculul stâng în condiții de presarcină crescută.
(crește volumul sistolic)**

(Boron, Boulpaep - Medical Physiology, second edition, Saunders Elsevier, 2009)



**Curba presiune-volum pentru ventriculul stâng în condiții de postsarcină crescută.
(scade volumul sistolic)**

(Boron, Boulpaep - Medical Physiology, second edition, Saunders Elsevier, 2009)

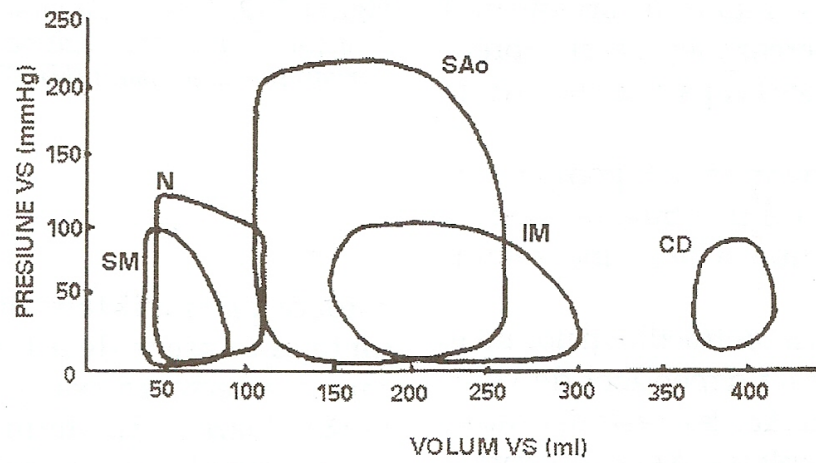
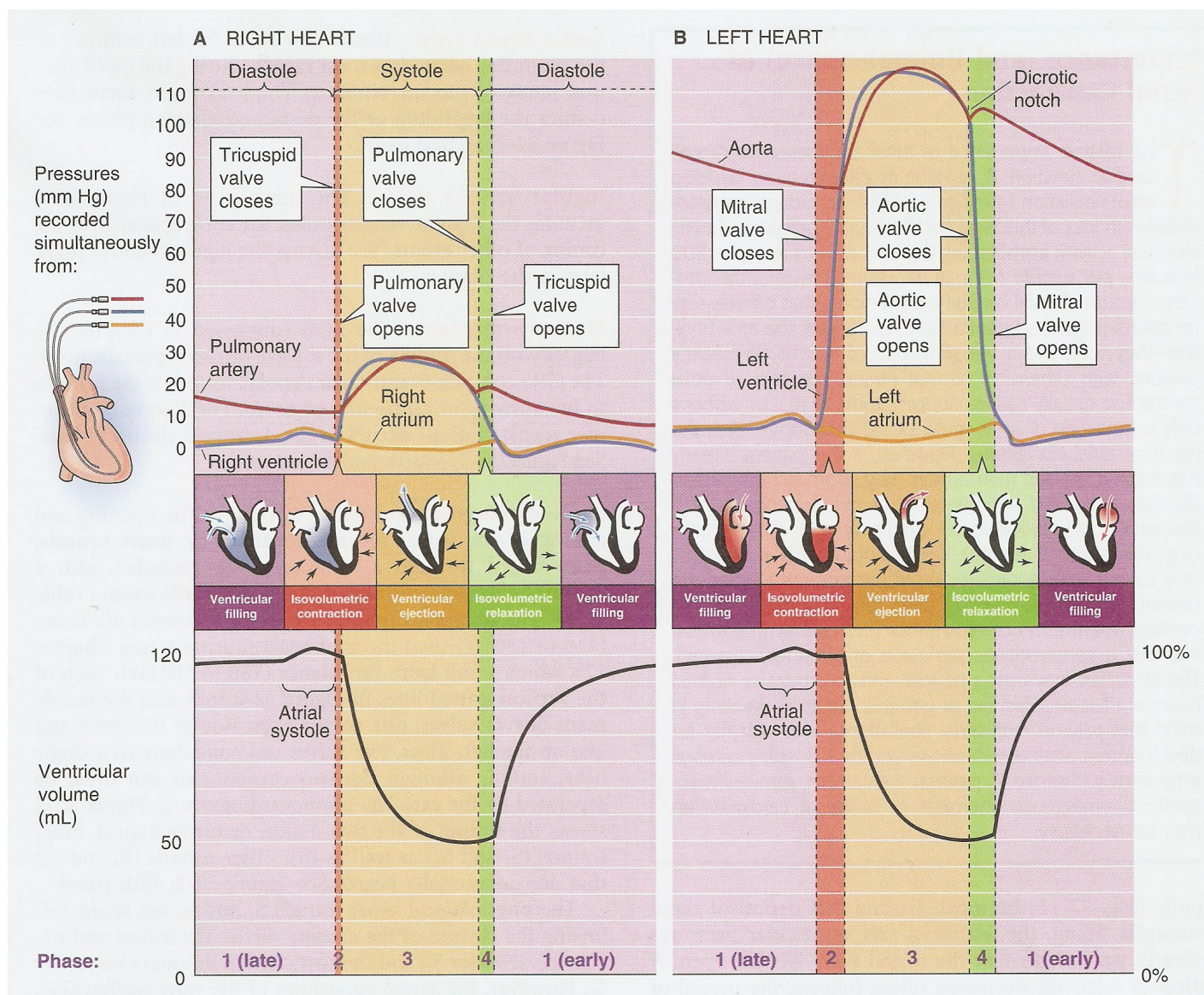


Figura 5.25. Interrelația presiune-volum în diferite afecțiuni cardiace comparativ cu normalul (N): SM-stenoză mitrală, IM-insuficiență mitrală, SAo-stenoza aortică, CD-cardiomiopatie dilatativă (929)

(M. SABĂU Fiziologia inimii. University Press - Târgu Mureș - 1999)



Modificările presiunilor și volumelor intraventriculare în cursul fazelor ciclului cardiac prezentate comparativ pentru ventriculul stâng și respectiv ventriculul drept.

(Boron, Boulpaep - Medical Physiology, second edition, Saunders Elsevier, 2009)

PRESSURES (mm Hg)					
Right Atrium			Left Atrium		
Mean		2	Mean		8
			a wave	13	
			c wave	12	
			v wave	15	
Right Ventricle			Left Ventricle		
Peak systolic	30		Peak systolic	130	
End diastolic	6		End diastolic	10	
Pulmonary Artery			Aorta		
Mean		15	Mean		95
Peak systolic	25		Peak systolic	130	
End diastolic	8		End diastolic	80	
Pulmonary Capillaries			Systemic Capillaries		
Mean		10	Mean		25

Valori normale pentru presiunea sângelui, prezentate comparativ între circulația sistemică și circulația pulmonară.

(Boron, Boulpaep - Medical Physiology, second edition, Saunders Elsevier, 2009)

DEBITUL CARDIAC

Definiție: debitul cardiac (Q_c) este volumul de sânge pompat de ventriculul stâng în aortă în fiecare minut.

Formulă: $Q_c \text{ (debit cardiac)} = \text{volum sistolic (VS)} \times \text{frecvența cardiacă (Fc)}$

Valori normale: 5,5 – 6,5 litri / min.

INDEXUL CARDIAC: este raportul dintre debitul cardiac și suprafața corpului.

Valori normale: 3,2 – 3,8 litri / minut $\times m^2$ suprafață corporală

FRAȚIA DE EJECTIE (FE): reprezintă fracțiunea din volumul telediastolic (VTD) ejectată în aortă ca volum sistolic (VS).

Formulă: $FE = VS / VTD$

Valori normale: 0,67 - 0,08% sau peste 55 % - 60 % în repaus.

Observație: fracția de ejecție a ventriculului stâng este egală cu fracția de ejecție a ventriculului drept.

DEBITUL CARDIAC

Variații fiziologice

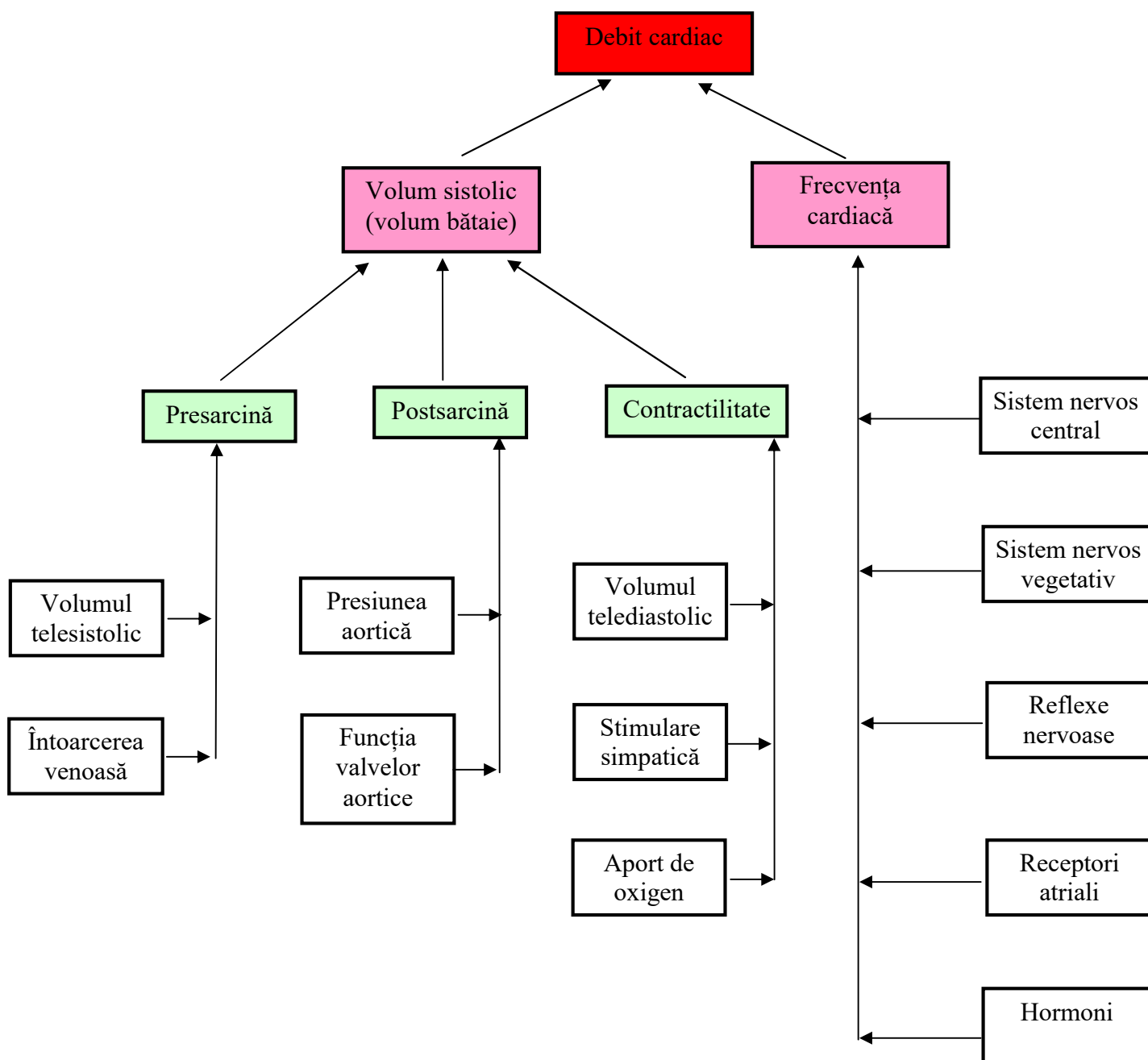
Debitul cardiac - la copii indexul cardiac este mai mare decât la adulți,

- crește prin stimulare simpatică,
- scade prin stimulare parasimpatică,
- crește în digestie aprox. 3 ore,
- crește în sarcină, în trimestrul III, proporțional cu volemia,
- crește în stres,
- scade în somn,
- crește în efort fizic de 6 -7 ori (frecvența cardiacă crește de 3 ori, iar volumul sistolic crește de 2 – 3 ori), ajungând la valori de 30 litri/minut.

Variații patologice

Debitul cardiac - crește în: febră, anemii, hipertiroidism, etc.

- scade în: aritmii, frecvențe cardiace mari, miocardite, infarct miocardic, etc.



Factorii care influențează performanța cardiacă.

(Pathophysiology. The Biologic Basis for Disease in Adults and Children, sixth edition, Mosby Elsevier, 2010)

ZGOMOTELE CARDIACE

Zgomotele cardiace sunt vibrații audibile determinate de fenomene hemodinamice ale inimii și vaselor mari în timpul unui ciclu cardiac. Zgomotul este un sunet complex cu numeroase componente și intervale mici, de durată scurtă. Ca orice vibrație sonoră, zgomotele cardiace se caracterizează și ele prin tonalitate (frecvență) exprimată în număr de cicli pe secundă (Hz); intensitate (exprimată în decibeli); durată (în secunde) și timbru (în funcție de numărul de armonici ce însoțesc sunetul fundamental).

Zgomotele produse de activitatea inimii ocupă o bandă îngustă, cu frecvențe de la ordinul hertzilor până la sute de hertzi (banda ascultatorie a lui Luissada). Între 20 – 200 Hz și 40 decibeli se situează zgomotele cardiace normale. Analizatorul auditiv percepe zgomote între 16–20.000 Hz. Zgomotele cardiace de frecvență mai joasă de 20 Hz nu pot fi astfel percepute de ureche, eventual le putem simți la palparea toracelui, datorită intensității lor, sau le putem înregistra pe fonocardiogramă.

În formarea zgomotelor cardiace participă:

- componentele valvulare: închiderile valvulare se realizează în sens invers circulației sângelui și generează zgomote mult mai intense decât deschiderile valvulare ce se fac în sensul circulației sângelui;
- componentele hemodinamice: curgerea turbulentă;
- componentele vasculare: vibrația pereților vasculari ai aortei și pulmonarei în timpul ejejecției rapide.
- contracția și relaxarea fibrelor musculare prin frecarea fibrelor între ele.

După Luissada zgomotele cardiace sunt:

- sistolice: zgomotul I și II.
- diastolice: zgomotul III și IV.

Zgomotul I durează 0,08sec. – 0,12sec., tonalitatea de 80 Hz, apare la 0,02sec. – 0,04sec. de la unda q (ECG) și este alcătuit dintr-un presegment, segment principal și postsegment.

Presegmentul apare la 0,03 de la unda q, are o frecvență joasă (30-50 Hz) și este generat de componenta muscalura – vibrații ale miocardului, durează 0,02 – 0,04sec., nu se poate auzi, dar se poate înregistra pe fonocardiogramă.

Segmentul principal al zgomotului I durează 0,06sec. – 0,10sec., are tonalitatea 80 Hz și este generat de contracția musculaturii ventriculare și de elemente valvulare, mitrală închidere, tricuspida închidere, pulmonară și aortă deschidere (Mî Tî Pd Ad).

Postsegmentul zgomotului I durează 0,02sec. – 0,04sec., are 25 – 50 Hz și este generat de distensia și vibrația pereților aortei și pulmonare în ejejecția rapidă.

Zgomotul II apare la 0,02sec. – 0,04sec. de la unda T (ECG), durează 0,06sec.- 0,10sec. are o tonalitate 100–120 Hz și marchează sfârșitul sistolei. Este alcătuit din presegment, segment principal și postsegment.

Presegmentul este inconstant, durează 0,02sec., are 25 – 30 Hz, se percepe bine la copiii până la 5 ani, la focarul aortei.

Segmentul principal durează 0,05sec. – 0,07sec. și este generat de componentele valvulare, aortă și pulmonară închidere, (Aî Pî). Între aceste două componente este un decalaj de 0,02sec..

Postsegmentul se aude rar, durează 0,04sec., are 30 Hz și este generat de tricuspidă și mitrală deschidere. (Td, Md).

Între segmentul principal și postsegmentul zgomotului II se află perioada de relaxarea izovolumetrică. La copii acest zgomot e mai intens la focarul pulmonarei, iar la vârstnici la focarul aortei.

Între zgomotul I și II *se defășoară sistola*, între zgomotul II și următorul zgomot I – *se desfășoară diastola*.

Zgomotul III apare la 0,13sec. de la zgomotul II, durează 0,04sec. – 0,06sec., are 25 – 50 Hz, este generat de curgerea turbulentă a sângelui, în perioada de umplere rapidă. Se aude inconstant, dar se înregistrează întotdeauna când se produce la focarul mitral, la copii, tineri cu perete toracic subțire, la gravide, spre sfârșitul sarcinii. Peste vârsta de 40 de ani, apariția lui are semnificație patologică.

Zgomotul IV apare la 0,02sec. – 0,04sec. după unda P (ECG), are tonalitate joasă - 20 Hz, intensitate slabă, apare în umplerea ventriculară telediastolică, în sistola atrială (zgomot atrial). Este generat de ciocnirea dintre o masă de sânge aflată în mișcare și sângele aflat în repaus în ventricul. Nu se aude niciodată. Se înregistrează inconstant. Este considerat fiziologic numai la tineri până la 20 ani.

Zgomotul V, are vibrații de amplitudine mică, frecvență joasă (15 – 20 Hz), durează 0,05sec. și apare între zgomotele III și IV.

Zgomotul VI, de frecvență joasă (35 Hz) și amplitudine mică, apare la sfârșitul sistolei ventriculare, generat probabil de vibrațiile pereților aortei (S. Gusti).

Metode de ascultație

- directă – punând urechea pe torace
- indirectă – cu stetoscopul.

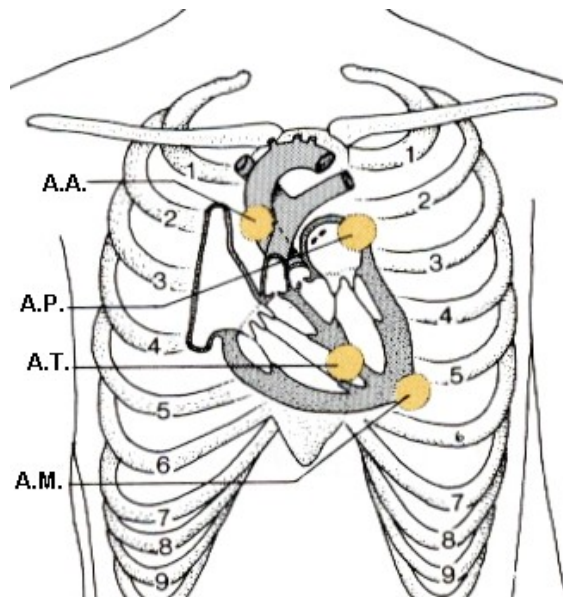
Clasic se consideră patru focare de ascultație corespunzătoare celor patru orificii valvulare. În principiu în aceste focare ar trebui să se audă un maxim de intensitate sau exclusiv, diferitele fenomene acustice ce iau naștere la orificiul valvular corespunzător. Zgomotele se propagă de la orificiile valvulare în sensul de curgere

al sângelui, transmiterea lor fiind mai ușoară prin mediul dens decât prin mediul elastic. Se cunosc două focare de apex:

- Focarul mitral – se găsește în spațiul V intercostal pe linia medioclaviculară stângă.
- Focarul tricuspida – în partea inferioară a sternului, aproape de unirea cu apendicele xifoid.

Există și două focare la baza inimii:

- Focarul aortic – în spațiul II parasternal drept;
- Focarul pulmonar – în spațiul II parasternal stâng;



Focarele de ascultație: A.A. – aria aortică; A.P. – aria pulmonară; A.T. – aria tricuspidei; A.M. – aria mitrală (după Ganong, 1981)

Zgomotul I se aude mai bine la focarul mitral și tricuspida, iar zgomotul II la focarele de la baza inimii (focarul aortei și pulmonare). Mai există și alte focare de ascultație, precum și zone mai întinse, utilizate în clinică. Se recomandă ascultația cordului pe toată aria matității cardiace și în zonele de iradiere a zgomotelor, specifice fiecărui focar de ascultație.

Fonocardiograma

Înregistrarea grafică în funcție de timp a fenomenelor sonore se numește fonocardiogramă. Aceasta se realizează cu ajutorul unor transductori (de tip cristal piezoelectric - cristal de cuarț, titanat de bariu - sau microfon electromagnetic) care transformă vibrațiile sonore în diferențe de potențial. Acestea se pot amplifica electronic și apoi înregistra.

Spre deosebire de ECG nu avem o etalonare precisă a amplificării.

Fonocardiograful posedă o serie de filtre pentru a înregistra întreaga gamă de vibrații sonore produse de inimă. Fără filtre, în înregistrare ar predomina

frecvențele joase, iar cele înalte (sufluri) fiind atenuate, nu s-ar înregistra. Filtrele au rolul de a lăsa să treacă un grup de vibrații de o anumită frecvență și de a atenua celelalte vibrații, astfel:

- filtre de joasă frecvență (35 Hz)
- filtre de frecvență medie joasă (70 Hz)
- filtre de frecvență medie înaltă (140 Hz)
- filtre de frecvență înaltă (250 Hz).

Un suflu ce ocupă toată sistola sau diastola, se numește holosistolic, respectiv holodiastolic. Un suflu în prima parte a sistolei se va numi protosistolic, în a doua parte mezosistolic și ultima parte telesistolic, respectiv proto-mezo-telediastolic.

Avantajele fonocardiogramei:

- sunt redată mai amplu, zgomotele de frecvență joasă ce nu se aud bine cu urechea;
- avantaj documentar prin urmărirea în evoluție, precizarea cronologiei zgomotelor, suflurilor și a morfologiei lor;
- apreciază gradul unei leziuni valvulare;
- apreciază forța de contracție a miocardului;
- poate înregistra zgomote intracavitare.

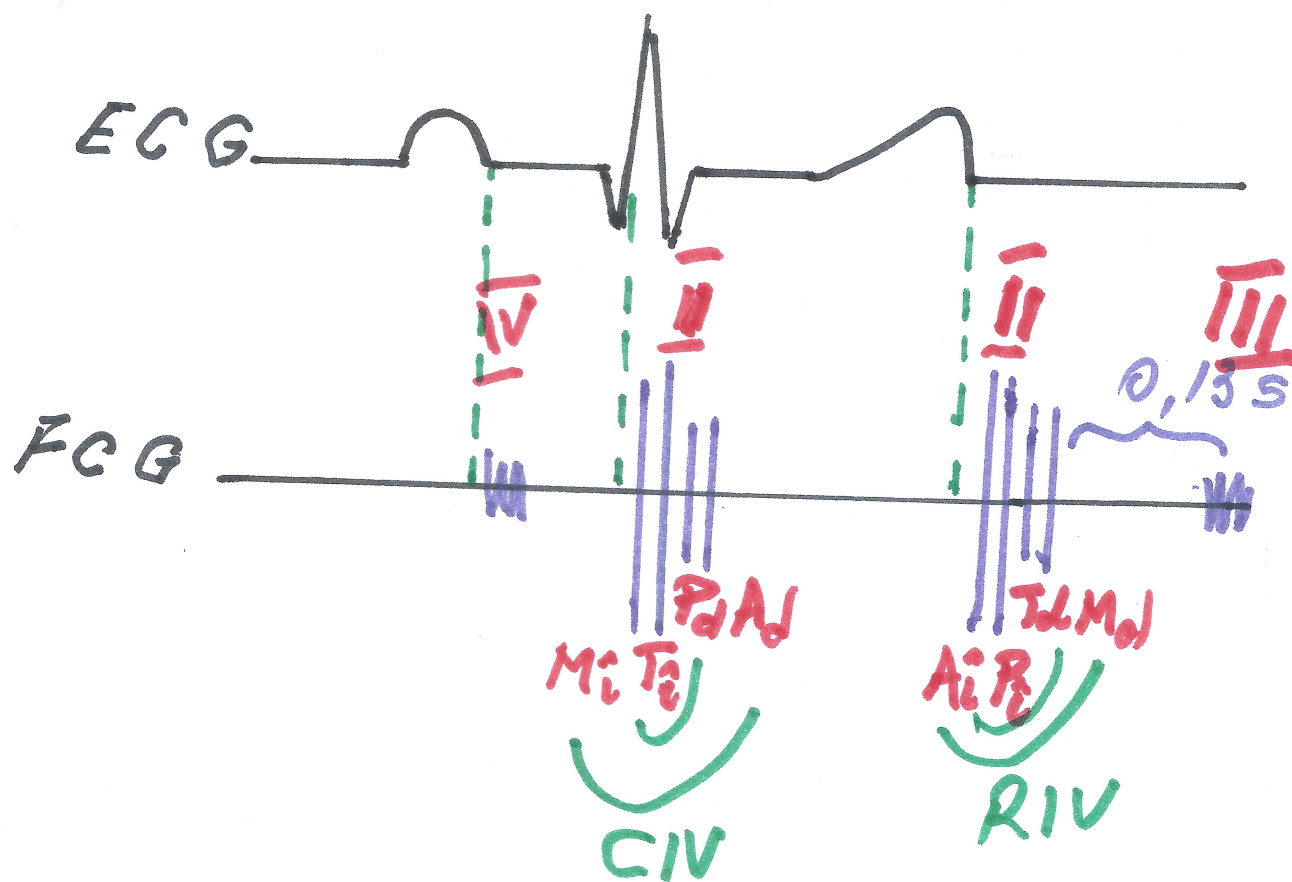
Dezavantajele fonocardiogramei:

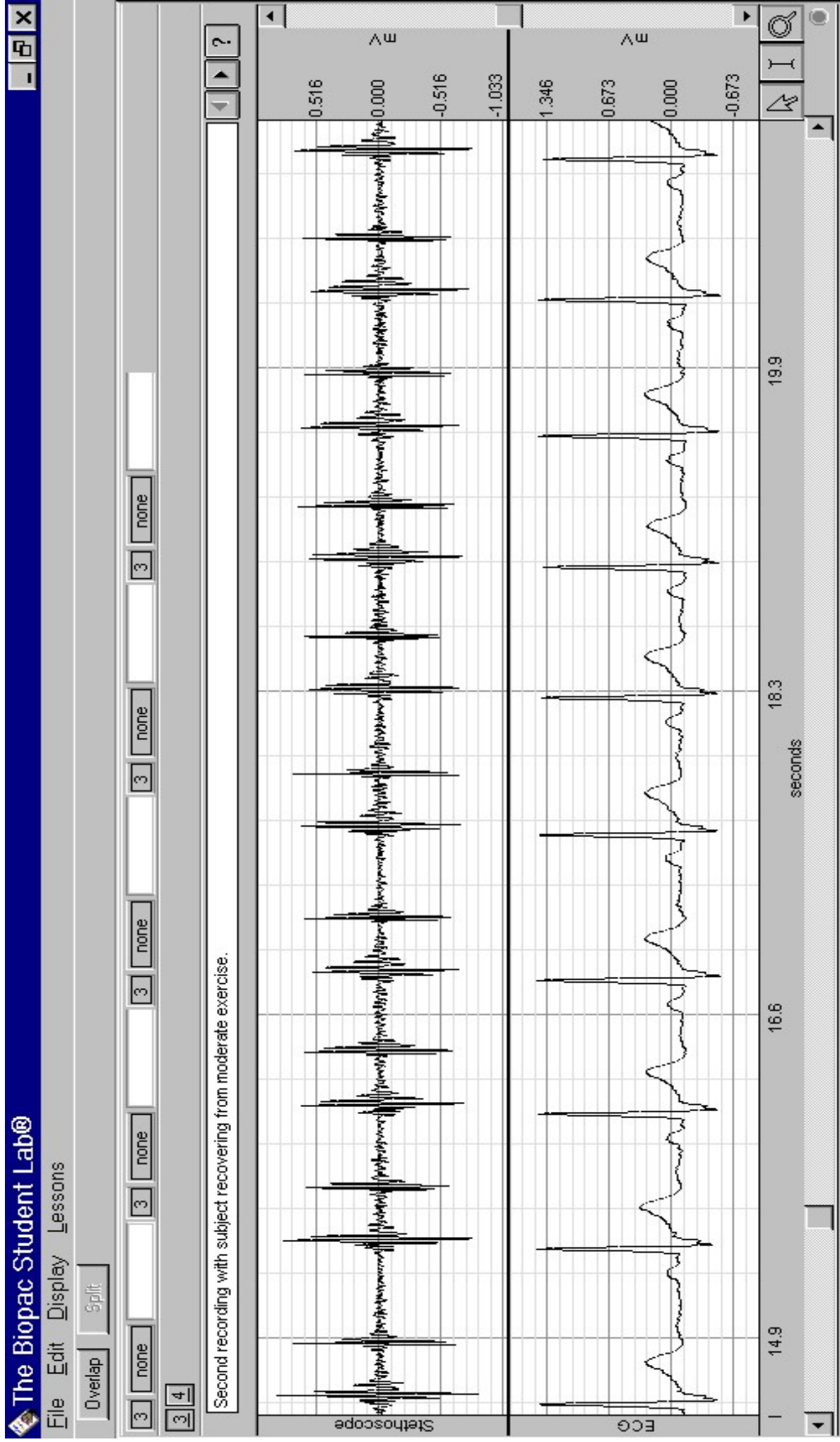
- aparatul nu este etalonat în ceea ce privește amplificarea;
- nu înregistrează zgomote de tonalitate înaltă.

Modificări ale zgomotelor cardiace: accentuarea zgomotelor I și II, scăderea intensității zgomotelor I și II, dedublarea zgomotelor I și II, sufluri sistolice și diastolice, clacmente.

CORELAȚIA

ELECTROCARDIOGRAMĂ-FONOCARDIOGRAMĂ

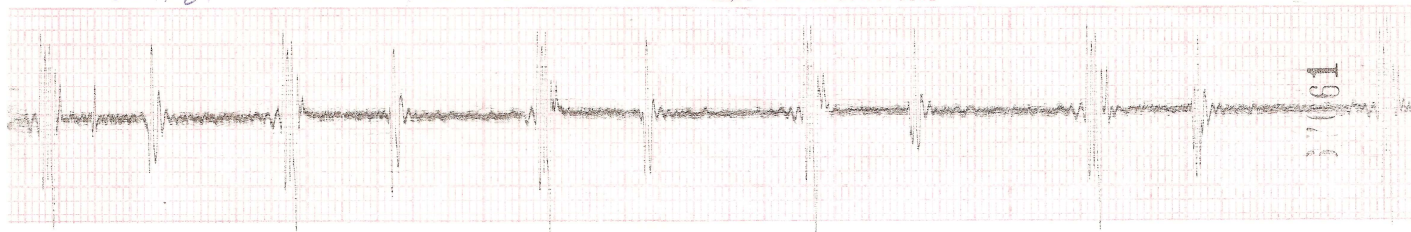




Imagine înregistrată cu ajutorul echipamentului BIOPAC Student Lab prin
achiziția semnalului corespunzător
fonocardiogramei și DII ECG.

35 Hz.

FONOCARDIOGRAMA

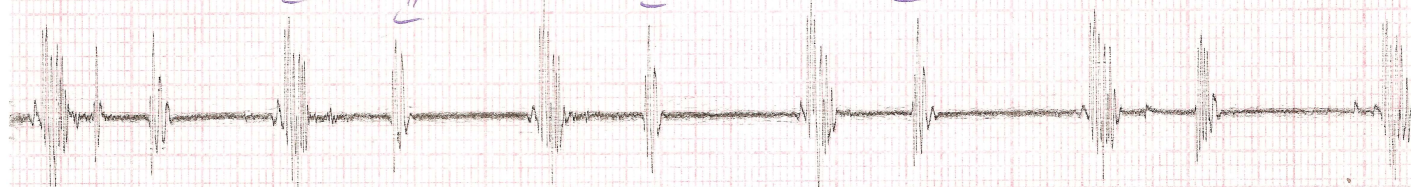


5 II - ECG.



70 Hz

I II I II I II



140 Hz



240 Hz.

