

Capitolul I

PROPRIETĂȚILE MIOCARDULUI

Inima pompează sângele de-a lungul rețelelor vasculare, asigurând oxigenul și substanțele nutritive necesare organelor și țesuturilor și elimina substanțele toxice de la nivelul acestora. Astfel sistemul cardiovascular are trei componente cu rol funcțional:

1. **cordul**, organ muscular, cu funcție de dublă pompă, cea stângă având rol în asigurarea mării circulații (de presiune înaltă, sistemică) și pompa dreaptă cu rol în menținerea circulației pulmonare;
2. **sângele**
3. sistemul vascular: **circulație sistemică** și **pulmonară**, conectate în serie.
Este alcătuit din:
 - **artere** sunt vase de distribuție a sângelui oxigenat
 - *artere de tip elastic* (arterele mari: aorta, subclavie, carotida, iliacă), cu rol de conducere; acestea transformă fluxul sangvin pulsatil (generat de activitatea ritmică a inimii) în flux continuu
 - *artere de tip muscular* (arterele medii) implicate în vasoconstricție și vasodilatație, constituind teritoriul de rezistență
 - *arteriole și metaarteriole*
 - **capilare și venule postcapilare** au rol în efectuarea schimburilor între sânge și țesuturi
 - **vene** colectează sângele, asigurând întoarcerea acestuia spre inima și are funcție de rezervor sangvin, conținând aproximativ 65% din volumul sangvin total

Dinspre interior spre exterior, cordul este format din:

- **endocard:** căptușește cavitățile cardiace la interior, având rol de protecție; este format din celule similare celulelor endoteliale și, prin contactul direct cu sângele intracavitar, previne formarea trombilor prin suprafața sa netedă; are cea mai redusă vascularizație dintre cele trei straturi, fiind primul afectat în cadrul proceselor ischemice;
- **miocard** (mușchiul inimii): asigură funcția de pompă a inimii, fiind format din fibre musculare modificate, *cardiomiocite*; este mai bine reprezentat la nivelul structurilor ventriculare, cu precădere la nivelul septului interventricular și ventriculului stâng
- **pericard:** are cele 2 foițe, seroasă (viscerală), cunoscută și ca **epicard și** foița fibroasă (parietală); aceste foițe delimitează spațiul pericardic ce conține o cantitate mică de lichid pericardic. Pericardul are rol de protecție, fixare și mecanic, reducând frecările pereților cardiaci.

Acumularea de peste 50 ml de lichid în spațiul pericardic se numește pericardită lichidiană, fiind frecvent de etiologie neoplazică, tuberculoasă sau autoimună. Clinic se manifestă prin durere precordială, frecătură pericardică, iar pe ECG apar modificări **difuze** precum: supradenivelare de ST cu subdenivelare de PR și scăderea globală a amplitudinii traseului (complexe hipovoltate).

PROPRIETĂȚILE MIOCARDULUI

- EXCITABILITATEA/ funcția batmotropă
- AUTOMATISMUL/ funcția cronotropă
- CONDUCTIBILITATEA/ funcția dromotropă
- CONTRACTILITATEA/ funcția inotropă
- RELAXAREA/ funcția lusitropă

Excitabilitatea (funcția batmotropă)

Este proprietatea celulei miocardice de a răspunde la stimuli prin producerea unui potențial de acțiune propagat. Celula miocardică are o proprietate aparte: este excitabilă doar în diastolă pentru a asigura rolul de pompă ritmică (în sistolă este în faza refractară absolută) - *legea inexcitabilității periodice a inimii*.

Membrana celulei miocardice este polarizată, deoarece există o distribuție inegală a sarcinilor electrice de o parte și cealaltă a acesteia, prin activitatea permanentă a **sistemelor de transport membranar** în repaus.

Atunci când asupra unui miocardiocit acționează un stimul cu intensitate prag, se produc modificări structurale la nivelul proteinelor canaliculare, determinând deschiderea acestora. Trecerea ionilor prin canalele membranare specifice, generează curenți ionici, de două tipuri:

- **depolarizanți**, care determină pătrunderea intracelulară a sarcinilor pozitive (Na, Ca), scăzând electronegativitatea
- **repolarizanți**, care determină ieșirea din celulă a sarcinilor pozitive (K), crescând electronegativitatea din interiorul celulei

Sistemele de transport transmembranar sunt reprezentate de :

1. Canale ionice

Canale de K

- a. **Canale de potasiu rectificatoare spre interior** (inward rectifier potassium channels), active în faza de repaus, sunt de mai multe tipuri:
- **K_{ir} (K₁)** cu rol în menținerea potențialului de repaus în jurul valorii de -90 mV;
 - **K_{ATP}** (canale de potasiu dependente de ATP), reglate metabolic: sunt stimulate (se deschid) de reducerea ATP-ului intracelular (nivelurile normale de ATP blochează activarea), producând hiperpolarizare membranară (prin ieșirea K)
 - în condiții de ischemie (ischemia e însoțită de depleție de ATP), hiperpolarizarea determină scăderea contractilității miocardice, protejându-l
 - **canale de potasiu dependente de mediatori** (Ex: de adenzina, de acetilcolina, etc) se activează prin intermediul unor receptori specifici
- b. **Canale de potasiu voltaj dependente** se activează lent, după depolarizare, având rol în repolarizare și determinând durata PA
- **curentul de potasiu tranzitor spre exterior** (Ito - transient outward current): responsabil pentru faza 1 a PA

- canalul lent de potasiu, K_s (slow)
- canalul rapid de potasiu, K_r (rapid)
- canalul de potasiu ultrarapid, K_{ur} (ultrarapid current), determină durata mai scurtă a PA, fiind prezente la nivelul atriolelor

Canale de Na voltaj dependente sunt active în faza 0 a depolarizării rapide

Canale de Ca voltaj dependente sunt de 2 tipuri:

a. Tip L (long lasting)

- au pragul de activare la -40 mV
- se activează lent
- se găsesc în
 - fibre miocardice de lucru => faza 2 a PA
 - celule nodale => faza 0 a PA
 - mușchi scheletici => cuplare excitație cu contracție

b. Tip T (transient)

- au un prag de activare la valori mai electronegative ale potențialului membranar (< -40 mV)
- se activează rapid

se găsesc la nivelul NSA => descărcări repetitive de PA (depolarizarea diastolică)

Canale ionice neselective:

a. canale care mediază *curentul de pacemaker, I_f* (the funny current) intervin în depolarizarea spontană diastolică a celulelor cu automatism; astfel:

- sunt activate de hiperpolarizare
- determină pătrunderea de Na^+ intracelular (ocazional și transferul de K^+)
- ivabradina și acetilcolina inhibă aceste canale

b. canale *activate de întindere* (stretch-activated channels), permeabile în special pentru Ca, sunt responsabile de feedback-ul mecano-electric și au potențial aritmogen.

2. Pompe ionice – sisteme de transport activ primar

a. *ATP-aza dependența de Na și K*

- este electrogenică: introduce activ 2 ioni de K^+ în celula și scoate 3 ioni de Na^+
- este inhibată de digitală

b. *ATP-aza dependența de Ca*

- expulzează Ca citoplasmatic

3. Schimbători ionici

a. *schimbătorul Na^+ / Ca^{++}*

- situat în special la nivelul tubilor T
- este un sistem voltaj-senzitiv:
 - o potențialele negative (< -40 mV) expulzează Ca
 - o potențiale mai pozitive (> -40 mV) introduce Ca în celulă

b. *schimbătorul Na^+ / H^+*

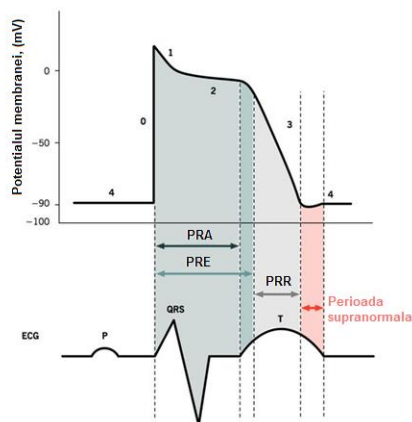
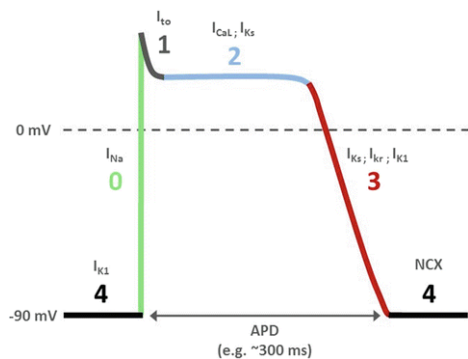
- intervine în condiții de ischemie miocardică, protejând cordul de acidoza intracelulară

Potențiale de acțiune în miocard

În funcție de viteza de depolarizare, se diferențiază două tipuri de fibre miocardice:

- cu răspuns *rapid* – miocitele atriale, fibrele Purkinje și miocitele ventriculare; PA prezintă 5 faze distincte
- cu răspuns *lent* – în NSA, NAV; PA se desfășoară în numai 3 faze

Fazele PA în fibre cu răspuns rapid



Faza 0: depolarizare rapidă – datorată influxului de Na

Faza 1: repolarizare parțială precoce – datorată efluxului K^+ (curentul I_{to})

Faza 2: platou – datorat echilibrului dintre influxul de Ca^{++} (canale tip L) și efluxul de K^+ (curenții I_K , I_{Kir} , și I_{to})

Faza 3: repolarizarea finală – eflux de K^+ (curenții I_K , I_{Kir} , și I_{to})

Faza 4: de repaus (PM = -90 mV)

În timpul potențialului de acțiune, fibra miocardică nu răspunde la stimuli suplimentari, indiferent de intensitatea acestora, aflându-se în **perioada refractară**.

- **absolută** (PRA) – stimulii aplicați în cursul PRA nu pot determina depolarizări
 - o fazele 0, 1, 2
- **efectivă** (PRE) – stimulii aplicați în cursul PRE pot determina depolarizări, fără ca acestea să se propage
 - o fazele 0, 1, 2 și prima parte din 3
- **relativă** (PRR) – stimuli suplimentari pot produce un PA cu amplitudine mică
 - o ultimă parte a fazei 3

(*) de asemenea există o **perioadă supranormală** în continuarea celei refractare relative în care un stimul subliminal poate produce depolarizare, declanșând aritmii; pe ECG aceasta apare la sfârșitul undeii T

Depolarizarea se produce mai întâi în zona subendocardică ulterior în zona subepicardică.

Repolarizarea ventriculară, proces activ, **se produce în sens invers:** debutează la nivelul celulelor subepicardice deoarece la acest nivel sunt canale rapide de K ce se deschid și K pătrunde intracelular și apoi cuprinde zona subendocardică.

Automatismul (funcția cronotropă)

Automatismul este proprietatea miocardului de a genera PA ritmice spontan, în absența unui stimul extern. Este o proprietate intrinsecă a celulelor specializate, numite celule pacemaker și se datorează aspectului particular al curbei potențialului de acțiune = **fibre miocardice cu răspuns lent**.

Celulele pacemaker se află grupate în 3 centri:

- **nodul sino-atrial:** 70-80 PA/min
 - Localizat în peretele atrului drept, adiacent orificiului de vărsare al venei cave superioare (VCS)
 - Are în structura sa celule P (palide), cu răspuns rapid și activitate de pacemaker și celule T (tranziționale), localizate periferic, care fac legătura cu celulele miocardului atrial
 - Este vascularizat de o artera care are cel mai frecvent originea în artera coronară dreapta (rar în circumflexă)
- **nodul atrio-ventricular:** 40-50 PA/ min
 - Localizat în porțiunea inferioara dreapta a septului interatrial
 - Este vascularizat de o artera care are cel mai frecvent originea în artera coronară dreapta (rar în circumflexă)
 - Prezintă trei zone: atrionodala (de tranziție), nodala (celule tipice cu răspuns lent și PR lungă), nodohissiana
- **fasciculul Hiss și rețeaua Purkinje:** 20-30 PA/min

În mod normal, nodulul sinoatrial îndeplinește rolul de pacemaker dominant al inimii, deoarece, prin frecvența sa înaltă de descărcare inhibă centrul subiacent. În cazul în care acesta își întrerupe activitatea sau se blochează comunicarea lui cu centrul inferior, aceștia vor prelua funcția de pacemaker, imprimând ritmul propriu.

Fazele PA în fibrele cu răspuns lent

Faza 0: depolarizare lentă – datorată influxului de Ca^{++} (canale tip L și T)

Faza 3: repolarizarea/ hiperpolarizarea membranei datorată efluxului de K^{+} (canale K_s și K_r)

Faza 4: depolarizare spontană diastolică – în urma hiperpolarizării, se activează curentul de pacemaker I_f , un curent depolarizant.

De asemenea, în aceasta fază canalele de Ca de tip T, cu dinamica rapidă, s-au recuperat după repolarizare, determinând și ele curent spre interior (depolarizant).

Mai mult, scad curenții de K , curenți spre exterior, repolarizați.