

# Electronica Medicală

Stimularea electrică a ţesuturilor vii

Iavorschi Anatolie



Tempus

BIOMEDICAL ENGINEERING EDUCATION TEMPUS  
INITIATIVE IN EASTERN NEIGHBOURING AREA



# Conținutul prezentării

- Stimularea electrică a țesuturilor vii
- Defibrilatoarele cardiace
- Stimulatoarele cardiace



# Defibrilarea

- *Fibrilația ventriculară* este rezultatul depolarizărilor necontrolate localizate în mușchiul cardiac.
- Acest proces afectează activitatea de pompare a sângelui de către inimă. Deoarece în această situație după 3 minute se produc distrugerii ireparabile ale creierului și moartea, este obligatorie intervenția de urgență în vederea restabilirii funcției cardiace.
- Instalarea fibrilației ventriculare apare datorită unor medicamente, tromboză coronariană, dereglări electrolitice sau electroșocuri la curenți de frecvența rețelei.



- Un stimul reprezintă pentru țesut o modificare adusă în mediul în care se află, care îl face să reacționeze.
- Dintre factorii fizici și chimici utilizați în practica medicală și în studiul fenomenelor bioelectrice, stimulii electrice sunt cei mai utilizați, deoarece prin natura lor se apropie foarte mult de stimulii biologici naturali și prezintă avantaje deosebite față de ceilalți stimuli.



- Avantajele stimulilor electrice sunt:
  - nu lezează țesuturile;
  - pot fi aplicați în mod repetat;
  - acționează imediat (timp de latență scurt) și direct;
  - generează excitații sau inhibiții în orice tip de celulă sau țesut;
  - pot fi măsurați cu precizie și pot fi aplicați oricât de localizat se dorește (exemplu intracelular), la nivele de tensiune, curenț, viteze de variație, durate și forme de undă foarte variate.

- Celulele vii și, în general, țesuturile se comportă diferit la stimulare electronică în funcție de:
  - intensitatea stimulului,
  - polaritate (pentru celulă polaritatea reprezentând stimul inhibitor sau excitator, pentru țesut depinzând de modul de aplicare a electrozilor, etc.),
  - durata aplicării,
  - viteza de variație a stimulului,
  - frecvența de recepție,
  - starea fiziologică a țesutului.





- Pentru ca o celulă, respectiv un țesut să se depolarizeze (excite), este necesar ca stimulul aplicat să depășească o anumită valoare de prag, intensitate de curent electric, respectiv tensiune electrică.
- Caracteristica de a depolariza un țesut, la valorile minimale ale excitantului electric în funcție de durata impulsului se numește *caracteristică de excitabilitate* și este specifică fiecărui țesut în parte.
- *legea Weiss – Lapicque (Reobaza, Cronaxia)...*

- Țesuturile care reacționează repede au o cronaxie mică față de cele ale țesuturilor care reacționează mai încet.
- Cronaxiile mușchiului neted și ale nervilor lui sunt mai mari decât acelea ale mușchilor scheletului și ale nervilor somatici.
- Fibrele nervoase cu un diametru mai mare și cu o conducere mai rapidă răspund la impulsuri de durate mai mici decât fibrele nervoase mai subțiri și mai lente.
- Cronaxiile nervilor senzitivi sunt, în general, egale sau foarte apropiate de cele ale nervilor motori corespunzători.
- Cronaxia țesutului de conducere cardiac este de trei ori mai mare decât a miocardului atrial și ventricular.

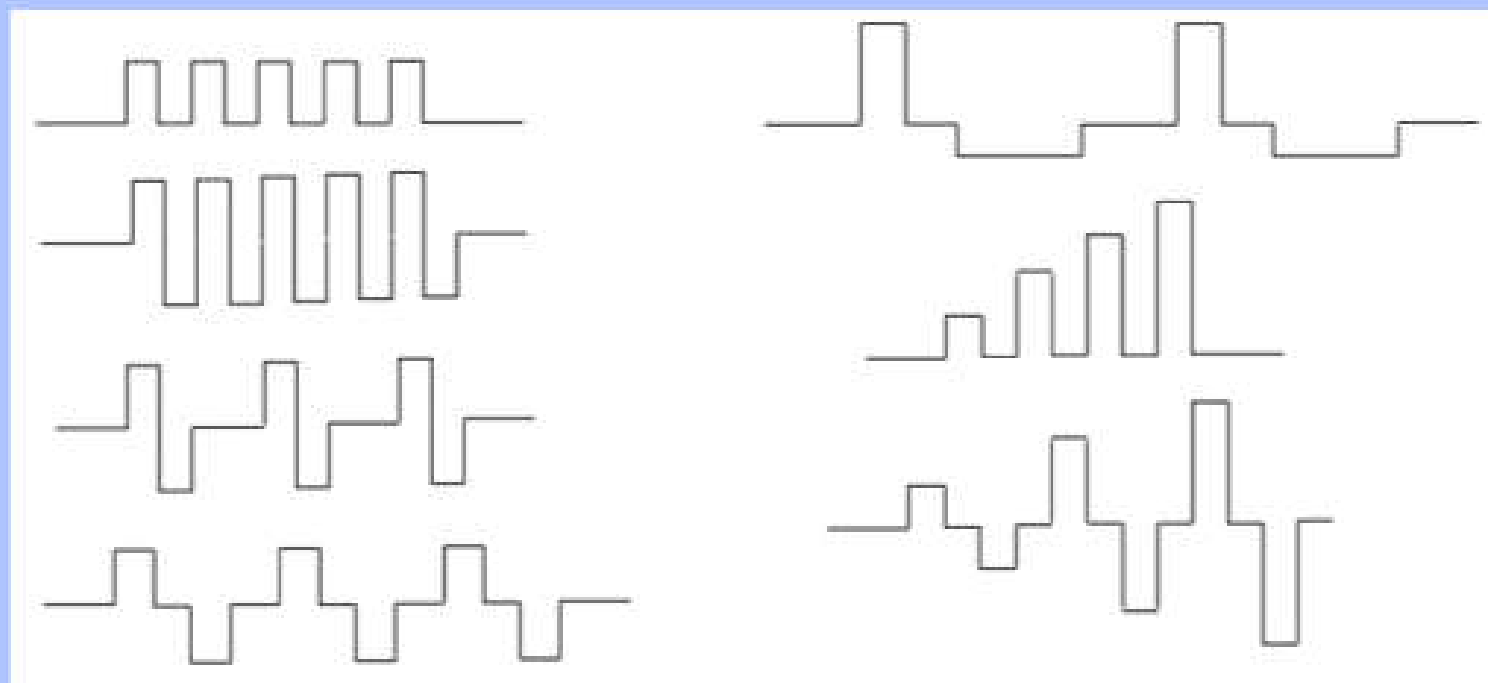


- În cazul unei stimulări prelungite, potențialul generator sau potențialul receptor crește inițial pînă la un nivel de vîrf și apoi scade, fenomen denumit adaptarea receptorilor
- Acesta este caracteristic pentru potențialul de acțiune.
- Experimental s-a dovedit că adaptarea este funcție de viteza de aplicare a stimulului.

- Timpul minim între două impulsuri de stimulare care conduc la două răspunsuri distincte este numit timp critic.
- Dacă impulsurile de stimulare sunt repetate prea rapid, fibrele nervoase, respectiv mușchii, răspund asemănător unui stimul de aceeași amplitudine, dar durată mai mare.
- Frecvența critică variază de la un țesut la altul și depinde în plus și de temperatură, oboseală, etc..
- Frecvența critică pentru mușchii importanți umani este între 5 și 15 Hz

# Stimulatoarele electrice

- Stimulatoarele electrice sunt generatoare de impulsuri de tensiune constantă și/sau curent constant, reglabile în amplitudine (max. 500 V respectiv 100 mA), în durată (50  $\mu$ s – 500 ms) și în frecvență (de la 0.1 Hz la 10 kHz).
- Unele stimulatori pot livra impulsuri unice (singulare) sau trenuri de impulsuri de durate și frecvențe reglabile:



# Stimulatoarele electrice

- Impulsurile generate pot fi de forme diferite (dreptunghiular, triunghiular, exponențial, trapezoidal, sinusoidal, etc.) monofazice, bifazice sau polifazice.
- Stimularea poate avea loc și în curent continuu (galvanic) și neofaradic (similar celui produs de bobina de inducție având durată de 1 ms și  $f = 50$  Hz).



# Stimulatoarele electrice

- La stimulatoarele electrice de curent constant (curentul de excitație – de stimulare – este constant, independent de variația rezistenței țesutului stimulat), rezistența internă este mult mai mare decât rezistența țesutului.
- La stimulatoarele electrice de tensiune constantă (tensiunea de stimulare este constantă independent de variația rezistenței țesutului stimulat) rezistența internă este mult mai mică decât rezistența țesutului.





- Fenomenele care se manifestă la interfața electrod de stimulare - țesut sunt mult diferite de cele care se manifestă la electrozii de culegere.
- Aceste fenomene pot fi:
  - gradul de polarizare,
  - dizolvarea metalului electrodului,
  - neliniaritatea impedanței de polarizare a țesuturilor,
  - natura materialelor electrod-electrolit,
  - densitatea de curent,
  - apariția unor necroze în jurul unor electrozi confecționați din anumite materiale.

- Electrozii de stimulare pot să aibă dimensiuni egale în cazul stimulării bipolare, caz în care câmpul electric are o distribuție relativ uniformă între cei doi electrozi.
- Electrozii pot fi mult diferiți ca suprafață unul dintre ei fiind redus chiar la suprafața unui ac, în cazul stimulării monopolare.
- În acest caz câmpul electric prezintă un gradient intens în regiunea electrodului mic. În regiunea acoperită de electrodul de suprafață mare nu există stimulare din cauza concentrației mici a liniilor de curent electric.

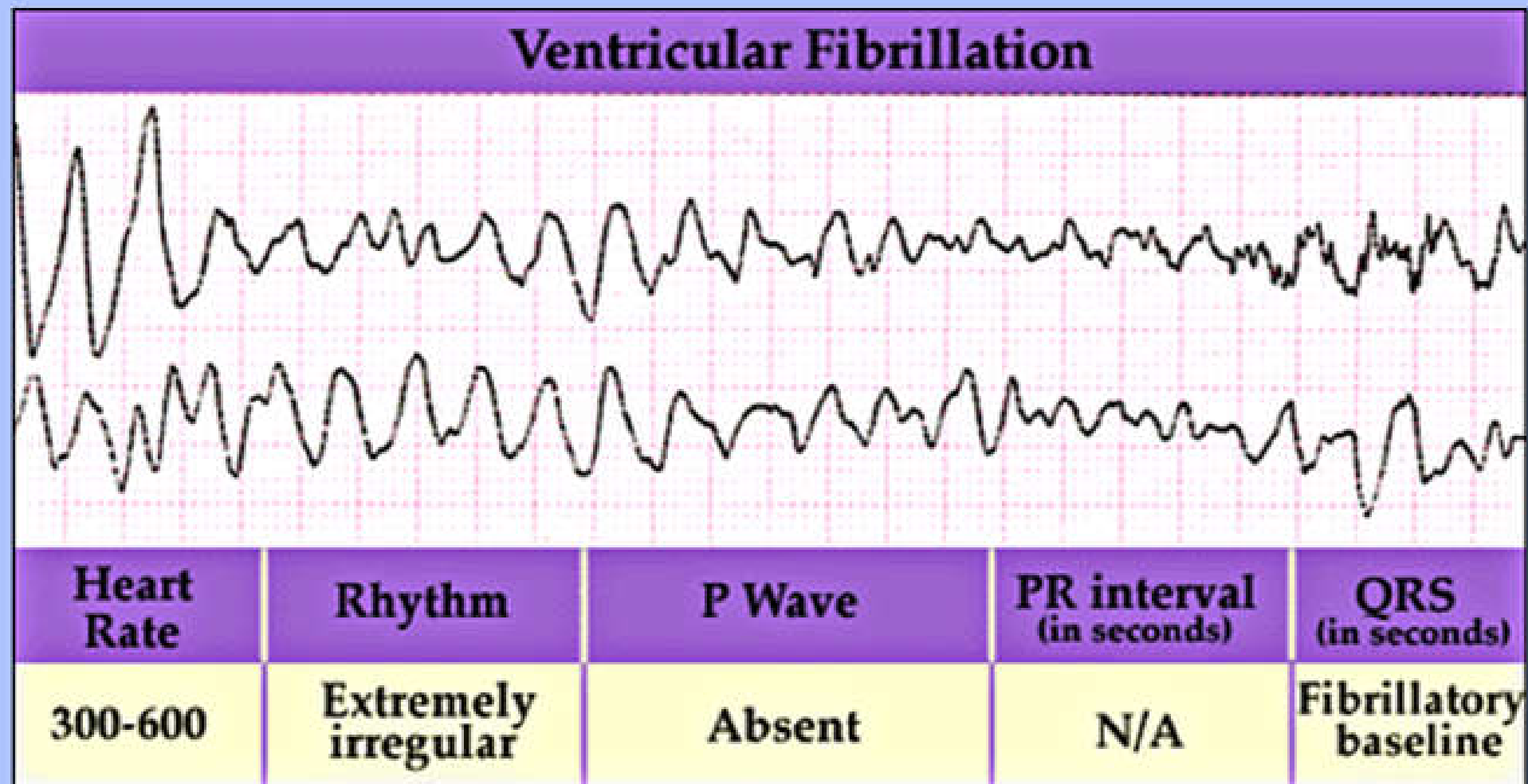
# Stimulatoarele electrice

- Stimularea mușchilor scheletici se realizează cu electrozi tip ac introduși în țesut.
- Stimularea de suprafață a țesuturilor se realizează cu electrozi de dimensiuni adecvare zonei.



# Defibrilarea

- Fibrilatia ventriculara este cea mai frecventa forma de stop cardiorespirator caracterizata pe ECG printr-o succesiune de unde neregulate, grosolane cu amplitudini si frecvente neregulate



# Defibrilarea

- Tratamentul acestei afecțiuni se face prin depolarizarea în totalitate și sincron a mușchiului cardiac.
- În urma depolarizării, nodurile Sino-Atrial și Atrio-Ventricular trebuie să își reia funcția de pacemaker și să restabilească ritmul normal al inimii.
- Metoda cea mai sigură și mai eficace de a opri fibrilația ventriculară constă în a trece un puls de curent de scurtă durată prin ventricule. Acest lucru poate fi realizat fie prin aplicarea electrozilor direct pe inimă, fie cel mai adesea prin plasarea electrozilor pe pieptul pacientului .



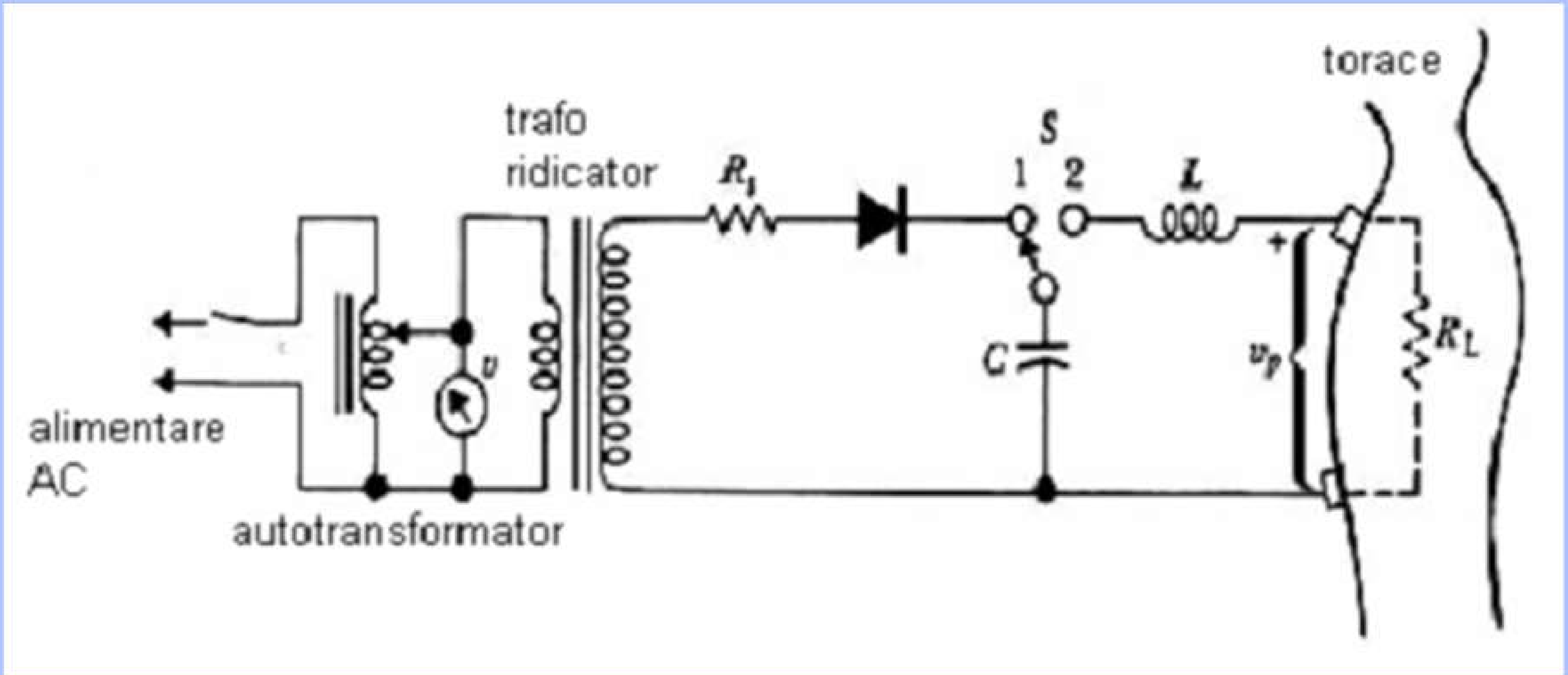


# Defibrilarea

- *Defibrilarea* se definește ca fiind procesul electric de transmitere a unui curent prin electrozi spre muschiul cardiac al pacientului în scopul restabilirii ritmului cardiac.
- Acest curent se poate aplica:
  - direct pe muschiul cardiac – curenți de valoare mică, metode chirurgicale invazive;
  - Transtoracic – metode neinvazive care necesită în schimb curenți relativ mari.



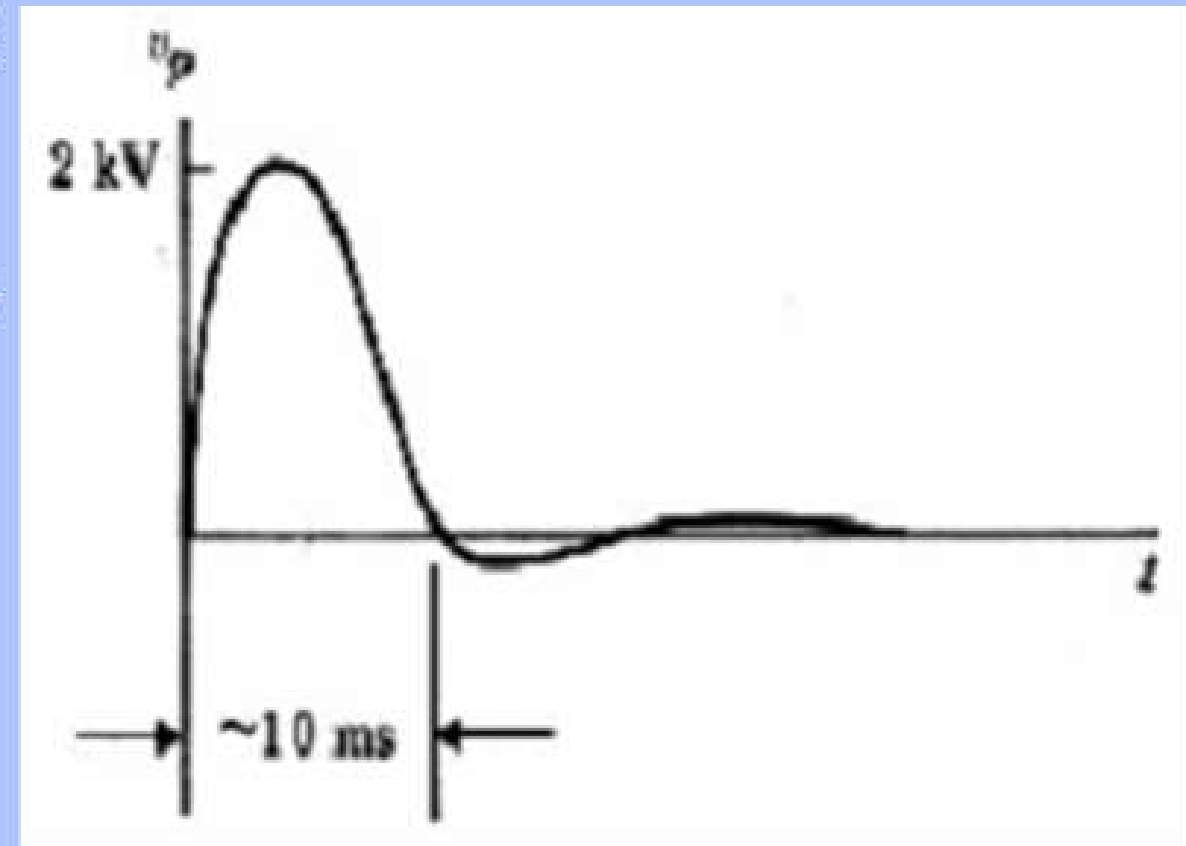
# Defibrilarea



- Impulsul de curent are durata de aproximativ 10ms și amplitudinea maximă de 50 A.
- Forma lui este sinusoidală amortizată. Dacă apreciem impedanța pieptului dintre electrozi la  $50 \Omega$  putem calcula energia aproximativă necesară defibrilării:

$$\text{Energia} = \frac{1}{2} I_v^2 R \cdot t \text{ [J]}$$

- unde  $I_v$  este curentul de vârf,  $R$  este impedanța pieptului, iar  $t$  este durata pulsului. În condițiile date energia va fi de 320 J.



# Defibrilarea

- Acest impuls de defibrilare se obține prin descărcarea unui condensator pe electrozii aplicați pacientului.
- În cazul în care circuitul de descărcare este realizat ca un simplu contact electric, circuitul echivalent va fi de tip RC.
- Forma impulsului de defibrilare în acest caz va fi o exponențială.
- Vârful de curent va avea o durată insuficientă depolarizării, iar scăderea exponențială ar putea induce refibrilarea .



# Defibrilarea

- Defibrilatoarele moderne au inseriată o bobină în circuitul de descărcare ceea ce conferă forma de sinusoidă atenuată impulsului de defibrilare.
- Datorită pierderilor de energie în condensator și bobină, energia înmagazinată va fi cu aproximativ 25 % mai mare decât cea care ajunge la pacient. Valoarea maximă înmagazinabilă este de 400 J.
- În condițiile în care energia din condensator poate fi exprimată prin:

$$E_c = \frac{1}{2} CU^2$$



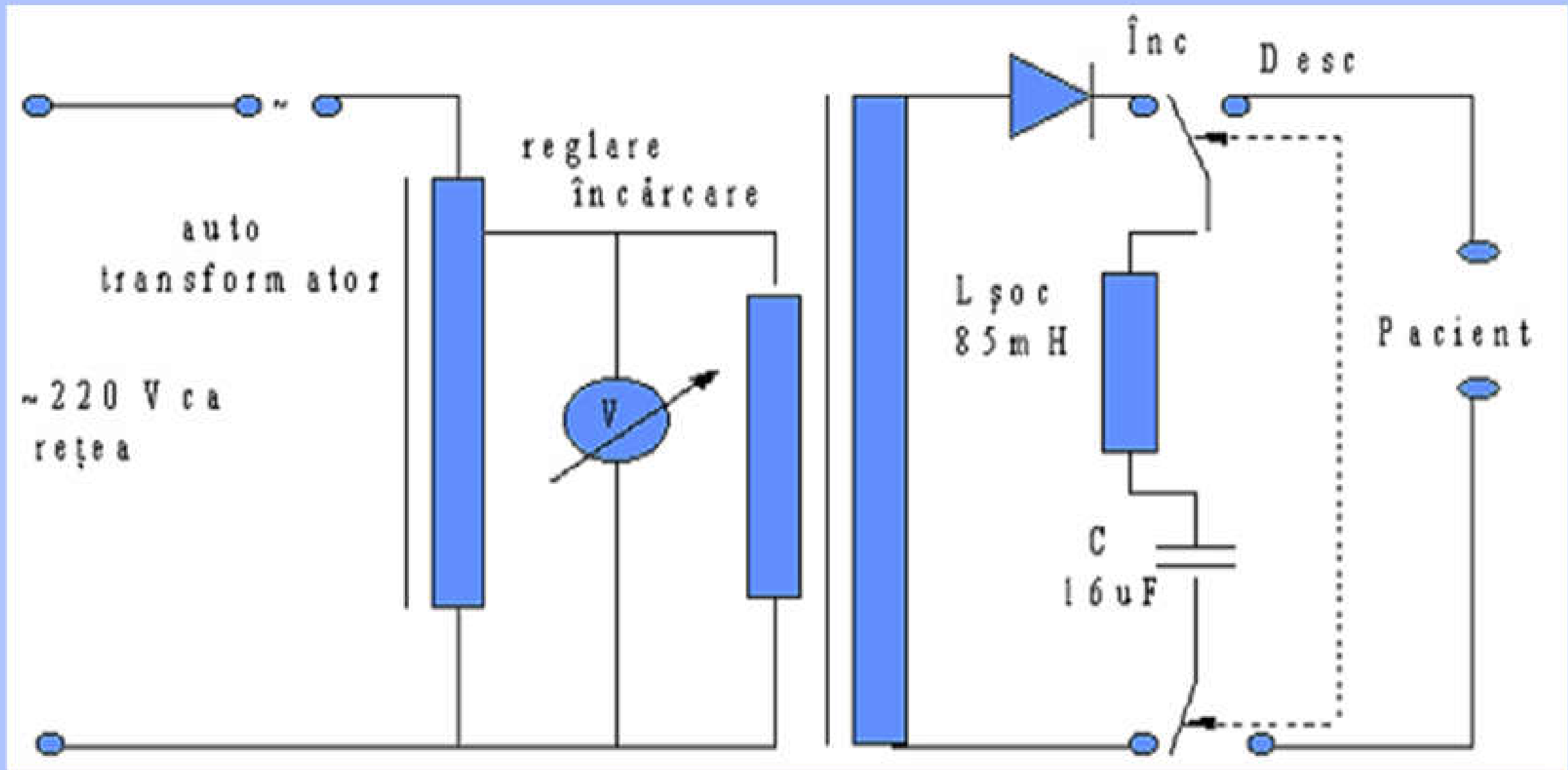
# Defibrilarea

- Rezultă că un condensator cu capacitatea  $C = 16 \mu\text{F}$  care va stoca o energie de  $E_c = 400 \text{ J}$ , va trebui încărcat cu o tensiune de  $7 \text{ KV}$ .
- O energie de  $400 \text{ J}$  este suficientă pentru defibrilarea unui adult voluminos folosind electrozi aplicați pe piept. Energia de defibrilare va fi redusă pentru adulți cu greutate mai mică sau pentru copii.
- Se apreciază că energia inițială pentru defibrilare să fie de  $3 \text{ J/Kg}$  pentru electrozi externi și de  $0.5 \text{ J/Kg}$  pentru electrozi aplicați intern.
- Acest ultim tip de plasare a electrozilor se folosește la defibrilarea pacienților în timpul operațiilor pe cord, iar electrozii sunt plasați direct pe mușchiul cardiac.
- Energia din condensator în acest caz este limitată la max  $50 \text{ J}$ .



# Defibrilarea

- Schema de principiu a unui defibrilator este prezentată mai jos:



# Defibrilarea

- Comutatorul folosit de defibrilator este dublu și cuplează armăturile condensatorului concomitent la circuitul de încărcare fie la electrozi.
- Acest comutator este de obicei un releu vidat, pentru evitarea formării arcului electric la contacte. Condensatorul de înaltă tensiune este umplut cu ulei și se încarcă printr-o diodă de la un transformator ridicător de tensiune. Tensiunea din primarul transformatorului este controlată cu ajutorul unui autotransformator .
- Electrozii de pacient sunt metalici și au o formă plată cu diametrul de 10 cm având mânere izolante. Mânerele sunt astfel proiectate încât să împiedice scurgerea gelului de contact spre mâna operatorului, punându-i viața în pericol .



# Defibrilarea

- Majoritatea defibrilatoarelor conțin circuite de sincronizare a descărcării cu unda R a ECG-ului.
- Acest regim de lucru permite realizarea cardioversiei.
- Termenul de cardioversie a fost introdus de Lown și colab. și se referă la restaurarea ritmului sinusal în tratamentul aritmiilor cardiace cu ajutorul șocului electric de curent continuu, sincronizat, aplicat transtoracic.



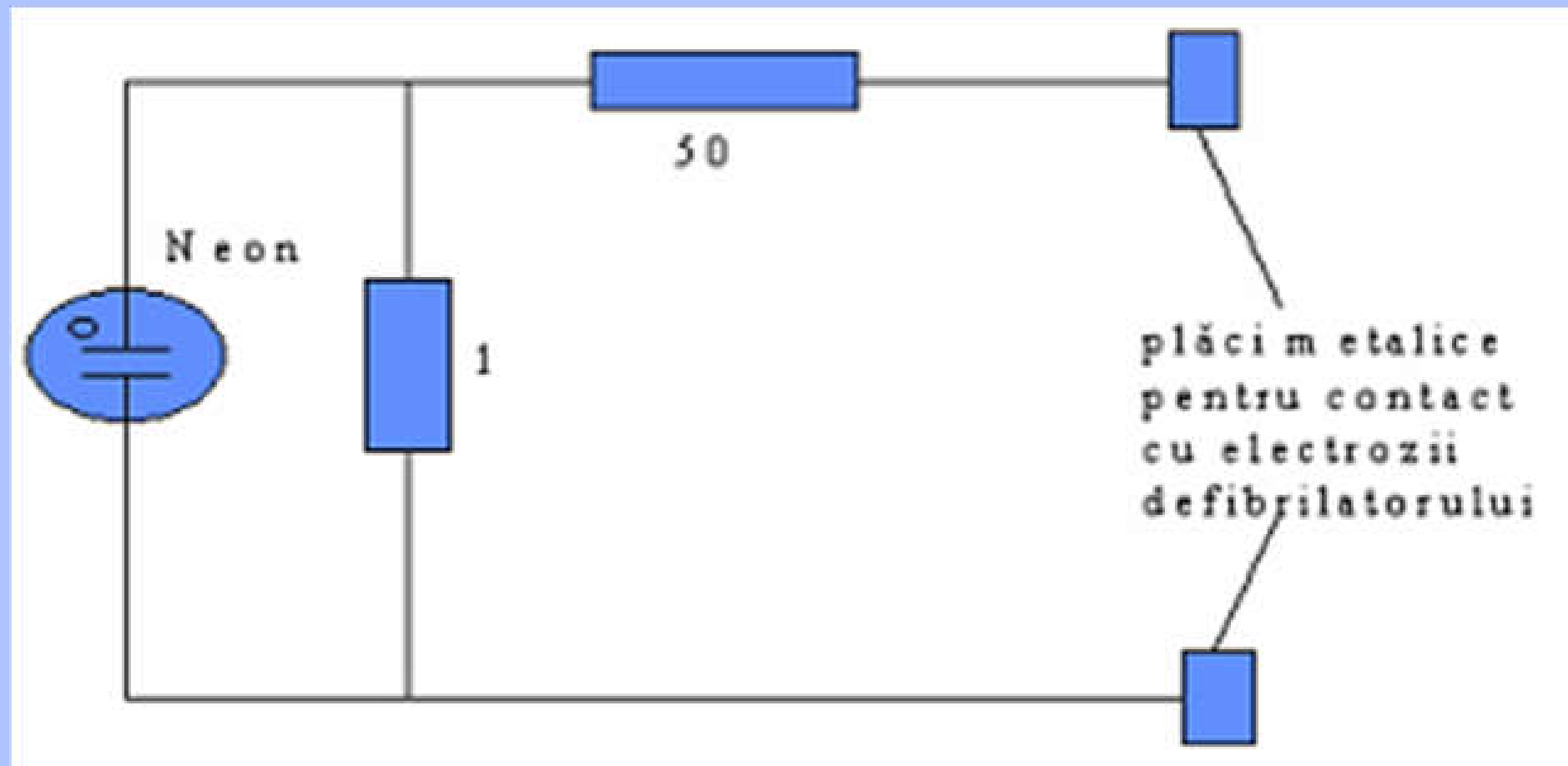
# Defibrilarea

- Sincronizatorul asigură o întârziere de 20 ms aproximativ între vârful undei R și declanșarea impulsului de defibrilare, în vederea evitării zonelor de vulnerabilitate atrială și ventriculară ( unda T ).
- Unele defibrilatoare permit monitorizarea undei ECG prin electrozii de defibrilare.
- Există variante de aparate de defibrilare portabile echipate cu baterii de alimentare reîncărcabile.
- Verificarea bunei funcționări a defibrilatorului se poate face prin descărcarea pe o sarcină artificială .



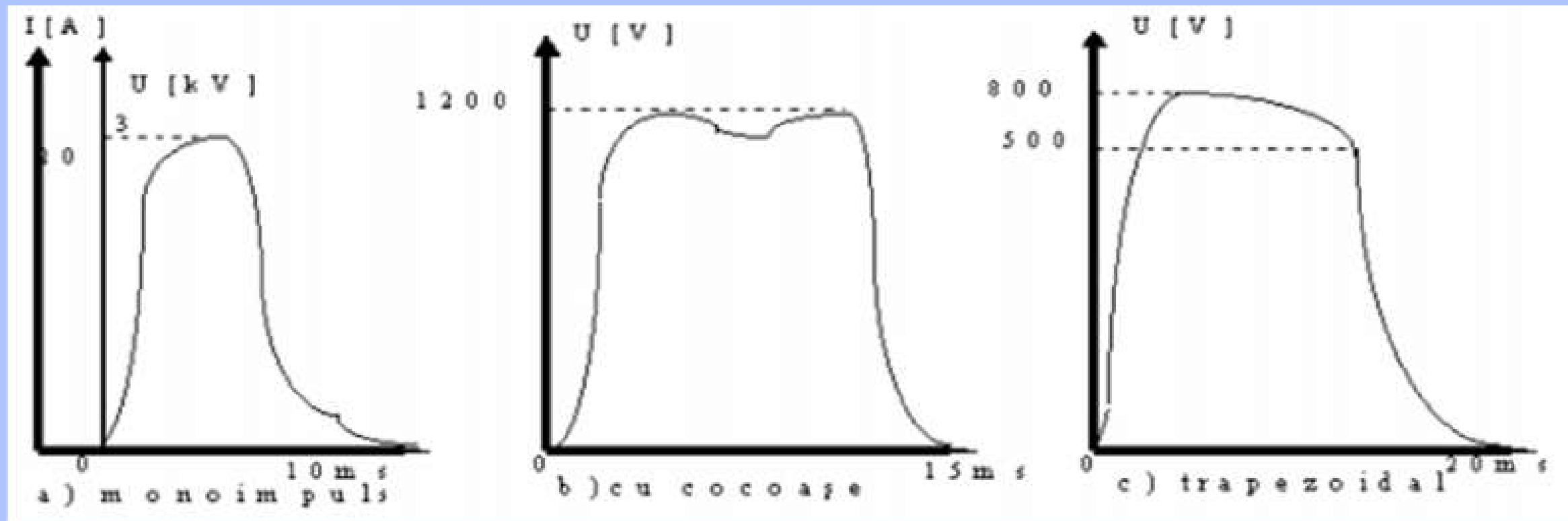


- Schema unei astfel de sarcini este dată în figura de mai jos:



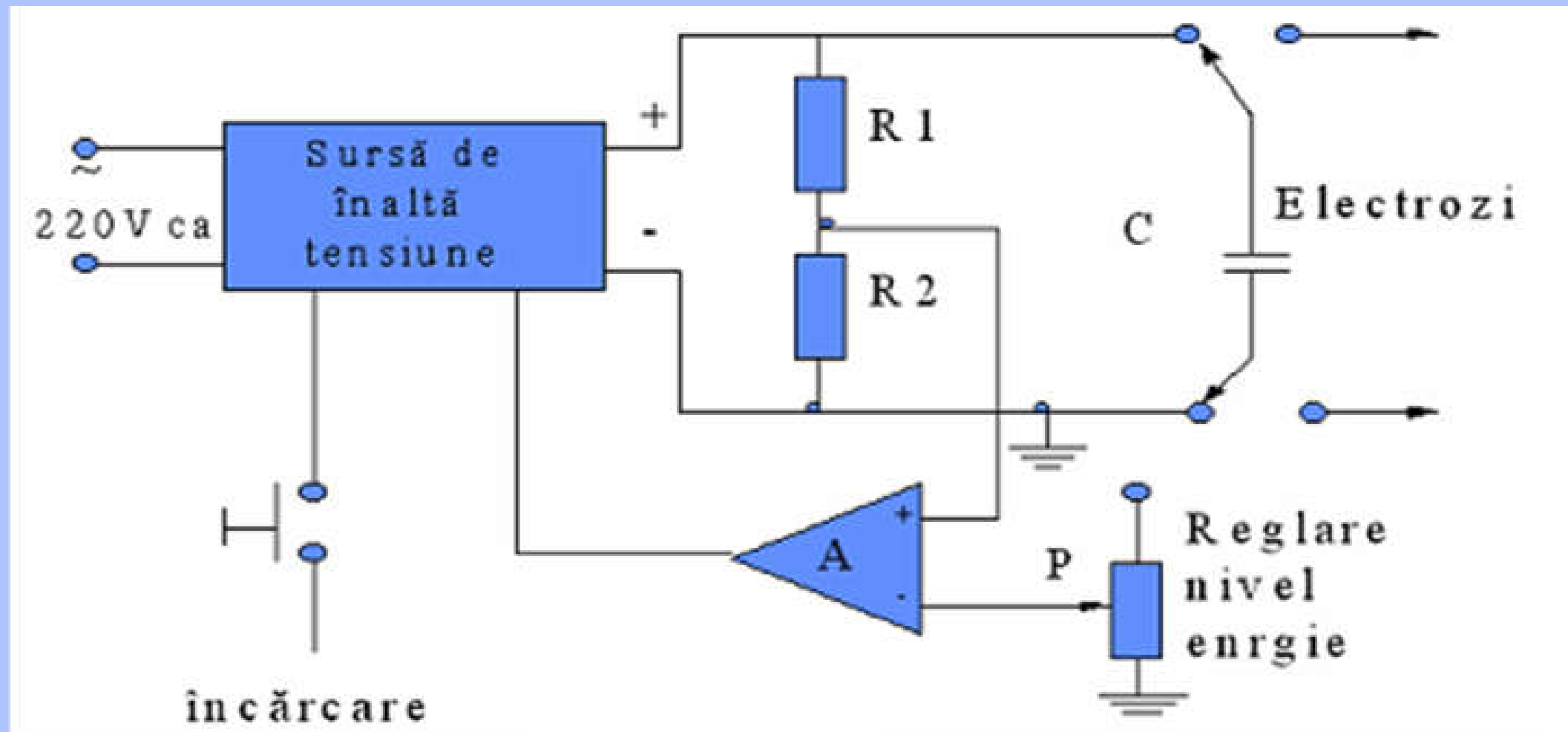
- În caz de bună funcționare becul cu neon trebuie să se aprindă.
- Unele defibrilatoare au construită intern o astfel de sarcină de testare.

- Există și alte tipuri de impulsuri de defibrilare.
- Energia furnizată pacientului este proporțională cu suprafața delimitată de axa timpului și curbă.



# Defibrilarea

- O altă metodă de reglare a energiei înmagazinată în condensator constă în utilizarea unui circuit de control al încărcării. Sursa de înaltă tensiune furnizează la ieșire o valoare constantă.



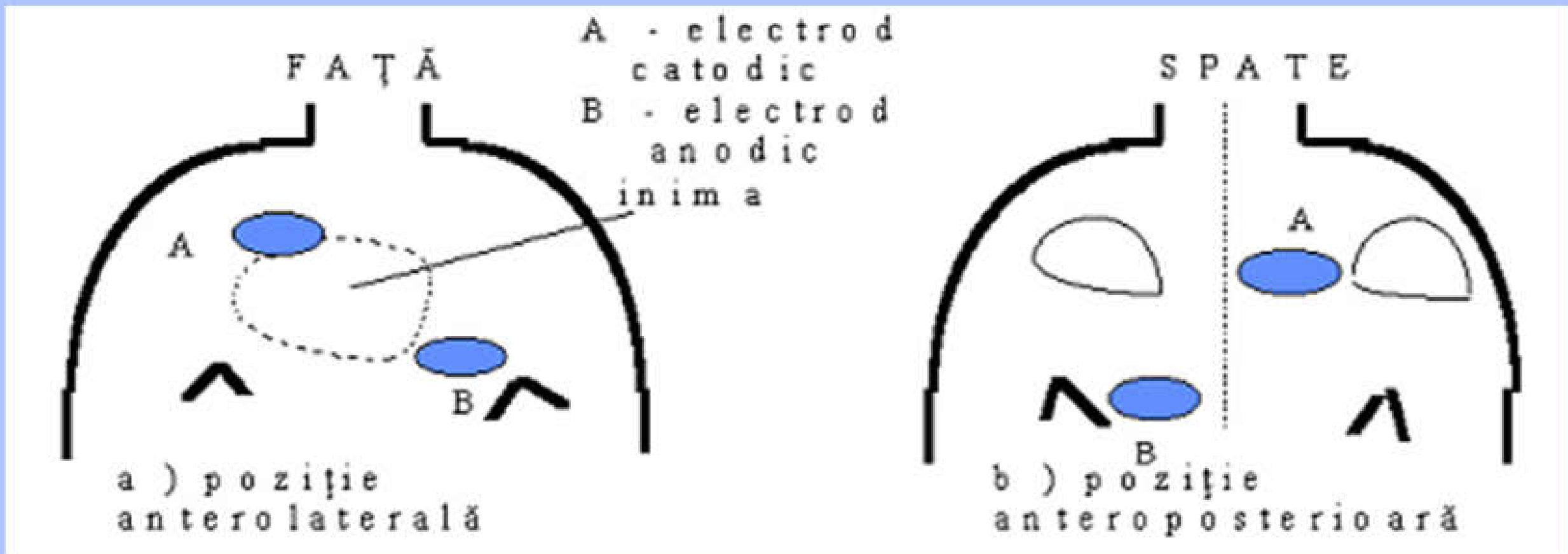
# Defibrilarea

- Un circuit de comparare (A) controlează sursa de înaltă tensiune astfel încât în momentul în care tensiunea de pe condensator egalează valoarea prescrisă de potențiometrul P, încărcarea condensatorului este întreruptă.



# Defibrilarea

- Amplasarea electrozilor la defibrilare se poate face în două moduri: poziție antero-laterală și poziție antero-posterioară:





# Defibrilarea

- Cel mai adesea este folosită amplasarea antero-laterală (fig. a).
- În felul acesta curentul va trece de-a lungul axei longitudinale a inimii cuprinzând cea mai mare parte a masei musculare cardiace.
- Electrozii nu vor fi plasați pe stern sau în poziții apropiate unul de celălalt deoarece țesutul osos are o impedanță și poate scădea eficacitatea șocului electric, iar plasarea apropiată duce la scurtcircuitarea traseului curentului făcând defibrilarea ineficientă.



# Defibrilarea

- Fixarea toracică a electrozilor trebuie pregătită prin degresarea atentă a pielii cu eter, pentru a reduce la minimum rezistența transcutanată și prin aplicarea pe electrozi a unei paste bună conducătoare de electricitate realizând astfel un bun contact electric, un transfer de energie electrică cât mai bun și o leziune cutanată minimă.
- Realizarea defibrilării se face după ce s-a făcut anestezierea pacientului în caz că acesta era conștient.



- Semiautomat



- Manual



- Inima nu poate să-și îndeplinească funcția de pompă în mod eficient numai dacă primește în mod regulat semnale de stimulare de la nodul Sino - Atrial.
- În cazul în care aceste impulsuri nu pot să ajungă la ventricule funcționarea inimii va fi asigurată de impulsuri de frecvență joasă ( 30 - 40 imp/min ) provenite de la nodul Atrio - Ventricular.
- Această afecțiune poartă numele de Bloc Sino-Atrial.
- Cauzele acestui sindrom sunt multiple: congenital, de la operații chirurgicale, afecțiuni ischemice ale inimii, artrită reumatoidă sau alte boli.

- Prezentarea clasică a Blocului cardiac este cunoscută sub numele de boală Stokes - Adam, descrisă pentru prima oară în 1761.
- Afecțiunea se prezintă printr-o brahicardie extremă (ritm cardiac foarte lent) sau tahicardie ventriculară (ritm cardiac foarte rapid) și are ca rezultat pierderea funcției de pompare a ventriculelor, iar pacientul își pierde conștiința în cazul în care circulația cerebrală nu este realizată.
- Atacurile sunt de scurtă durată de obicei, iar pacientul redevine conștient după aproximativ 1 min.



- Aritmii cardiace datorate blocului Sino – Atrial:



# Stimulatoare de ritm cardiac

- Tratamentul Blocului Atrio - Ventricular se face prin utilizarea unui stimulator de ritm (pacemaker) care este de obicei implantabil.
- Acest dispozitiv va suplini impulsurile nodului Sino - Atrial și va restabili funcția de pompare a inimii.
- Există două tipuri de stimulatoare cardiace:
  - *cu frecvență constantă*, independentă de activitatea intrinsecă a inimii
  - *necompetitive* (evită competiția pe una din căile de mai jos) sau *demand*, sunt inhibate de impulsurile de depolarizare intrinseci ale inimii, funcționează și în absența activității intrinseci.



# Stimulatoare de ritm cardiac

- Se definesc ca surse de curent redus si factor de umplere mic utilizate la inducerea contractiilor musculare in muschiul cardiac.
- Pulsurile de curent pot fi injectate fie la suprafata cordului (epicard), fie in muschiul inimii (miocard), fie in cavitatea cardiaca (endocard);
- Se utilizeaza cand functia naturala de stimulare ritmica inceteaza.



# Stimulatoare de ritm cardiac

- Stimularea bipolară se face cu ajutorul a doi electrozi la capătul unui cateter introdus printr-o venă până în camera inimii sau prin doi electrozi suturați în peretele extern al ventriculelor .
- Impulsul de stimulare are în general amplitudinea de 5 V și durata de 1 ms.
- Pacemaker-ul este implantat în organism împreună cu sursa lui de energie.



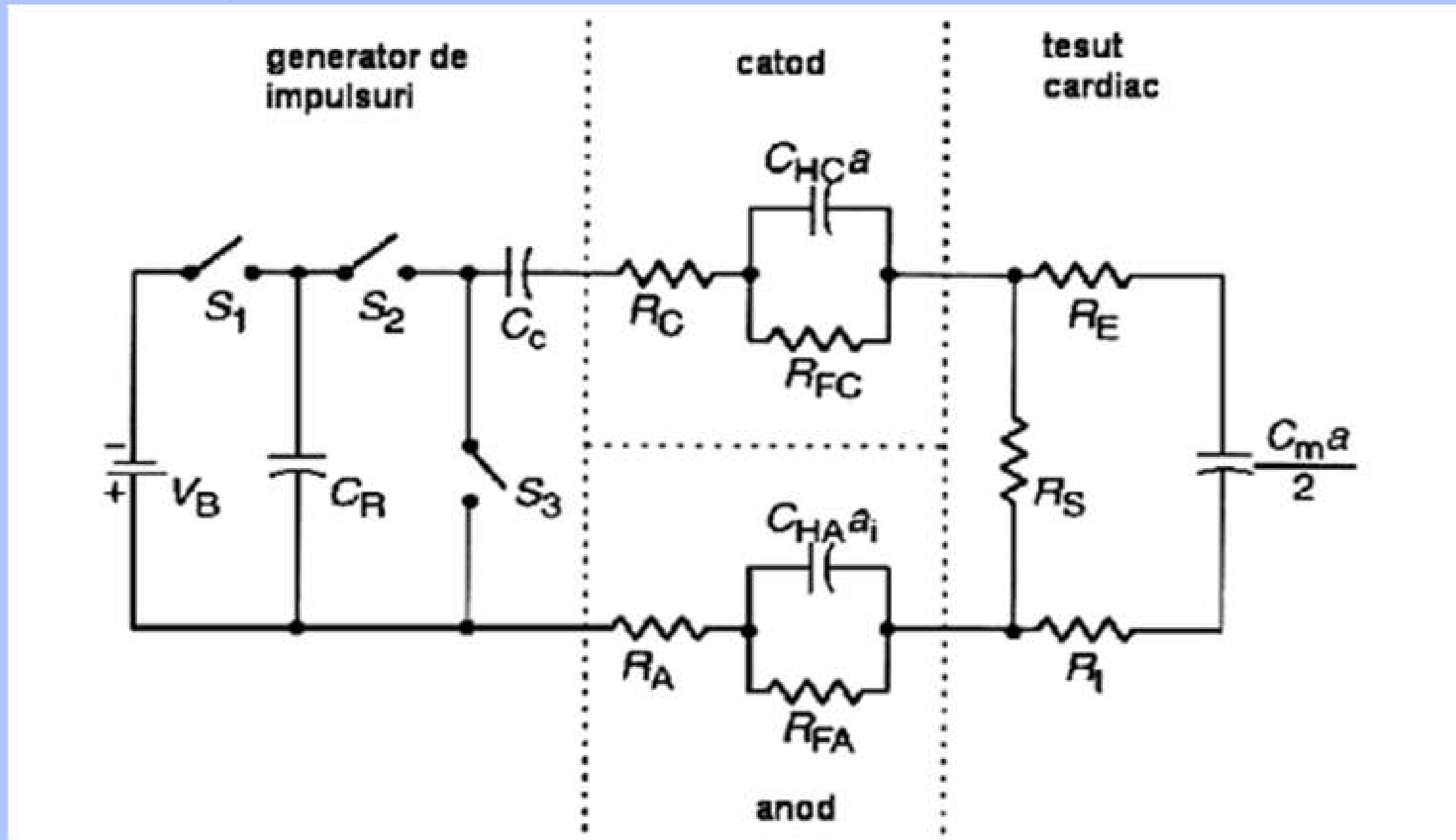
- Produc o stimulare uniforma, independenta de necesarul organismului – stimuloare cu rata cardiaca fixa.
- Cele mai simple stimuloare – nu se mai folosesc in mod curent.
- Generarea stimulului este declansata de un circuit oscilator;
- Pentru generatoarele de pulsuri de tensiune constanta, pulsurile de tensiune au nivele de 5..5.5V si durate de 500us..600us;
- Pentru generatoarele de pulsuri de curent pulsurile au 8..10mA pe durate de 1..1.2ms.



- Frecventa de declansare este de 70..90 pulsuri/minut.
- Consum energetic: 35  $\mu$ W.
- Neglijand descarcarea bateriei, o baterie de 2000mAh ar tine 20 de ani.

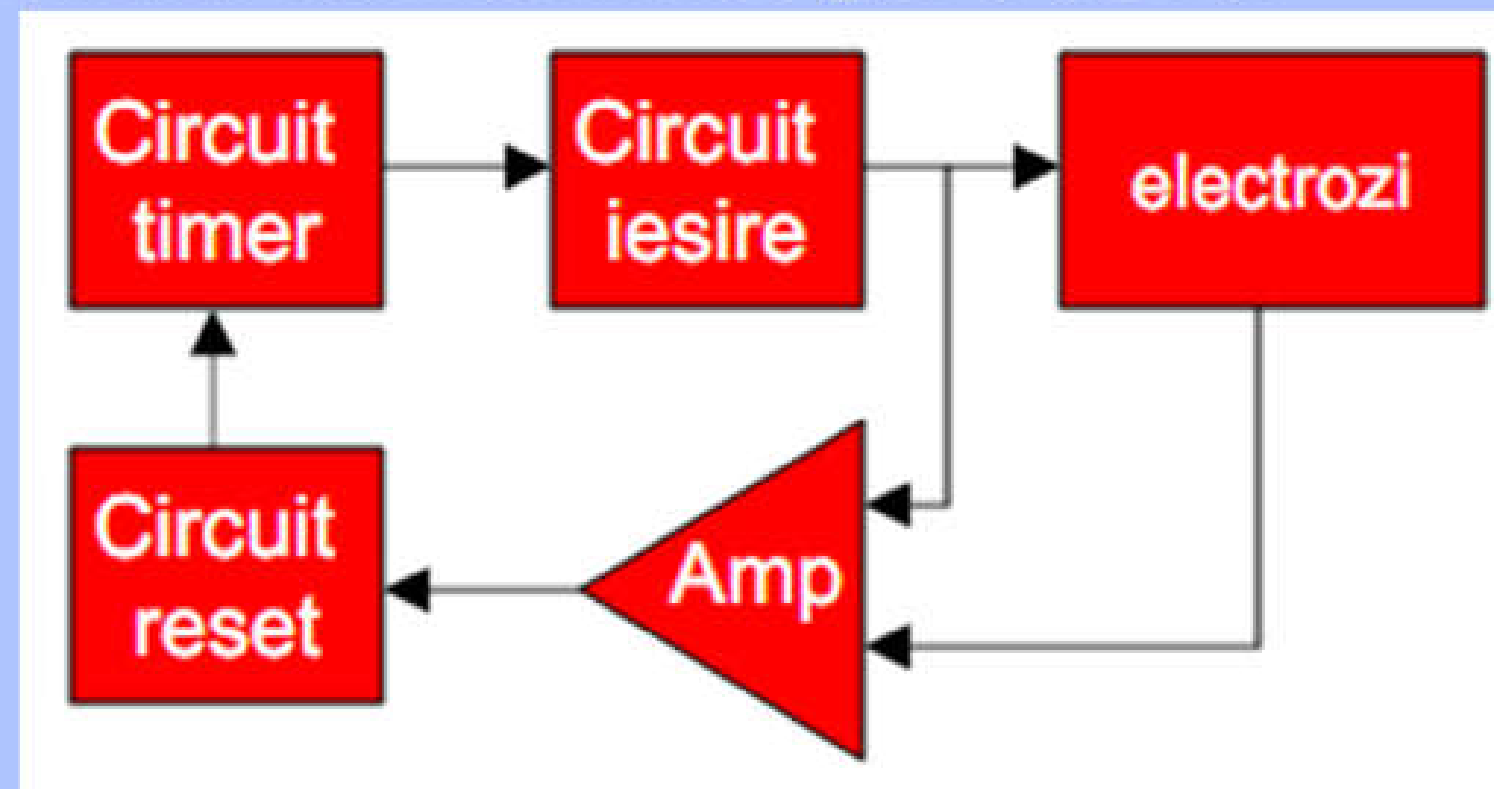


- Circuitul de ieşire

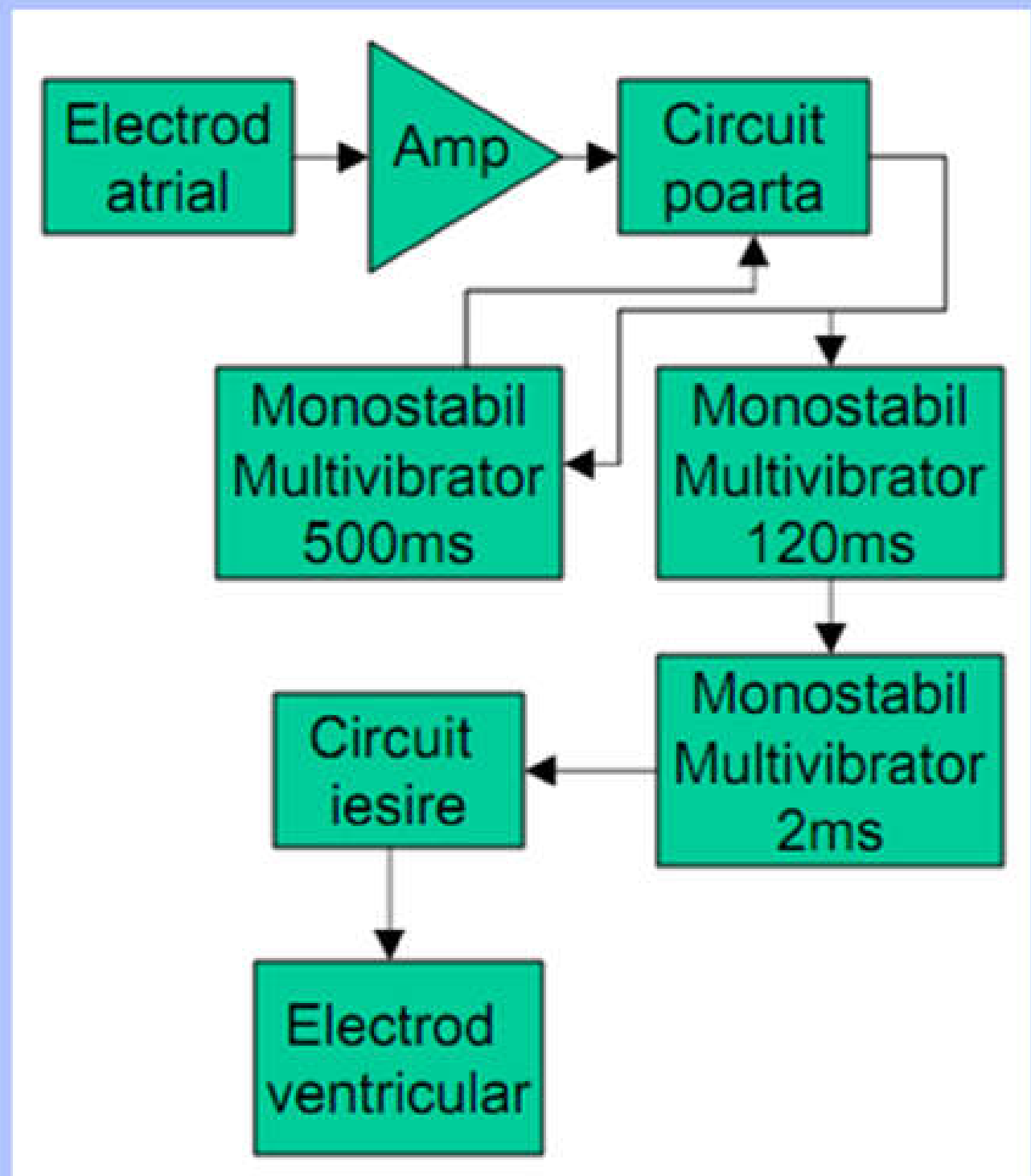


- *Stimulatoare unipolare:*
  - Un singur electrod in contact cu muschiul cardiac;
  - Se genereaza pulsuri negative;
  - Electrocul de masa este localizat in alte parte a corpului.
- *Stimulatoare bipolare:*
  - Doi electrozi in contact cu muschiul cardiac;
  - Stimulul este aplicat diferential.

- Se compun din elementele unui generator asincron si o bucla de reactie care sesizeaza ritmul natural cardiac;
- Circuitul timer genereaza o rata constanta 60..80 pulsuri/minut;
- Dupa fiecare puls generat, circuitul timer este resetat;
- Detectarea ritmului normal inhiba generatorul.



- Stimulul generat de nodul SA declanseaza generatorul;
- Circuitele de intarziere simuleaza intarzierea propagarii stimulului de la nodul SA la nodul AV (120ms);
- Circuitul de intarziere de 500ms simuleaza perioada refractara;
- Circuitul de iesire comanda direct contractia ventriculara;
- Permite nodului SA sa controleze contractiile inlesnind autoreglajul fiziologic;





- Proiectarea circuitelor stimulatorului trebuie făcută cu grijă pentru a diminua consumul de energie.
- În mod curent sunt folosite trei tipuri de baterii:
  1. *Bateria mercur - zinc* are o capacitate nominală de 1000 mAh la 20°C din care se pot utiliza cca. 600 mAh la temperatura corpului. Se folosesc 5 celule înseriate având o durată de operare de max. 3 ani.
  2. *Bateriile litiu - iod* au o capacitate de 4000 mAh și sunt larg răspândite în prezent. Acest tip de celule nu degajă gaze și pot fi închise ermetic. Durata maximă de operare a lor este limitată de rezistența internă care crește treptat în timp. Se apreciază că durata maximă poate ajunge la 10 ani.

3. *Bateriile nucleare* folosesc plutoniu 238 și se bazează pe încălzirea de termocuple ca efect al iradierii lor cu raze  $\alpha$  și X. Se estimează o durată de operare de peste 10 ani, dar prețul lor este mare. Pentru fabricarea bateriilor nucleare se poate utiliza și prometiu 147 care va emite radiații  $\beta$ . Electronii vor genera perechi electron-gol într-o structură semiconductoare producând astfel direct electricitate. Durata lor de operare ajunge la 5 -7 ani. S-au luat măsuri de precauție extreme la realizarea acestor baterii pentru a reduce la minimum riscul emisiei radioactive.

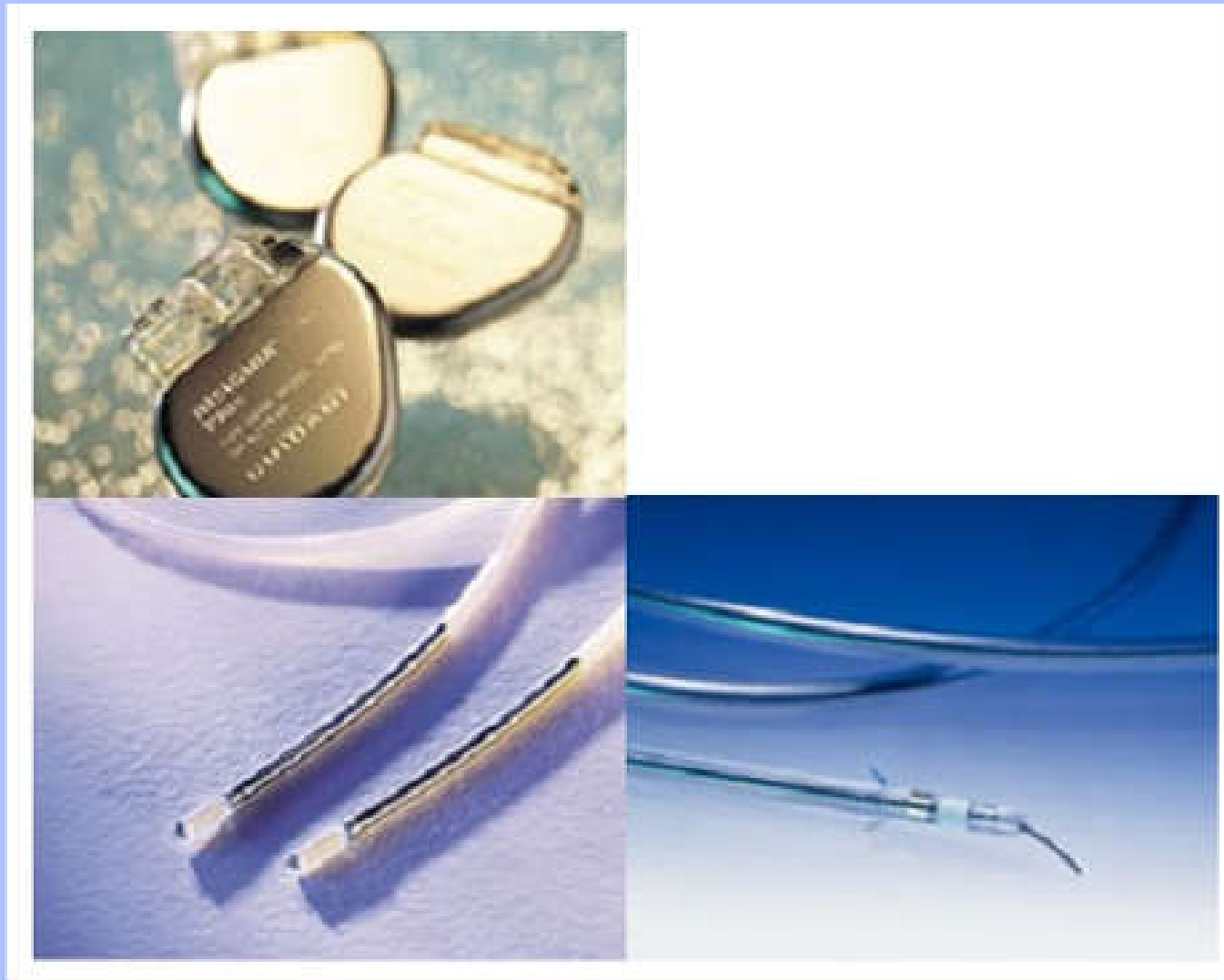


# Stimulatoarele de ritm cardiac

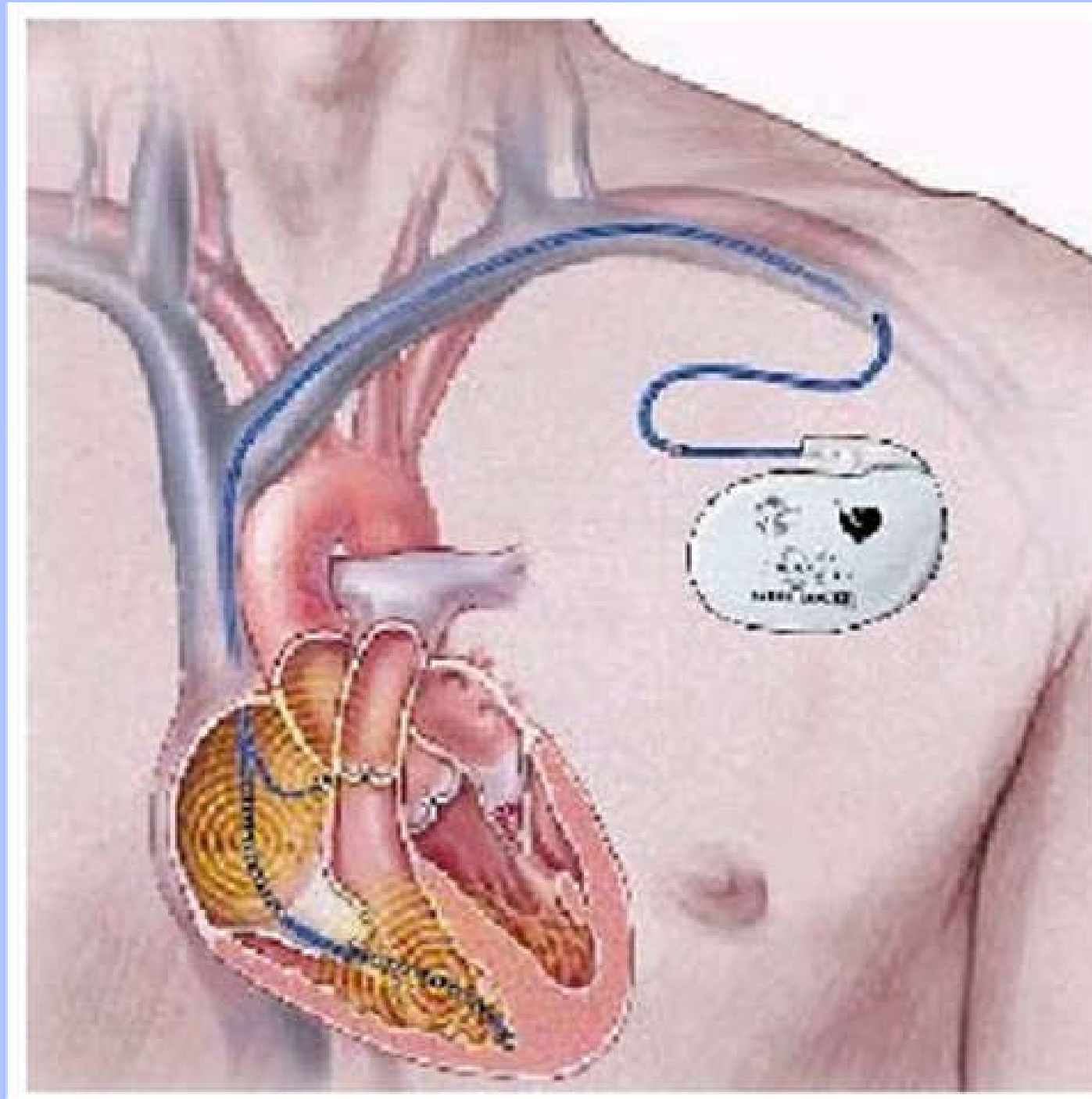
- O altă problemă importantă este încapsularea pacemaker-ului care trebuie făcută cu un material biocompatibil.
- Nici o izolație din plastic sau epoxidică nu este perfect impenetrabilă fluidelor biologice din organism.
- Pentru evitarea coroziunii, circuitul electronic este închis ermetic.



# Stimulatoarele de ritm cardiac



# Stimulatoarele de ritm cardiac





Vă mulțumim pentru atenție!!!



Tempus

BIOMEDICAL ENGINEERING EDUCATION TEMPUS  
INITIATIVE IN EASTERN NEIGHBOURING AREA

