

# ÎNREGISTRAREA FENOMENULUI ELECTRIC DE LA NIVELUL CORDULUI

## ELECTROCARDIOGRAMA

### DEFINIȚIA, UTILITATEA ȘI GENEZA ELECTROCARDIOGRAMEI

Curentul electric produs de cord în timpul ciclului cardiac este condus de către țesuturile din jur către suprafața organismului. Dacă plasăm electrozi în diferite segmente (trunchi, brațe, gambe), potențialul electric generat poate fi înregistrat; această înregistrare se numește *electrocardiogramă (ECG)*.

Există două posibilități de înregistrare a activității electrice a cordului:

- **Electrocardiograma** – reprezintă înregistrarea grafică a diferențelor de potențial care iau naștere prin depolarizarea și repolarizarea miocardului în timpul unui ciclu cardiac, într-un sistem de două axe, în funcție de timp (înregistrare în plan).

ECG este un grafic scalar:

- pe abscisă - timpul (sec.)
- pe ordonată – amplitudinea (mV).



- **Vectocardiograma** - VCG reprezintă înregistrarea vectorilor instantanei de depolarizare și repolarizare în spațiu. Prin unirea vârfurilor vectorilor multipli instantanei, în spațiu, se obține o buclă spațială de vectocardiografie. Proiecția desfășurată a acestei bucle, în funcție de timp, pe o dreaptă din corpul omenesc, corespunzătoare unei derivații, reprezintă electrocardiograma (ECG) înregistrată în acea derivație.

### Care este importanța practică a înregistrării unei electrocardiograme?

ECG reprezintă o investigație de bază pentru orice pacient care se adresează medicului sau pentru screening-ul stării de sănătate și oferă informații valoroase despre modul în care funcționează inima.

*O electrocardiogramă oferă informații despre:*

- ☐ Ritmul inimii
- ☐ Originea impulsului și propagarea (conducerea) acestuia prin masa miocardului
- ☐ Mărimea cavităților cordului
- ☐ Poziția inimii
- ☐ Extensia și localizarea unui infarct acut de miocard (IMA)
- ☐ Efectele modificării concentrației electroliților asupra proprietăților miocardului
- ☐ Efectele unor medicamente asupra activității cordului.
- NU oferă date despre contractilitatea miocardului și despre funcția de pompă a inimii. Aceste informații se pot obține prin cateterism cardiac sau prin ecocardiografie.
- Reprezintă “standardul de aur” pentru diagnosticul tulburărilor de ritm și de conducere.

## Geneza electrocardiogramei

Pentru a înțelege geneza undelor ECG, amplitudinea și durata acestora, este important să fie cunoscute și înțelese câteva teorii și principia, preluate din fizică și matematică. Este vorba despre *teoria dipolului*, *teoria vectorială* și *cea a unghiului solid*.

### 1. Teoria DIPOLULUI

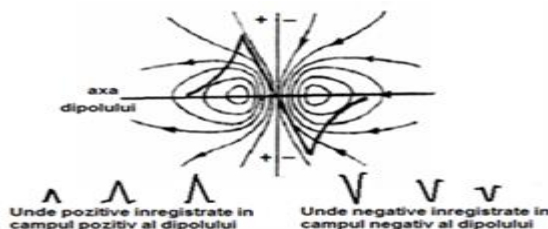
Această teorie a fost enunțată de Waller și Craib și constituie un mod extrem de simplu de a explica fenomenele electrice cardiace.

*Dipolul reprezintă cuplu de sarcini electrice de sens contrar plasați într-un mediu conductor, la mică distanță.*

- axa dipolului (linia imaginară care unește cele 2 sarcini electrice)
- linia de 0 potențial (perpendiculara pe axa dipolului, la egală distanță de sarcinile electrice)
- câmpul electric al dipolului (linii de forță generate în jurul sarcinilor electrice)
- curba de profil al dipolului.

Teoria dipolului:

- Compară câmpul electric creat de un dipol artificial într un mediu conductor, cu câmpul electric generat de cord. Excitația este inițiată într-un punct, în condiții fiziologice, în nodulul sino-atrial și se propagă cu rapiditate de la o celulă la alta.
- Porțiunea din miocard activată sau depolarizată devine electronegativă, iar cea neactivată, aflată încă în repaus rămâne electropozitivă, creându-se astfel un dipol, care se propagă pe măsură ce se desfășoară ciclul cardiac.
- În jurul ambilor poli ai dipolului sunt câmpuri de forțe electrice (unul pozitiv și altul negativ).
- Dipolul se mișcă, se deplasează în torace odată cu depolarizarea progresivă a miocardului, în fața unor electrozi exploratori plasați în puncte fixe; înregistrarea ECG este asemănătoare curbei de profil a dipolului de mai jos, adică este formată din unde pozitive și negative.

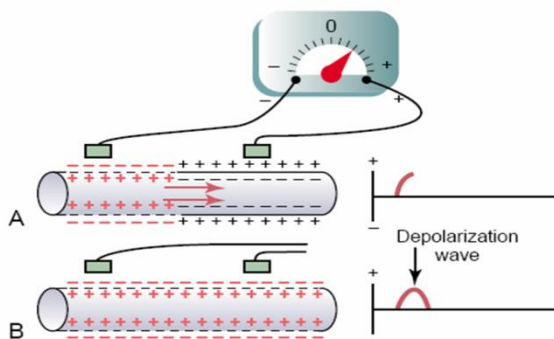


*Câmpul electric creat de un dipol artificial. Curba de profil a dipolului. (după P. Dumitru, 1985, modificat). Un electrod plasat în câmpul (polul) + va înregistra o undă pozitivă, iar cel plasat în câmpul (polul) – , o undă negativă.*

Diferențele de potențial în câmpul electric creat sunt mai mari în apropierea polilor dipolului și scad pe măsură ce ne îndepărtăm de ei. La egală distanță între cei doi poli ai dipolului, diferența de potențial este neglijabilă, iar în electrocardiografie se consideră a fi 0 (linia de “0” – zero potențial). Linia imaginară care trece prin cei doi poli se numește axa dipolului. Pe ea înregistrăm cele mai ample diferențe de potențial, de un sens sau altul, după semnul plus sau minus al celor doi poli.

Se observă că un electrod plasat în câmpul (polul) pozitiv va înregistra o undă pozitivă, iar cel plasat în câmpul (polul) negativ, o undă negativă, a cărei amplitudine scade pe măsură ce ne îndepărtăm de polul respectiv.

Prin comparație, dacă se reduce activitatea electrică a inimii la numai două sarcini (una pozitivă și alta negativă) deci, un dipol, acesta se mișcă, se deplasează în torace odată cu depolarizarea progresivă a miocardului, în fața unor electrozi exploratori plasați în puncte fixe.



*Înregistrarea diferenței de potențial la nivelul unei fibre miocardice unice (după Guyton and Hall, 2006, modificată).*

Dipolul electric se formează între segmentul depolarizat (negativ) și cel aflat în repaus (pozitiv). Se observă că, dacă plasăm 2 electrozi cuplați la un galvanometru pe suprafața unei fibre miocardice aflată în depolarizare, aceștia vor înregistra o diferență de potențial de sens pozitiv, care se va înscrie pe un traseu ECG ca o undă pozitivă (condiția A pe imagine). Dacă fibra miocardică este complet depolarizată sau complet repolarizată, cei 2 electrozi nu vor înregistra nicio diferență de potențial. Pe ECG se va înscrie o linie izoelectrică (care exprimă situația de "0" potențial) sau deflexiunea coboară coboară către linia izoelectrică (condiția B).

## 2. Teoria VECTORIALĂ

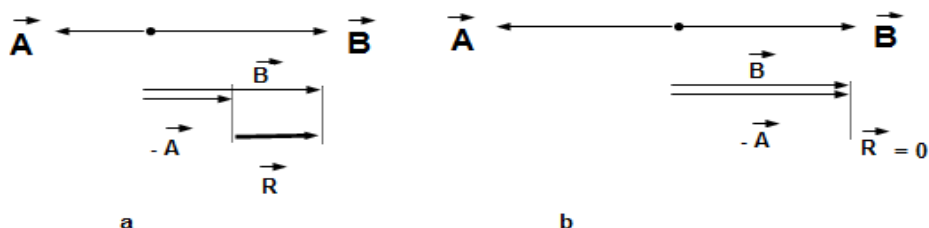
Există vectori cardiaci care corespund dipolului unei fibre miocardice, numiți *vectori elementari*, alții sunt vectorii *instantanei*, care reprezintă grafic însumarea unor vectori elementari dintr-un anumit moment al activității cardiace. Toți acești vectori, se supun legilor matematice, putând fi însumați, deplasați sau măsurați, prin proiecțiile lor ortogonale pe anumite axe, numite derivații ECG sau conducere ECG.

■ O diferență de potențial între zona depolarizată și cea repolarizată creează o forță, care se deplasează și se reprezintă ca un vector, caracterizat de un punct de origine, direcție, sens și mărime.

■ Fiind expresia grafică a unor forțe, vectorii se pot însuma astfel:

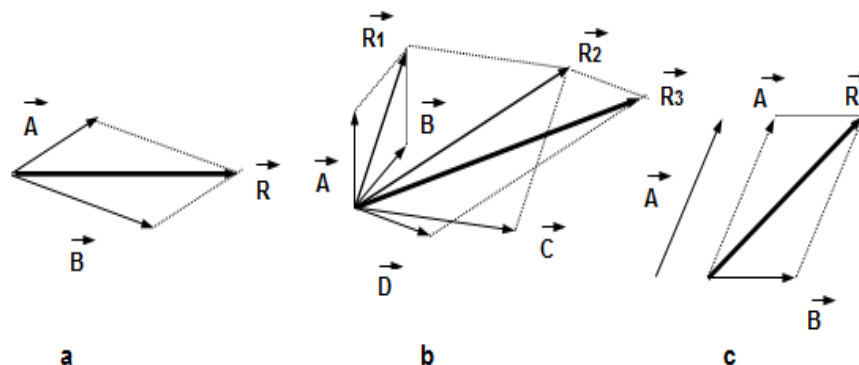
- doi vectori cu aceeași origine, de sens contrar și de mărimi diferite se însumează algebric: se scade vectorul mai mic din cel mai mare, rezultanta având sensul vectorului mai mare (situația a);

- doi vectori cu aceeași origine, de mărime egală, dar de sens opus, prin însumare se anulează, rezultanta fiind zero (situația b);



*Compunerea a doi vectori coliniari, de direcții opuse a) de mărime diferită; b) de mărime egală.*

- doi vectori cu punct de origine comun, dar cu direcții și mărimi diferite, se însumează după regula paralelogramului forțelor, construit prin ducerea unor paralele la vectori, din capetele lor. Diagonala paralelogramului astfel format, reprezintă rezultanta  $R$ .

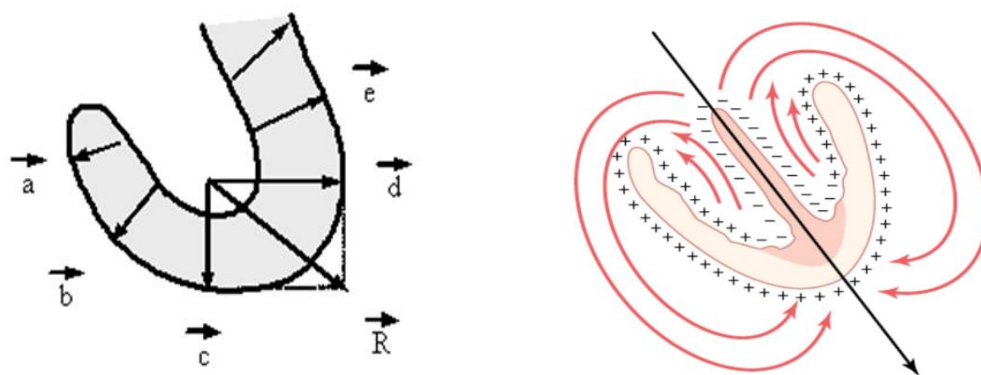


*Exemple de compunere a vectorilor: a) aplicarea regulii paralelogramului pentru doi vectori; b) compunerea a patru vectori de direcții diferite; c) compunerea a doi vectori ce nu au origine comună.*

În consecință, orice modificare a unui vector elementar (adică a procesului de depolarizare a unei fibre miocardice) va afecta și vectorul instantaneu.

Inima, organ cu fibre musculare orientate în toate sensurile, cu pereții inegali și diferit orientați în spațiu, aflat permanent în activare (depolarizare) sau repolarizare, într-o anumită succesiune și nu simultan, va genera o multitudine de vectori care, însumați, vor da câțiva vectori rezultanți. La formarea ECG participă vectorii finali: de depolarizare atrială; de depolarizare septală; de depolarizare ventriculară și de repolarizare ventriculară. Aceștia vor fi explorați prin ECG.

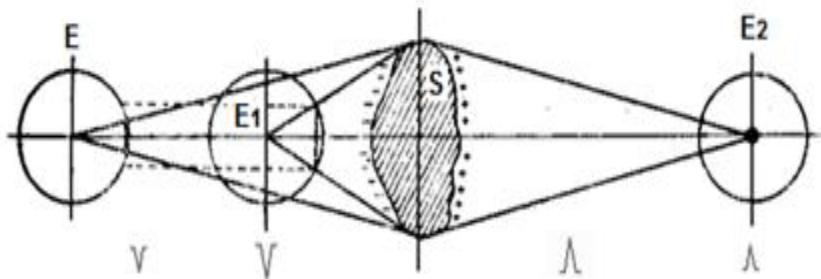
Teoria vectorială ne ajută să înțelegem relația dintre unde și derivațiile ECG, precum și amplitudinea și sensul undelor.



*Însumarea vectorilor la cord (după Georgeta Scripcaru). Vectorul rezultat al depolarizării ventriculare: este orientat de sus în jos și de la dreapta la stânga. Urmărește axul anatomic, longitudinal al cordului.*

### 3. Teoria UNGHIULUI SOLID

Unghiul solid este o noțiune matematică utilizată în ECG, pentru a ajuta înțelegerea mai bună a reprezentării fenomenelor electrice în conducerile unipolare, toracice.



*Unghiul solid (după Kleinerman, 1968). În punctul E, unghiul solid este mai mic decât cel determinat din E1, deci unda înregistrată din E va avea o amplitudine mai mică decât cea din E1.*

- Presupunem o suprafață “S” explorată dintr-un punct E care este centrul unei sfere. Suprafața tăiată din sferă, de conul cu baza suprafața “S” și vârful E, este unghiul solid (conceput în spațiu, deci tridimensional).
  - Potențialul electric cules din E (electrod) are sensul polarității feței care este orientată spre E (de exemplu: dacă electrodul este E sau E1, orientați spre fața negativă, se va înregistra un potențial electric negativ, adică unde negative, una mai puțin amplă din E și mai amplă din E1; dacă electrodul este E2, orientat spre fața pozitivă, se înregistrează unde pozitive).
  - Amplitudinea potențialului înregistrat din E, va fi cu atât mai mare cu cât unghiul solid va fi mai mare.
  - Cu cât punctul E din care explorăm suprafața “S” este mai aproape de această suprafață (punctul E1), cu atât unghiul solid va mai mare și invers, cu cât punctul E va fi mai îndepărtat de S (punctul E), unghiul solid va fi mai mic, deci amplitudinea undei va fi mai mică.
- Această teorie ne ajută să înțelegem modul în care, electrozii plasați pe torace “privesc inima”. Prin electrozii așezați pe torace în dreapta sau stânga inimii, se explorează două mase miocardice (dreapta mai mică și stânga mai mare) ale căror suprafețe endocardice au o polaritate diferită față de cele epicardice.

*Bazele teoretice și practice ale ECG au fost puse de Einthoven, care a luat premiul Nobel pentru acest lucru. În elaborarea teoriilor sale, el a plecat de la următoarele premise:*

- cordul este un dipol;
- cordul este situat în centrul toracelui, iar acesta este situat în centrul corpului;
- toracele este sferic;
- articulațiile radio-carpene și tibio-tarsiene sunt echidistante față de cord;
- rezistențele electrice ale țesuturilor sunt egale în orice direcție.

Dintre acestea, singura premisă adevărată, exactă, este aceea că *inima este un dipol*, suficientă totuși, pentru a putea explica formarea undelor ECG.

## DERIVAȚIILE ECG

- ❑ Câmpul electric produs de inimă, poate fi înregistrat prin plasarea unor electrozi în diferite puncte ale corpului: pe membre sau pe torace. Din aceste puncte, electrozii ECG “privesc” inima din unghiuri diferite și “traduc” activitatea electrică a inimii în **unde**, care se înregistrează pe o hârtie specială.
- ❑ O **derivație** reprezintă linia imaginată de-a lungul căreia se înregistrează diferența de potențial dintre 2 electrozi plasați în puncte diferite.

❑ O derivație are:

- *două puncte de aplicare a electrozilor*, în care se înregistrează potențialul electric generat de inimă, care pot fi localizate în diverse puncte ale corpului omenesc;
- *un ax de înregistrare sau un ax (o linie) al derivației* care este o dreaptă ce unește cele 2 puncte de înregistrare. Orice derivație are un sens pozitiv și unul negativ.

Există mai multe tipuri de derivații:

- ❑ *derivații directe* - epicardice, endocardice, în care electrozii se plasează direct pe epicard sau endocard în timpul unor operații pe cord;
- ❑ *derivații semidirecte* - esofagiene, bronșice;
- ❑ *derivații indirecte* – cele mai utilizate în practica medicală, în care electrozii se plasează la distanță față de cord - pe membre, pe torace.

**După numărul electrozilor exploratori utilizați în ECG se disting:**

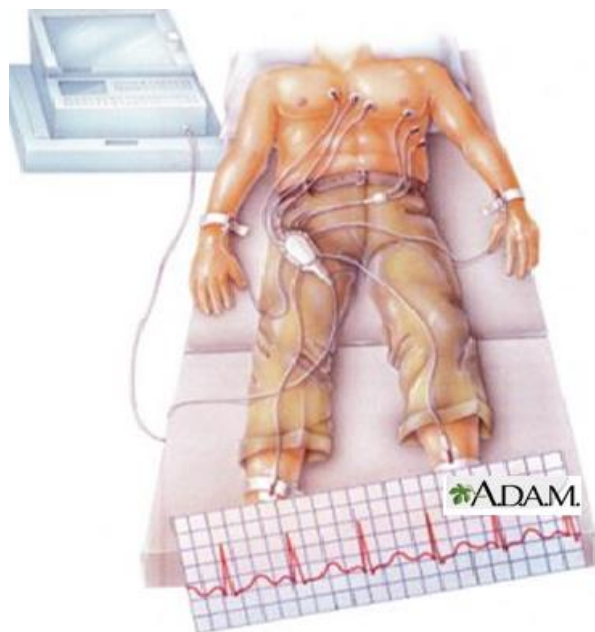
- 1) **derivații bipolare**, în care ambii electrozi sunt exploratori (culeg diferența de potențial); acestea sunt notate cu DI, DII, DIII
- 2) **derivații unipolare**, în care doar un electrod este explorator: *ale membrilor*, notate cu aVR, aVL, aVF; *toracice sau precordiale*, notate de la V1...la V6.

După planul în care sunt plasați electrozii, cele 3 sisteme sunt grupate:

■ **În plan frontal** se utilizează cel mai frecvent 6 derivații:

- 3 derivații bipolare standard (DS)
- 3 derivații unipolare ale membrilor (DUM).

■ **În planul orizontal** se utilizează cel mai frecvent tot 6 derivații. Se numesc *derivații unipolare precordiale sau toracice*.



✓ Electrozii pentru derivațiile membrilor se plasează pe membrele superioare, deasupra articulației pumnului, iar pe membrele inferioare, deasupra gleznei.

✓ În caz de amputații, electrozii se plasează cât mai aproape de torace, la originea membrului respectiv.

✓ În total, pe membre se plasează 4 electrozi: doi pe membrele superioare și doi pe membrele inferioare. Piciorul drept este folosit pentru împământare (potențial constant).

✓ Cei 6 electrozi precordiali se plasează pe torace în puncte standardizate.

*Înregistrarea unei electrocardiograme; modul de plasare al electrozilor care sunt conectați la aparatul propriu-zis prin fire conductoare (cabluri)*



**DERIVAȚIILE STANDARD.** Sunt *derivații bipolare ale membrelor*, imaginate de W. Einthoven, care explorează activitatea inimii în plan frontal, din două puncte situate la egală distanță față de cord, un electrod legându-se la polul negativ, celălalt la polul pozitiv al galvanometrului. În aceste derivații, electrozii sunt plasați în 3 puncte:

- membrul superior drept (braț drept: BD); electrodul plasat în acest punct, se leagă întotdeauna la borna negativă a galvanometrului;
- membrul superior stâng (braț stâng: BS); electrodul plasat în acest punct, se poate leaga la borna pozitivă sau negativă a galvanometrului, în funcție de derivație;
- membrul inferior stâng (picior stâng: PS); electrodul plasat în acest punct, se leagă întotdeauna la borna pozitivă a galvanometrului.

Cele 3 derivații explorează activitatea electrică a cordului prin două puncte situate la egală distanță față de cord, *un electrod legându-se la polul negativ, celălalt electrod la polul pozitiv al galvanometrului*. Cele 3 derivații se construiesc conform schemei de mai jos:

■ **Derivația I: BD (-) – BS (+)**

■ **Derivația II: BD (-) – PS (+)**

■ **Derivația III: BS (-) – PS (+)**

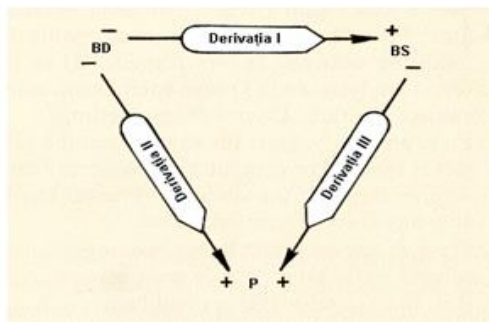
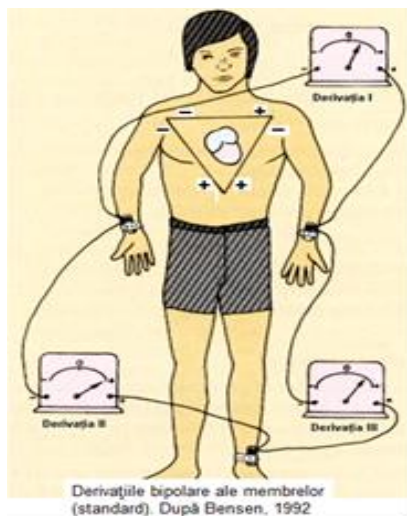
La baza formării lor stă legea a II-a lui Kirchoff conform căreia suma diferențelor de potențial într-un circuit închis este egală cu zero ( $DI + DII + DIII = 0$ ), dacă toate trei derivațiile ar fi considerate în același sens.

Regula lui Einthoven: a inversat polaritatea în DII, legând mâna dreaptă la polul negativ al galvanometrului și gamba stângă la polul pozitiv. Ecuația devine:

$$DI + DIII = DII$$

■ **Axul derivației bipolare** este o linie imaginară care unește cei doi electrozi exploratori. Cele trei axe delimitează un triunghi echilateral (triunghiul Einthoven), în centrul căruia se găsește inima.

Fiecare latură a triunghiului, are o jumătate negativă și una pozitivă, în legătură cu sensul polarității derivației respective.



*Derivațiile bipolare ale membrelor formează un triunghi echilateral, numit triunghiul lui Einthoven (după Bensen, 1992)*

**DERIVAȚIILE UNIPOLARE** – au un singur electrod explorator, iar cel de-al 2-lea electrod este indiferent.

Regula generală de formare:

- *electrodul explorator se leagă întotdeauna la borna pozitivă a galvanometrului;*
- *electrodul indiferent se leagă la borna negativă și este plasat la distanță față de cord, cât mai la periferia câmpului electric.*

**Derivațiile unipolare ale membrelor (Wilson–Goldberger)** - culeg diferențele de potențial în plan frontal.

Pentru formarea electrodului indiferent, Wilson a luat drept bază teoretică, legea I a lui Kirchhoff, conform căreia suma algebrică a intensităților curenților dintr-un nod de circuit este egală cu zero. Pentru a simula “nodul”, Wilson a construit o *bornă centrală*, din conductorii membrelor neexplorate și apoi a făcut legătura acesteia la polul negativ al galvanometrului. Se consideră că, la nivelul bornei centrale, potențialul electric este apropiat de zero.

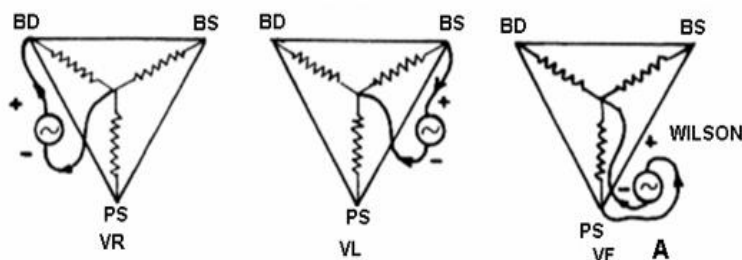
Reguli de formare:

- electrodul explorator este plasat pe rând pe brațul drept (R), pe brațul stâng (L) și pe piciorul stâng (F) și se leagă întotdeauna la borna pozitivă a galvanometrului;
- electrodul indiferent este plasat în borna centrală, unde potențialul electric este apropiat de zero și se formează prin unirea membrelor neexplorate în acea derivație și scurtcircuitarea membrului explorat; este legat la borna negativă a galvanometrului.

Orice derivație unipolară care utilizează borna centrală pentru electrodul indiferent este notată cu “V”.

Wilson a construit borna centrală prin unirea într-un punct comun, a conductorilor celor trei puncte de explorare R, L și F, pe care l-a legat la polul negativ al galvanometrului.

Deci, derivațiile unipolare ale membrelor sunt: VR, VL, VF.



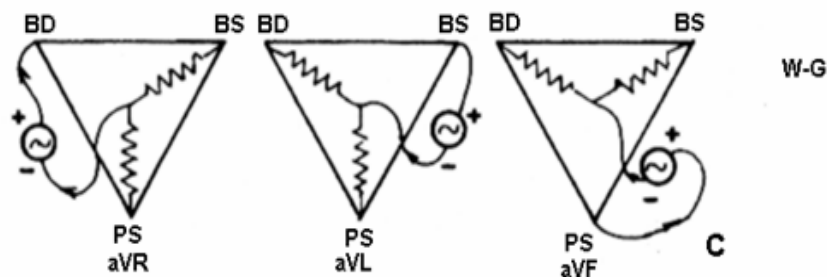
*Varianta Wilson de formare a derivațiilor unipolare ale membrelor (după Kleinerman)*

Goldberger a propus eliminarea legăturii dintre electrodul indiferent și membrul a cărui derivație unipolară o înregistrăm.

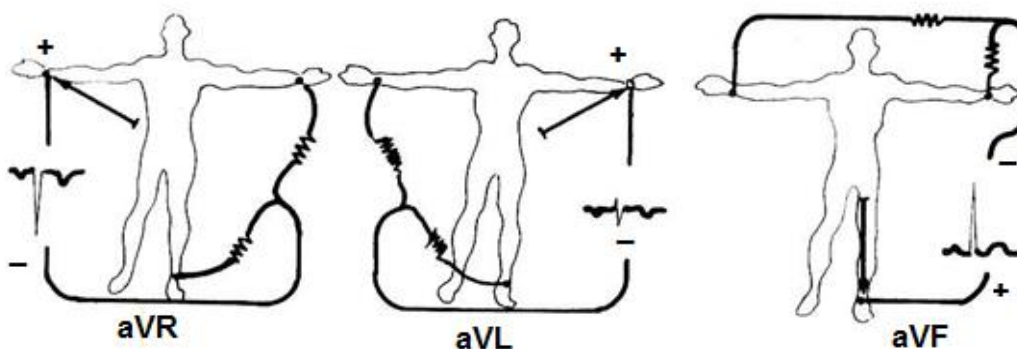
Deoarece derivațiile unipolare ale membrelor sunt amplificate (potențialele culese fiind prea mici), denumirea prescurtată a acestor derivații include un „a”. Prin urmare, cele 3 derivații unipolare ale membrelor sunt:

- aVR (derivație amplificată cu bornă centrală a brațului drept)
- aVL (derivație amplificată cu bornă centrală a brațului stâng)
- aVF (derivație amplificată cu bornă centrală a piciorului).

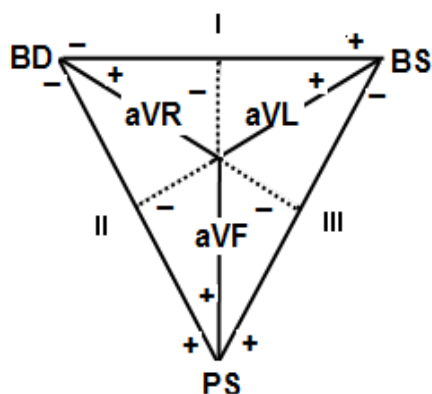




*Varianta Wilson-Goldberg de formare a derivațiilor unipolare ale membrelor (după Kleinerman)*



*Formarea derivațiilor aVR, aVL și aVF (după Kleinerman)*

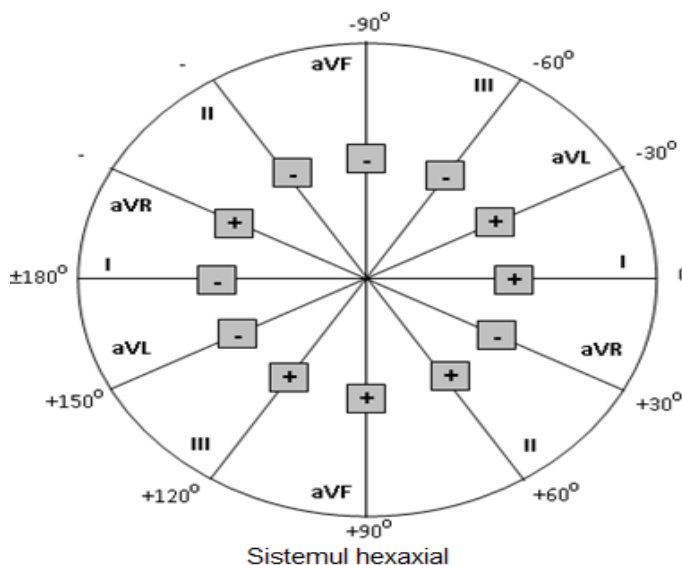


*Liniile derivațiilor bipolare și unipolare ale membrelor plasate în triunghiul lui Einthoven. (după Scripcaru, 1981)*

**Linia derivației unipolare este o linie imaginară care unește electrodul explorator cu centrul electric cardiac (cu borna centrală), reprezentând bisectoarele triunghiului echilateral Einthoven.**

Dacă plasăm liniile celor trei derivații în triunghiul lui Einthoven, ele reprezintă bisectoarele unghiurilor din triunghiul echilateral. În triunghiul lui Einthoven, centrul electric cardiac este considerat a fi centrul triunghiului.

Fiecare linie de derivație are o polaritate pozitivă, între punctul de plasare al electrodului și centrul electric cardiac și o jumătate negativă pe prelungirea derivației, dincolo de centrul electric.



Executând o mișcare de translație și aducând liniile derivațiilor bipolare și unipolare ale membrilor în centrul unui cerc, obținem un cerc tăiat de 6 axe, din  $30^{\circ}$  în  $30^{\circ}$  - **sistemul hexaxial al lui Bayley- Pallares - Cabrerra**.

Semicercul inferior (corespunzător părților pozitive ale derivațiilor) este notat cu grade pozitive.

Semicercul superior (corespunzător părților negative ale derivațiilor) este notat cu grade negative.

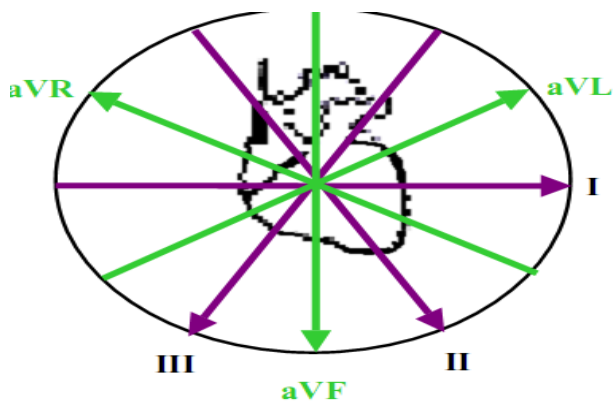
*Sistemul hexaxial format de liniile derivațiilor bipolare și unipolare ale membrilor (după Petre Dumitru)*

**Sistemul hexaxial este util pentru proiecția vectorilor rezultanți și pentru calculul axului electric al unei unde.**

### Relația dintre derivațiile membrilor și pereții inimii

Cum “văd” inima, diferitele derivații ale membrilor:

- Peretele lateral al VS: derivațiile DI, aVL
- Peretele inferior: derivațiile DII, DIII și aVF
- Fața endocavitară a inimii: derivația aVR
- Peretele posterior al inimii nu este explorat în mod direct!



**Derivațiile unipolare toracice – derivațiile precordiale:** înregistrează activitatea electrică în plan orizontal.

- Electrocul explorator se plasează în puncte standardizate ale regiunii precordiale și se leagă la borna pozitivă a galvanometrului.
- Electrocul indiferent este legat la borna centrală și se pune la polul negativ al galvanometrului.

Prin convenție internațională, s-au admis șase puncte toracice de fixare a electrozilor în derivațiile precordiale, notate cu V1...V6, în care “V” înseamnă derivație unipolară cu borna centrală, iar cifra 1,...6, reprezintă locul de plasare pe torace:

- V1 - în spațiul IV intercostal parasternal dreapta;
- V2 - în spațiul IV intercostal parasternal stânga;
- V3 - la mijlocul liniei ce unește V2 cu V4;
- V4 - în spațiul V intercostal pe linia medioclaviculară stângă;
- V5 - pe o linie orizontală care trece prin V4 și intersectează linia axilară anterioară;
- V6 - pe aceeași orizontală care trece prin V4 și intersectează linia axilară medie.

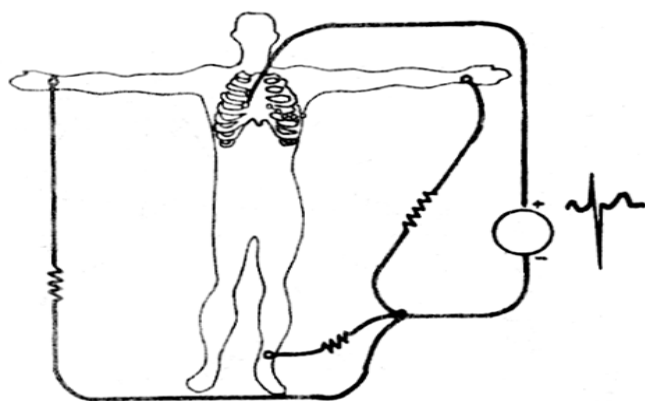
***V1 și V2 sunt situate în dreptul inimii drepte***

***V3 și V4 sunt situate în dreptul septului***

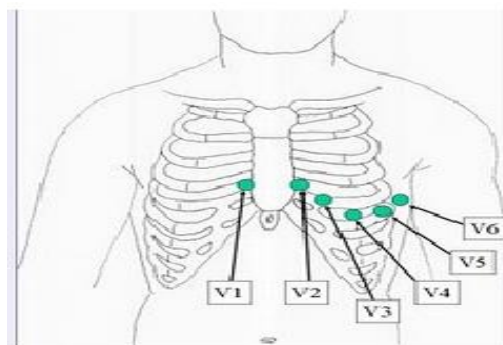
***V5, V6 sunt situate în dreptul inimii stângi***

Mai rar, se mai folosesc:

- derivația V7 – electrodul explorator este situat la intersecția liniei axilare posterioare, cu orizontala ce trece prin V4;
- derivația V8 – electrodul explorator situat la intersecția verticalei ce trece prin vârful omoplatului stâng, cu aceeași orizontală ce trece prin V4;
- conduceri precordiale drepte: V3R, V4R, V5R, V6R – electrozii fiind plasați pe partea dreaptă a toracelui, simetric față de conducerea precordială corespunzătoare de pe hemitoracele stâng. Se utilizează în caz de dextrocardie (când inima se află în hemitoracele drept și nu în cel stâng).



Formarea unei derivații precordiale (în acest exemplu V1)  
(după Pasteur, 1981)



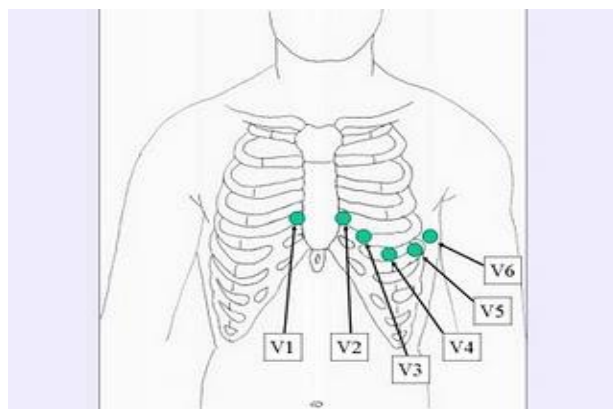
Locul de plasare al electrozilor  
în derivațiile precordiale

***Linia derivației precordiale este o linie imaginară care unește electrodul explorator cu centrul electric cardiac.***

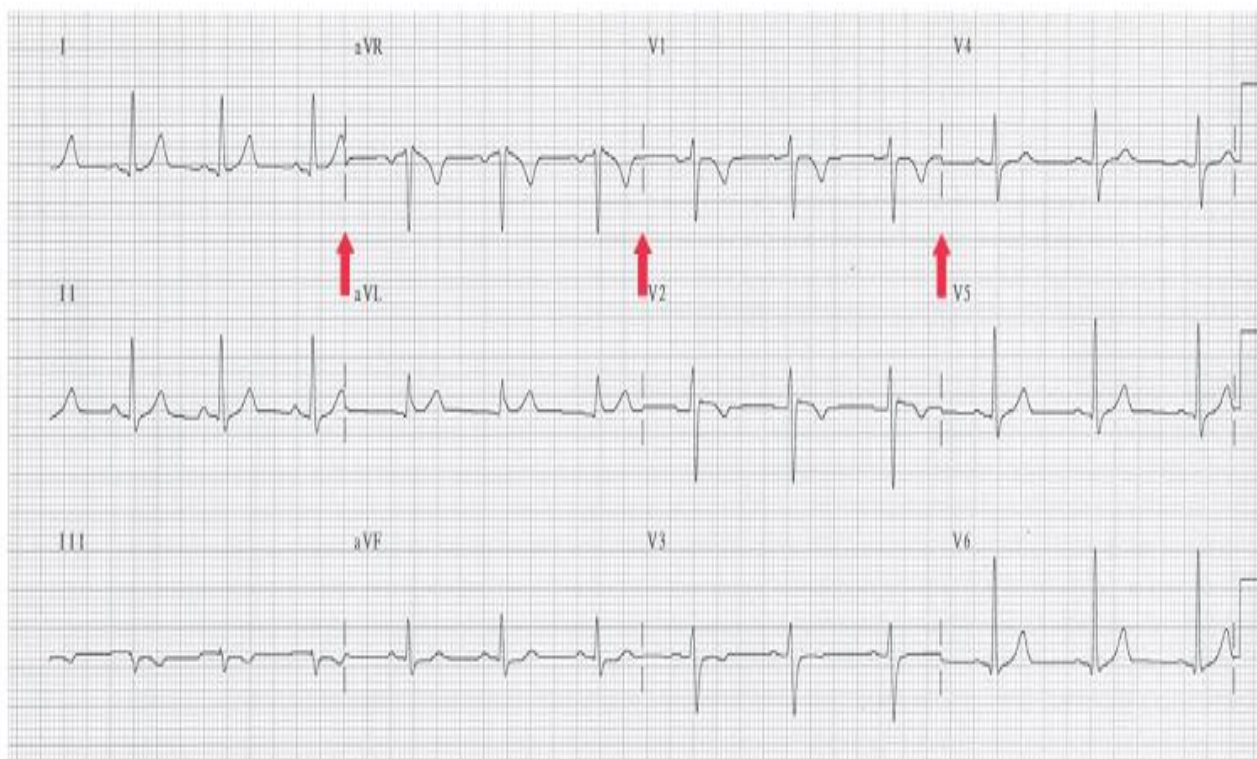
### **Relația dintre derivațiile precordiale și pereții inimii**

Cum “văd” inima, diferitele derivații precordiale?

- Peretele anterior al inimii: derivațiile V1,V2
- Septul interventricular: derivația V3
- Apexul: derivația V4
- Peretele lateral al VS: derivațiile V5,V6.



### Înregistrarea unei ECG: derivațiile bipolare și unipolare:



Înregistrare ECG făcută cu un electrocardiograf cu 3 canale. Grafoelementele indicate de săgeți sunt artefacte și reprezintă locul în care, comutatorul de derivații a schimbat derivațiile. Această schimbare se poate face automat sau manual.

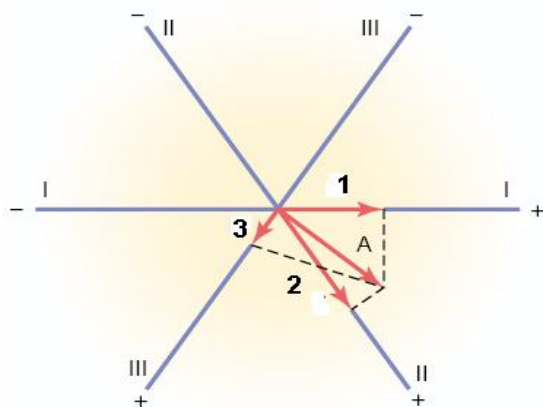
- Până la prima săgeată se înregistrează derivațiile bipolare standard: DI, DII și DIII.
- Între prima și a doua săgeată se înregistrează derivațiile unipolare ale membrilor: aVR, aVL, aVF.
- Între a doua și a treia săgeată se înregistrează primele 3 derivații unipolare toracice: V1, V2, V3.
- După ultima săgeată se înregistrează ultimele 3 derivații unipolare toracice: V4, V5, V6.

### Relația vector rezultat – derivație – undă ECG:

- *Mărimea (amplitudinea) și sensul undelor depind de proiecția vectorului unde respective pe linia derivației.*

#### 1. Un vector care se proiectează pe partea:

- pozitivă a derivației, va determina înscrierea unei unde pozitive în respectiva derivație;
- negativă a derivației, va determina înscrierea unei unde negative.



- Să presupunem ca vectorul A din imagine este vectorul rezultat al depolarizării atriale, care are o orientare de sus în jos și de la dreapta la stânga, de obicei între 30 și 70 grade.
- Acest vector se proiectează pe partea pozitivă a derivațiilor DI, DII și DIII. Rezultă că, în aceste derivații se va înscrie o undă pozitivă pentru depolarizarea atrială; este unda P.
- Conform proiecției, amplitudinea unde P este maximă în derivația DII și minimă în DIII.
- Dacă am continua proiecția și pe unipolarele membrelor am constata că unda P este pozitivă și în aVL și aVF, iar în aVR este negativă.

#### 2. Un vector care are o direcție paralelă cu o derivație va duce la înscrierea unei unde de amplitudine maximă în derivația respectivă.

Din imagine se vede ca amplitudinea maxima a proiecției vectorului A este în DII. Acest lucru se datorează poziției vectorului față de DII, care este orientat aproape paralel cu DII.

#### 3. Un vector care cade perpendicular pe o derivație înscrie în acea derivație un punct (0 potențial), o linie izoelectrică, sau dacă vectorul este suficient de mare, un complex echidifazic.

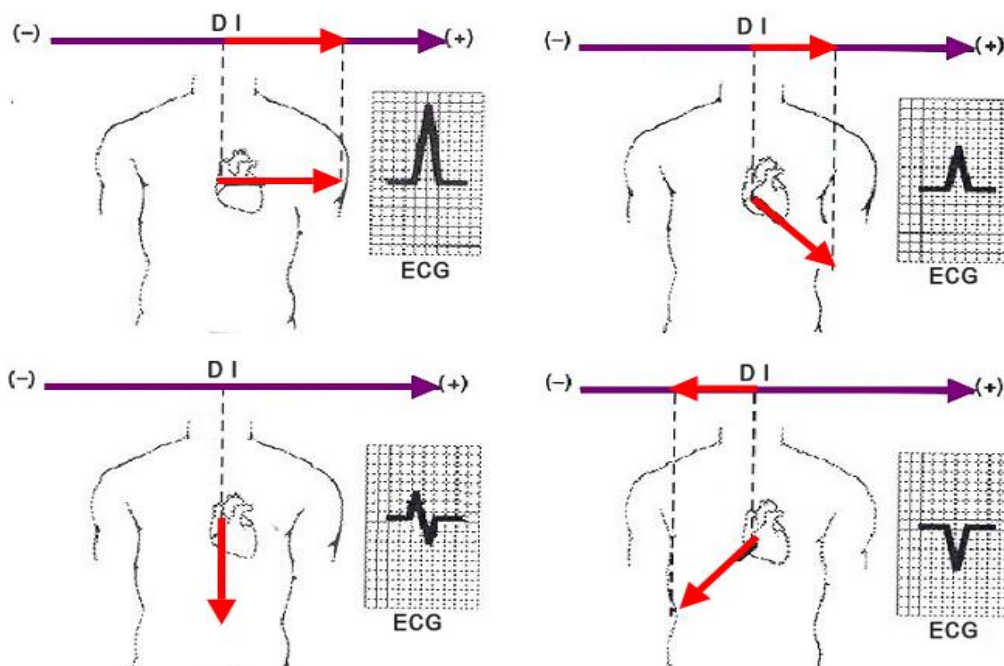
În imagine, proiecția vectorului A în DIII este foarte mică pentru că vectorul A are o poziție aproape perpendiculară pe DIII.

#### • *Sensul undelor* depinde de:

- **sensul jumătății liniei de derivație pe care se proiectează VMR** – vectorul mediu rezultat (*în derivațiile bipolare*);
- **poziția VMR față de electrodul explorator** (*în derivațiile unipolare*):
  - undă pozitivă (vectorul se îndreaptă spre electrod) (privește fața pozitivă, încă nedepolarizată);
  - undă negativă (vectorul se îndepărtează de electrodul explorator); electrodul explorator privește acum fața depolarizată, negativă a miocardului.



**Relația dintre vectorul rezultat al inimii și derivația ECG (în acest exemplu DI):**



### **Direcția propagării excitației în cord. Depolarizarea și repolarizarea cordului**

La generarea grafoelementelor de pe ECG participă următorii vectori finali:

- *de depolarizare atrială*
- *de depolarizare septală*
- *de depolarizare ventriculară*
- *de repolarizare ventriculară*

**Depolarizarea atrială** – este declanșată de stimuli fiziologici porniți din nodulul sinusal.

- **Atriu drept** se depolarizează primul, înaintea atrului stâng, cu 0,02 sec;

- Vectorul este orientat conform poziției lui în torace, de la dreapta la stânga (de la NSA către NAV), de sus în jos și dinapoi – înainte (NSA este situat pe peretele postero-superior al atrului drept).

- **Atriu stâng se depolarizează după atriu drept**

- Vectorul este orientat aproape orizontal de la dreapta la stânga și dinainte - înapoi.

Considerând că cei doi vectori se proiectează în plan frontal și au aceeași origine, putem afla, aplicând regula de însumare a paralelogramului, vectorul rezultat al depolarizării celor două atrii. Acesta este reprezentat de *diagonala paralelogramului format din cei doi vectori și este orientat de la dreapta la stânga și de sus în jos*.

- Pe ECG, depolarizarea atrială este reprezentată de **unda P**, pozitivă și rotunjită, în care prima jumătate (panta ascendentă) este dată de depolarizarea atrului drept, iar cea de a doua jumătate (panta descendentă), de depolarizarea atrului stâng.
- Depolarizarea atrială “curge” de la endocard – prima porțiune depolarizată, spre epicard, încă pozitiv, sub forma de dipoli.
- Un electrod plasat pe epicard (torace) va “privi” sau, altfel spus, va fi plasat în camp electric pozitiv, deci va înregistra o undă pozitivă – undă P.



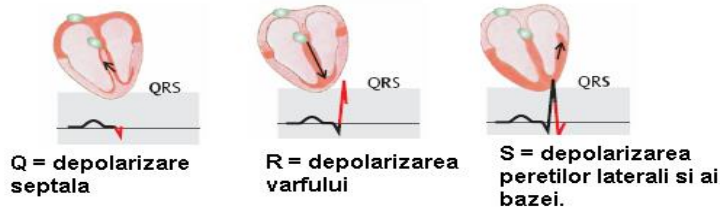
**Repolarizarea atrială** începe din același loc de unde a început și depolarizarea, adică de la endocard, care se va pozitiva, în timp ce epicardul este încă negativ.

- Electrocul plasat în punctul B (epicard) se află în câmp electric negativ (privește partea negativă). Unda înscrisă este negativă.
- Unda negativă de repolarizare atrială notată cu T, nu apare pe ECG, deoarece este mascată de complexul qRS. Repolarizarea atrială devine vizibilă doar când depolarizarea atrială se face cu frecvență foarte mare, sistolele atriale nefiind urmate de sistole ventriculare, ci doar la un număr de 2, 3, 4 sistole atriale într-un răspuns ventricular.



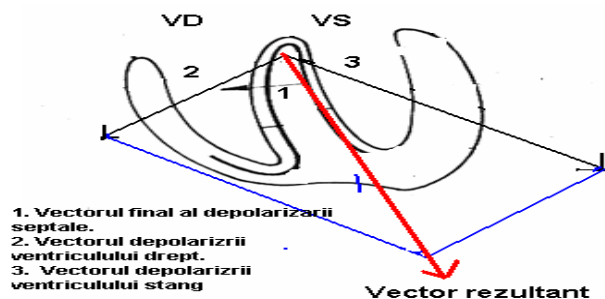
### Depolarizarea ventriculară

- Prima zonă depolarizată a mușchiului ventricular este **septul interventricular**, de la endocard către mijloc, pentru septul stâng (vectorul fiind orientat de la stânga la dreapta) și de la dreapta la stânga pentru septul drept; vectorul mediu rezultat al depolarizării septale este orientat de la stânga spre dreapta (septul stâng are grosime mai mare decât septul drept) ⇒ Pe ECG se va înscris **unda q**.
- Urmează **depolarizarea ventriculară**, mai întâi vârful (unda **R** pe ECG), apoi pereții laterali și în final se depolarizează baza ventriculilor – **unda s** pe ECG.



- **Depolarizarea pereților ventriculari** se face de la endocard la epicard, cu vectori orientați:
  - de la stânga la dreapta și de sus în jos pentru ventriculul drept (vector 2);
  - de sus în jos și de la dreapta la stânga pentru ventriculul stâng (vector 3).

Vectorul mediu rezultat al depolarizării ventriculare este orientat de la dreapta la stânga și de sus în jos (săgeata roșie). Depolarizarea ventriculară este reprezentată pe ECG de **complexul qRS**.



*Direcția vectorilor de depolarizare ventriculară*

**Repolarizarea ventriculară** se face de la epicard la endocard (în sens invers depolarizării). Un electrod plasat în punctul B (membre, torace) se afla în câmp electric pozitiv, deci va înscris o undă pozitivă. Este reprezentată pe ECG de **unda T**.

### Înregistrarea unei electrocardiografe

Un electrocardiograf este un galvanometru modificat, care înregistrează cu viteză mare variațiile de curent electric generate de inimă, pe care le amplifică și le transformă în deplasări mecanice.

În principiu un astfel de aparat este alcătuit din:

- electrozi și cabluri care stabilesc legătura dintre câmpul electric cardiac și aparat;
- sistemul de amplificare electronic;
- comutatori de derivații;
- sistemul de înregistrare care diferă după tipul aparatului: pe hârtie termosensibilă, mecanosensibilă, cu cerneală, pe un tub catodic, pe ecranul unui computer;
- un sistem de derulare a hârtiei (*a se vedea lucrările practice*).

### Hârtia ECG

- De regulă, hârtia ECG are un caroiaj caracteristic, standardizat. Fiecare căsuță mică este un pătrat cu latura de 1 mm.
- Căsuțele mari (care au 5 căsuțe mici) au 5 mm.
- Ea “curge” din aparat cu o **viteză de 25 mm/secundă, mai rar de 50 mm/sec.**

### Determinarea voltajului (a amplitudinii) și a duratei undelor pe un traseu ECG

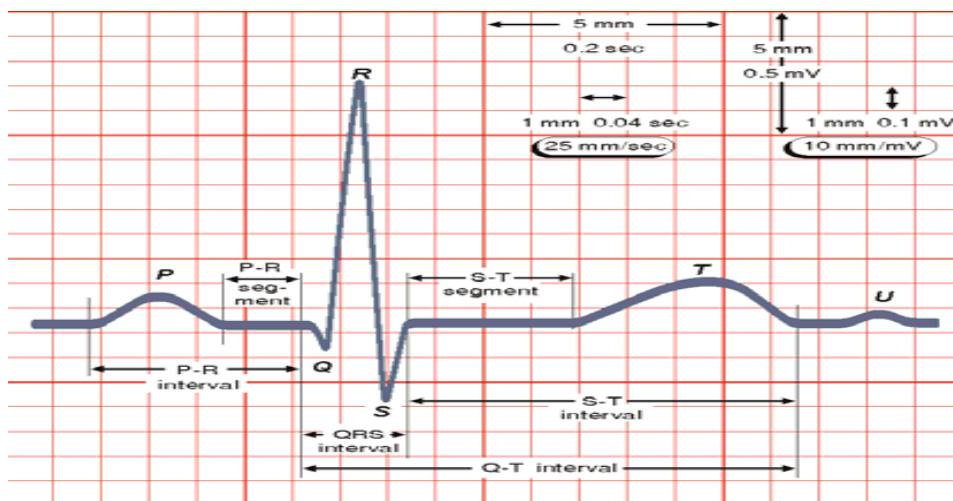
Orice electrocardiograf este dotat cu un sistem de etalonare, care ne spune care este relația dintre voltaj și amplitudinea în mm a unei unde. Standard, în ECG, **la 1 mV corespund 10 mm.**

Pentru calculul duratei unei unde sau a unui segment trebuie să cunoaștem viteza de derulare a hârtiei.

- Dacă: într-o secundă se înscrisu 25 mm, atunci unui milimetru îi corespunde o durată de **0,04 secunde**.
- Pentru o viteză de 50 mm/sec., unui milimetru îi corespund **0,02 secunde**.

O căsuță mică, la viteză de 25 mm/sec., va avea:

- pe verticală (amplitudinea): **1 mm = 0,1 mV**
- pe orizontală (durata): **0,04 secunde**



## Traseul ECG normal

Un traseu ECG este format din **unde, segmente și intervale**:

- unda P
- segmentul PQ
- intervalul PQ
- complexul QRS
- segmentul S-T
- unda T
- intervalul QT
- +/- unda U

**Undele.** Sunt deflexiuni pozitive sau negative cu parametri bine definiți: morfologie, sens, amplitudine, durată, ax electric.

- Undele situate deasupra liniei izoelectrice sunt numite *unde* sau *deflexiuni pozitive*. Cele situate sub linia izoelectrică sunt numite *unde negative*.
- undele de pe o ECG sunt:
  - *unda P* – semnifică depolarizarea atrială;
  - *undele complexului qRs* - semnifică depolarizarea ventriculară;
  - *unda T* - semnifică repolarizarea ventriculară, faza activă, rapidă;
  - *unda U* (apare rar) - semnifică postpotențialele ventriculare sau repolarizarea rețelei Purkinje sau a mușchilor pilieri.

**Segmentul** este o linie izoelectrică și reprezintă porțiunea de la sfârșitul unei unde până la începutul undei următoare.

Pe un traseu ECG se înscriu 3 segmente:

- *segmentul Pq* – de la sfârșitul unde P până la începutul unde q sau R, dacă q lipsește. Se mai numește și segment PR. Semnifică conducerea atrio-ventriculară;
- *segmentul ST* - de la sfârșitul unde S până la începutul unde T. Semnifică începutul repolarizării ventriculare, faza pasivă, lentă;
- *segmentul TP* – diastola generală. **Este considerat linia izoelectrică, de referință!**

**Intervalul:** cuprinde segmente și unde:

- *intervalul Pq sau PR* cuprinde unda P și segmentul Pq. Semnifică depolarizarea atrială și conducerea atrio-ventriculară. Se mai numește și *atriogramă*;
- *intervalul qT* – cuprinde complexul qRS, segmentul ST și unda T. Semnifică depolarizarea și repolarizarea ventriculară. Se mai numește și *ventriculogramă*;
- *intervalul RR* – reprezintă un ciclu cardiac.