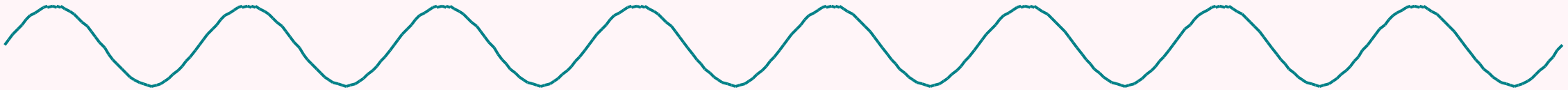
# Fiziologia EEG

## De la curenții ionici ai neuronilor la traseul înregistrat pe scalp

Potențiale postsinaptice • sincronizare • răspunsuri senzoriale
Somn NREM și REM • aplicații clinice



# Principiul teoretic al înregistrării EEG

## Cum ajunge activitatea neuronilor pe EEG?

Schemă simplificată; semnele locale nu stabilesc singure polaritatea unei derivații.

**1. Sinapsă** → **2. Curenți locali** → **3. Însumare** → **4. Măsurare**

Mesager chimic
→ canale ionice
→ deplasare de ioni




Exemplu: intrare de sarcină pozitivă în dendrite; curenți de retur în alte zone.

Mulți neuroni piramidali au orientări asemănătoare.

Când sunt activați coordonat, câmpurile lor se pot însuma.

Electrod A

Electrod B / referință

**V(A) − V(B)**

amplificare
→ traseu EEG

Semnalul de la scalp reflectă mai ales curenți postsinaptici însumați, filtrați de țesuturi.

SCHEMĂ DIDACTICĂ • Nu reprezintă date măsurate la o persoană.

## Ce măsoară?

Variația în timp a diferenței de potențial electric dintre două puncte de înregistrare.

## De unde vine semnalul?

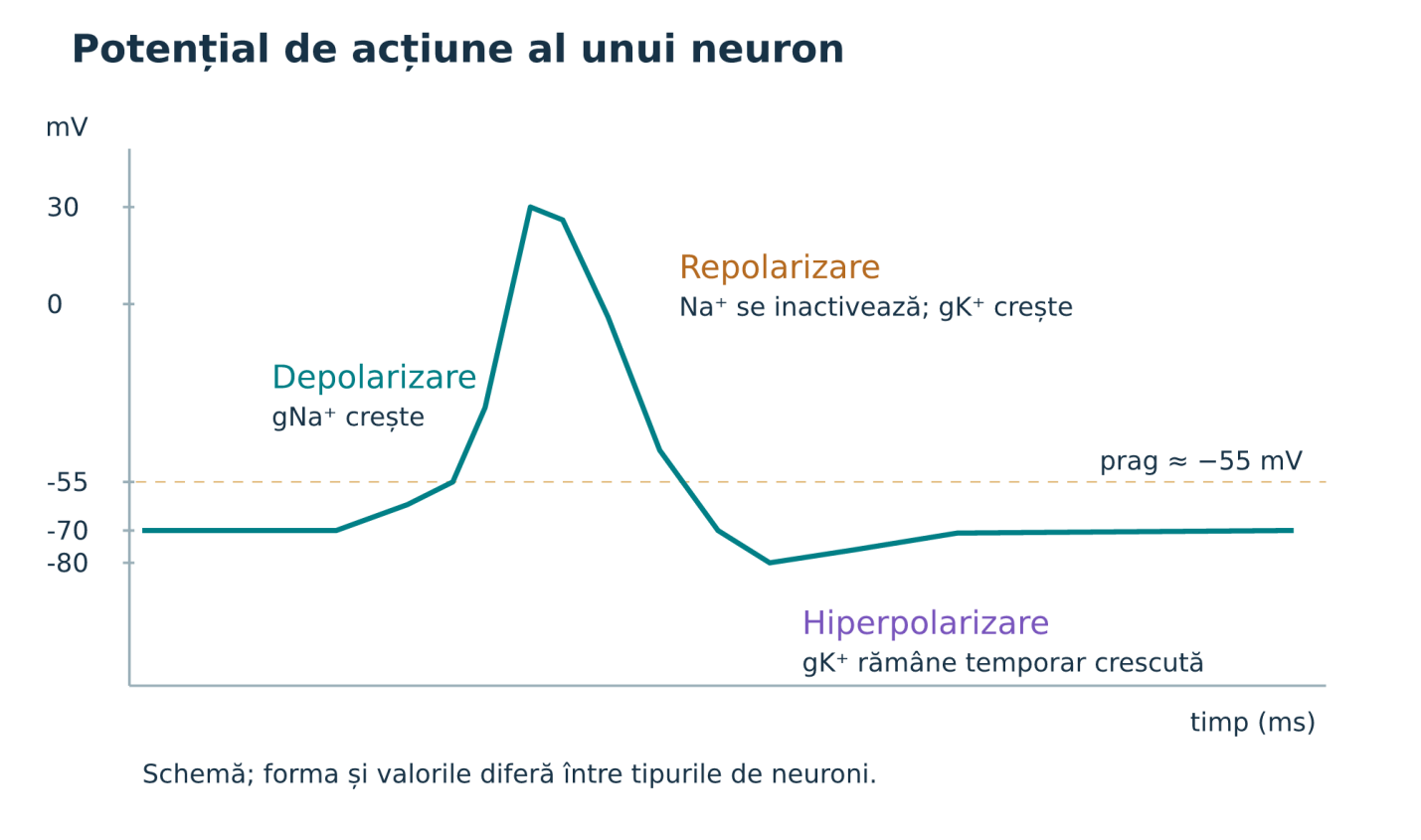
Mai ales din curenții postsinaptici ai unor populații de neuroni corticali.

## De ce ajunge pe scalp?

Țesuturile conduc câmpul electric, dar îl atenuează și îl distribuie spațial.

Un canal EEG reflectă contribuția multor celule; nu înregistrează separat un singur neuron.

# Potențialul de membrană și conductanțele ionice




Schemă; forma și valorile diferă între tipurile de neuroni.

## Depolarizare

Interiorul devine mai puțin negativ. În impulsul nervos, crește conductanța pentru $Na^+$.

## Repolarizare

Canalele de $Na^+$ se inactivează; crește conductanța pentru $K^+$, iar $K^+$ părăsește celula.

## Hiperpolarizare

Conductanța pentru $K^+$ rămâne crescută; interiorul devine mai negativ decât în repaus.

Conductanță = ușurința trecerii ionilor prin membrană. Pompa $Na^+/K^+$ menține gradientele ionice.

# Transmiterea sinaptică: de la impuls la EPSP

### 1. Impuls presinaptic

Potențialul de acțiune ajunge la terminația axonului.

### 2. Intrarea $Ca^{2+}$

Se deschid canale de $Ca^{2+}$ dependente de voltaj; $Ca^{2+}$ intră în terminație.

### 3. Eliberarea mediatorului

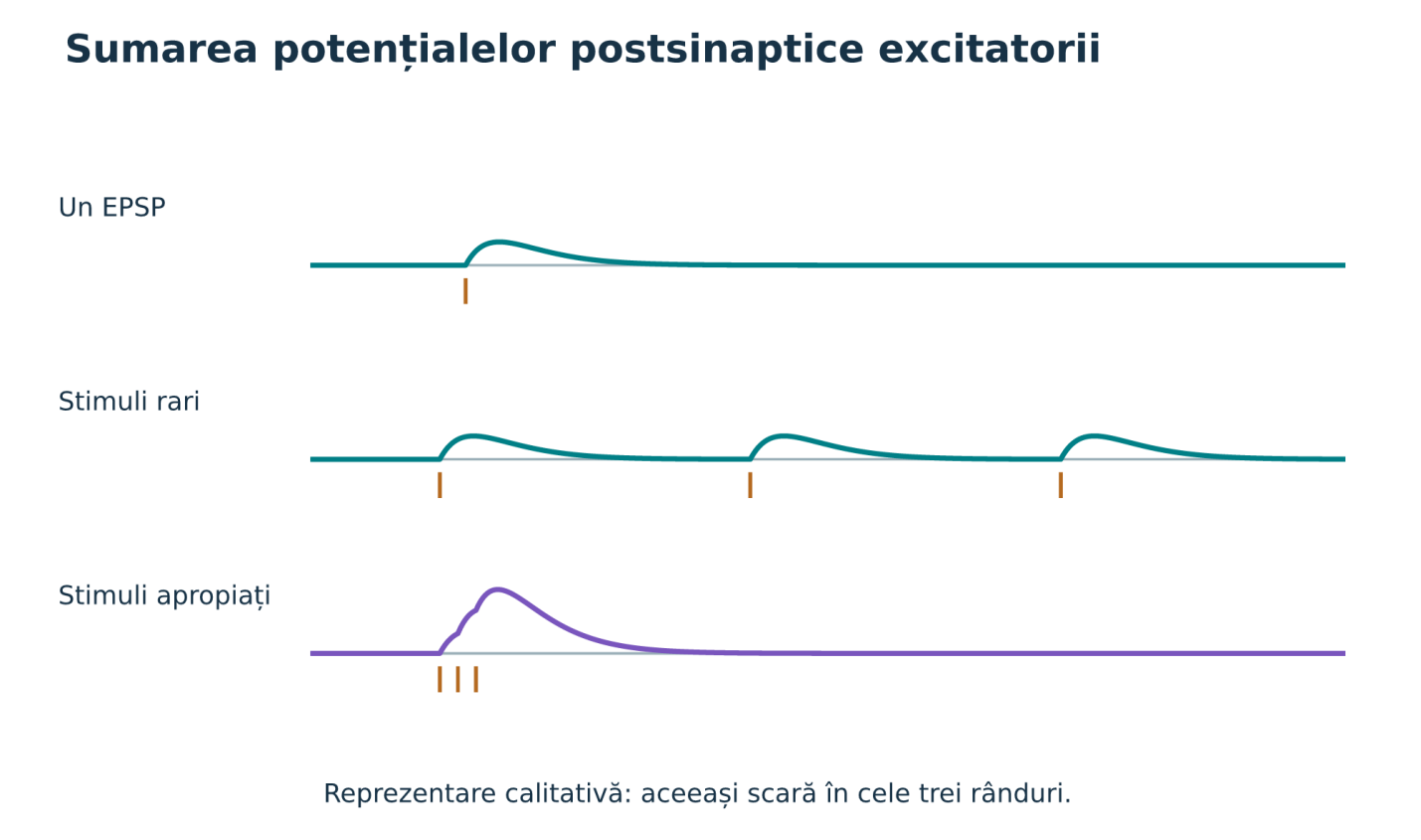
Veziculele eliberează neurotransmițătorul în fanta sinaptică.

### 4. Răspuns postsinaptic

Mediatorul se leagă de receptori și modifică conductanțele membranei.

**La o sinapsă excitatorie, curentul cationic net spre interior produce un EPSP: o depolarizare locală, gradată.**

# Sumarea potențialelor postsinaptice excitatorii




## Sumare temporală

EPSP-urile sosesc apropiat în timp, înainte ca depolarizarea precedentă să dispară.

## Sumare spațială

Mai multe sinapse excitatorii active produc simultan curenți pe același neuron.

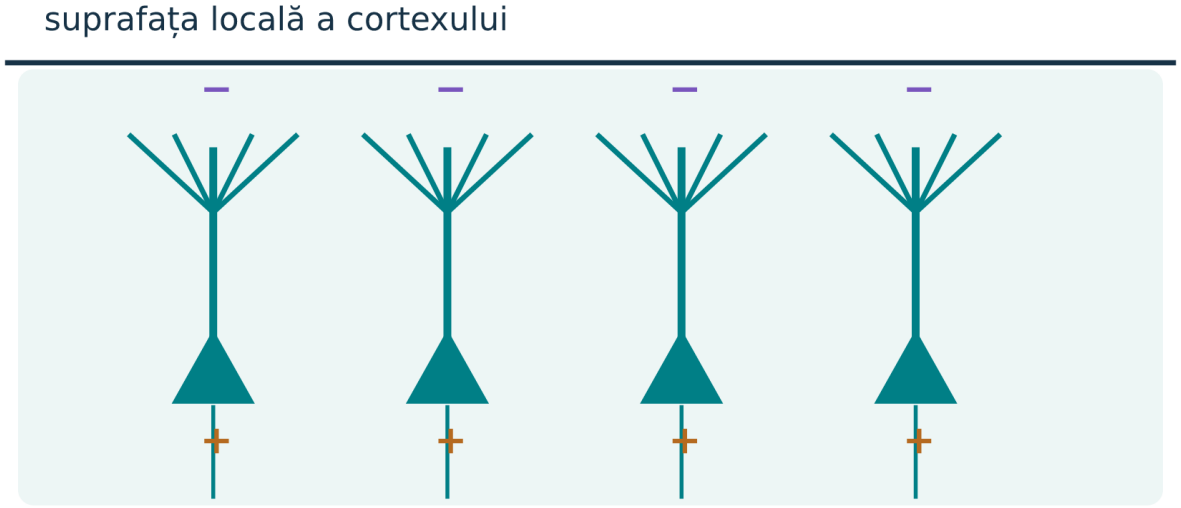
## La nivelul populației

Câmpurile multor neuroni se adună când orientarea și activarea sunt favorabile.

Și curenții inhibitori contribuie la câmp. Amplitudinea EEG nu măsoară direct „cantitatea de excitație”.

# De ce sunt importanți neuronii piramidali?

**Dendrite orientate asemănător → câmpuri care se adună**




Schemă simplificată a unui curent sinaptic și a curentului de retur.
Polaritățile depind de locul sinapsei și de direcția curentului.

## Dendrite lungi

Dendritele apicale separă spațial zonele de intrare și de retur ale curentului.

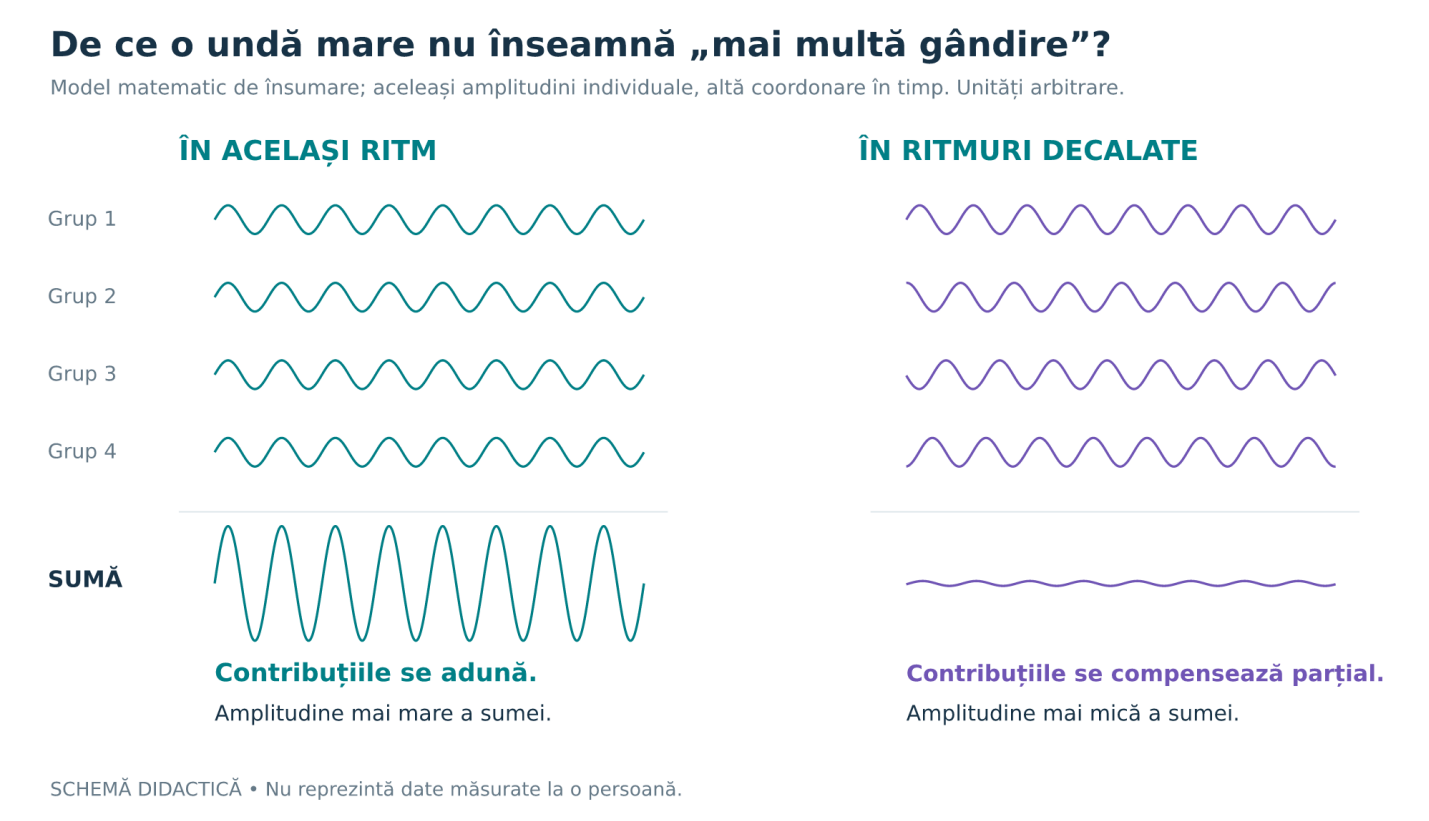
## Orientare asemănătoare

Axele celulelor sunt local aproape paralele și perpendiculare pe suprafața cortexului.

## Câmpuri care se adună

Geometria ordonată favorizează un câmp detectabil. Orientările diferite pot produce compensare.

# Sincronizarea populațiilor neuronale




## Activare sincronă

Curenții apar aproximativ în aceeași fază; contribuțiile se adună și undele devin mai ample.

## Activare nesincronă

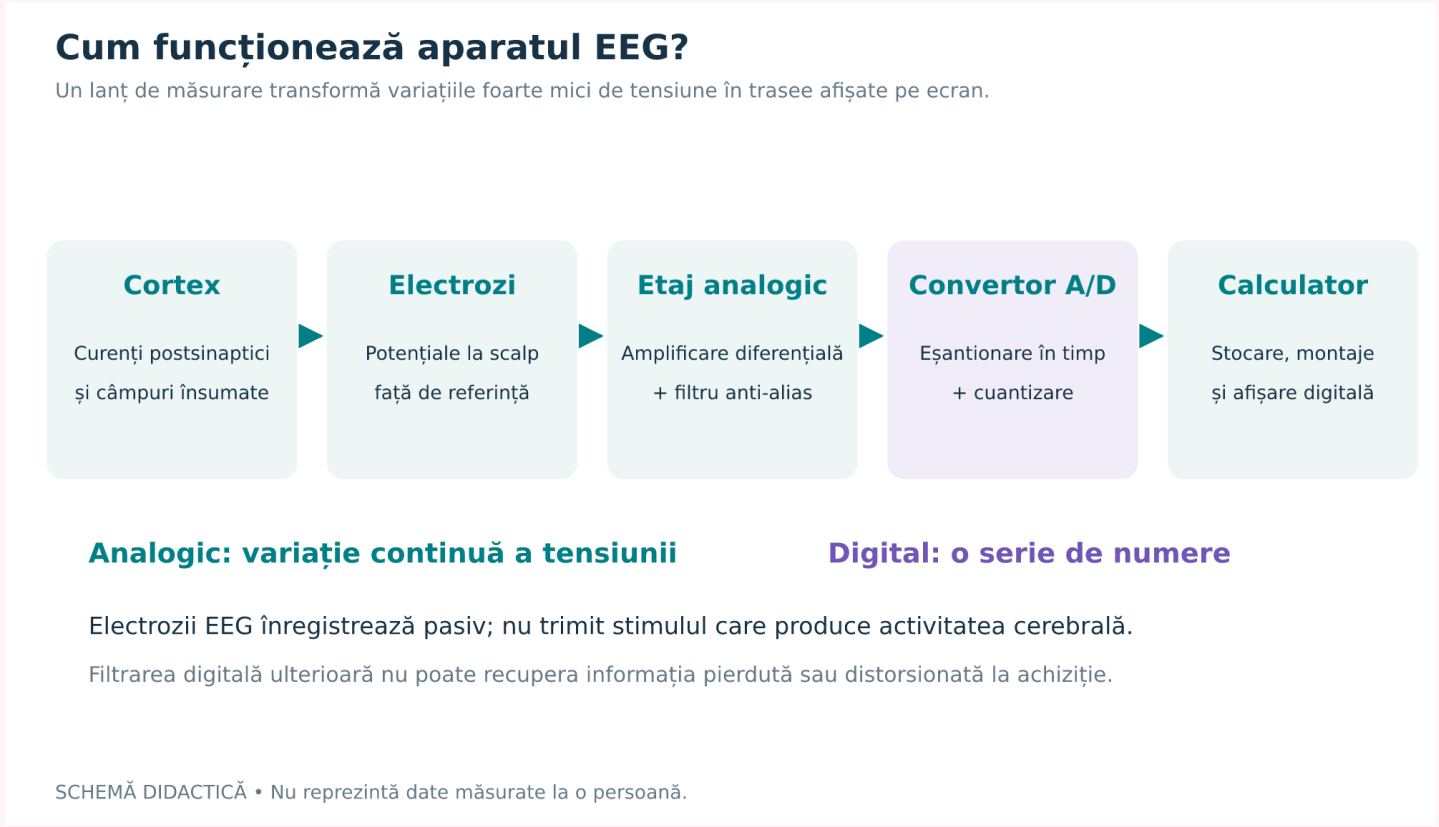
Vârfurile apar la momente diferite; contribuțiile se compensează parțial.

## Ce coordonează neuronii?

Aferențele comune, conexiunile corticale și circuitele dintre talamus și cortex.

Un traseu de amplitudine mică poate însoți o activitate neuronală intensă.

# Lanțul de înregistrare EEG




## 1. Culegere

Electrozii detectează potențiale de suprafață; fiecare canal compară două potențiale.

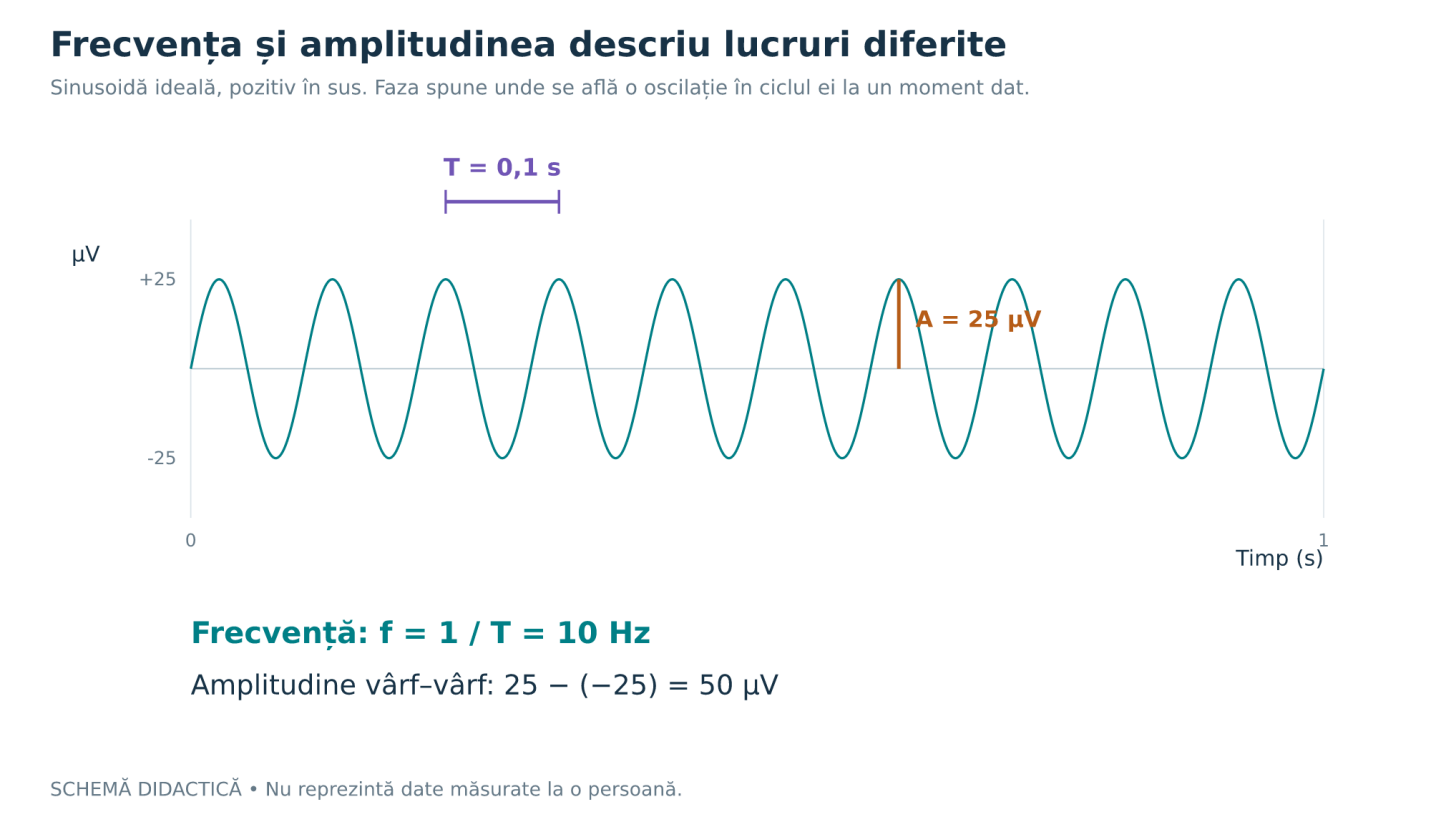
## 2. Prelucrare analogică

Semnalul mic este amplificat și filtrat înainte de conversia numerică.

## 3. Afișare și analiză

Calculatorul stochează semnalul digital și afișează traseul în timp.

# Descrierea traseului: frecvență și amplitudine




## Frecvența, în Hz

Numărul de cicluri într-o secundă. Pentru o oscilație regulată, f = 1/T.

## Amplitudinea, în µV

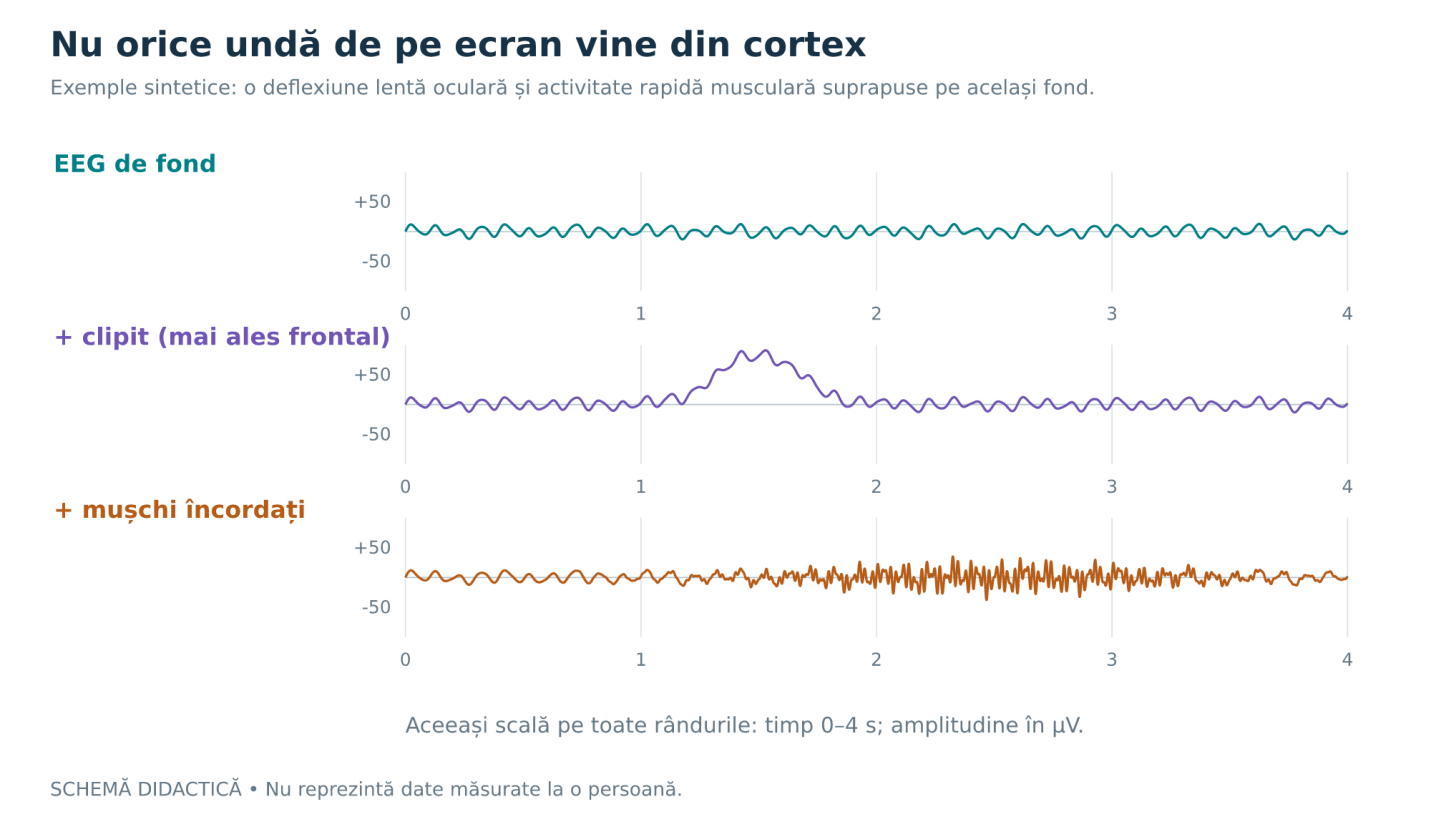
Mărimea variației de potențial. Se precizează dacă este măsurată față de bază sau vârf–vârf.

## Exemplul din imagine

T = 0,1 s → f = 10 Hz. Amplitudine față de bază: 25 µV; vârf–vârf: 50 µV.

Compararea traseelor cere aceeași bază de timp și aceeași scară de amplitudine.

# Artefacte: semnale care se suprapun peste EEG




## Ochi și mușchi

Clipitul produce unde lente, mari anterior; mușchii adaugă activitate rapidă.

## Electrozi și mișcare

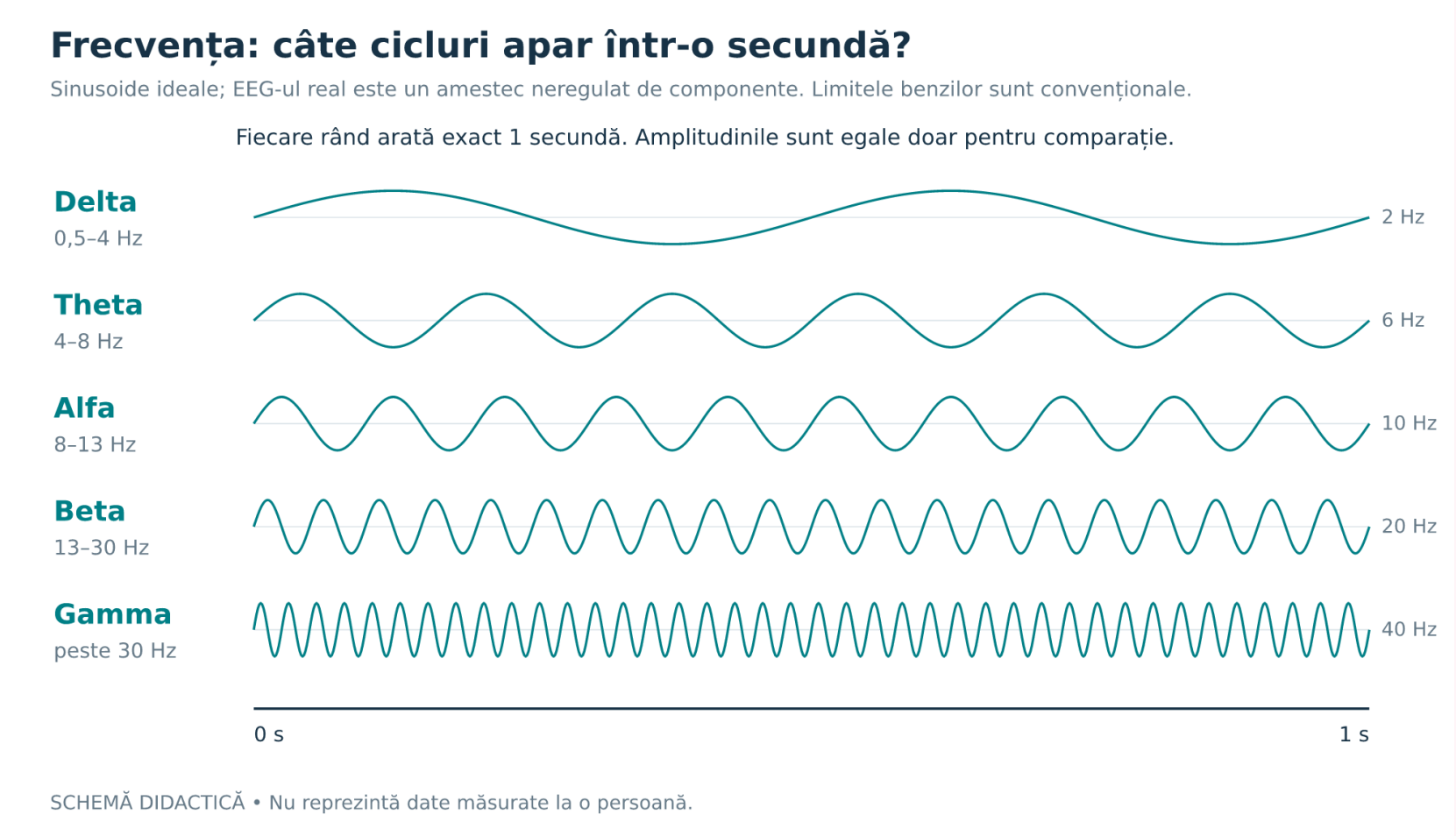
Contactul instabil produce salturi, deriva nivelului sau deformări ale traseului.

## Rețea, ECG și puls

Interferența electrică este ritmică; semnalele cardiace se repetă odată cu bătăile inimii.

Artefactele au origine extracerebrală sau tehnică; pot imita unde lente ori activitate rapidă cerebrală.

# Benzile principale de frecvență




Undele coexistă. În figură au amplitudini egale doar pentru compararea frecvențelor.

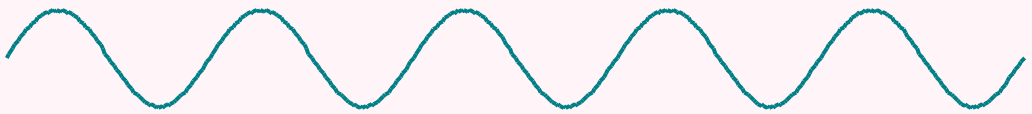
# Alfa și beta: două aspecte frecvente în veghe

**ALFA aproximativ 8–13 Hz**

Predominant posterior, rotunjit.
Evident în veghe relaxată, cu ochii închiși.
Se atenuează la deschiderea ochilor, la atenție și la adormire.

**BETA aproximativ 13–30 Hz**

Activitate rapidă, de obicei de amplitudine mică.
Frecvent fronto-centrală în veghe; poate apărea și în REM.
Variază cu sarcina motorie și cu unele medicamente.



Alfa posterior: reactivitate vizuală



Beta: nu este echivalent cu „stresul”

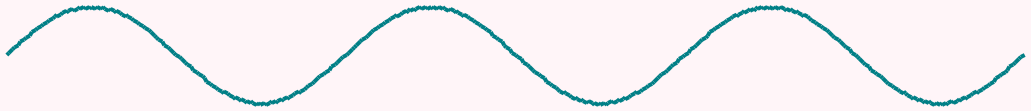
# Teta și delta: activitate lentă și starea de somn

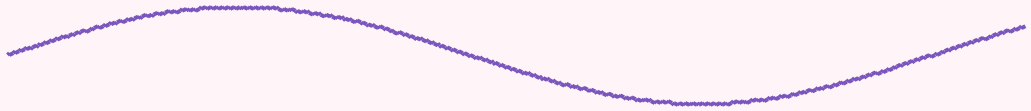
### TETA aproximativ 4–8 Hz

Crește la somnolență și în N1; apare și în N2.
Este mai frecventă la copii.
La trezire poate scădea; semnificația depinde de vârstă, distribuție și context.

### DELTA aproximativ 0,5–4 Hz

Unde lente, adesea ample în somnul profund N3.
Scade la superficializarea somnului și la trezire.
La un adult treaz, delta persistentă poate semnala o disfuncție.





Nicio bandă, luată singură, nu stabilește un diagnostic.

# Cum se generează și de ce se schimbă ritmurile?

### 1. Celulele pot oscila

Canalele ionice și curenții de revenire permit alternanțe de depolarizare și hiperpolarizare.

### 2. Coordonarea rețelei

Excitația, inhibiția și buclele talamo-corticale stabilesc momente recurente de activare.

### 3. Schimbarea stării

Somnul, atenția și stimulii modifică neuromodularea, sincronizarea și frecvența dominantă.

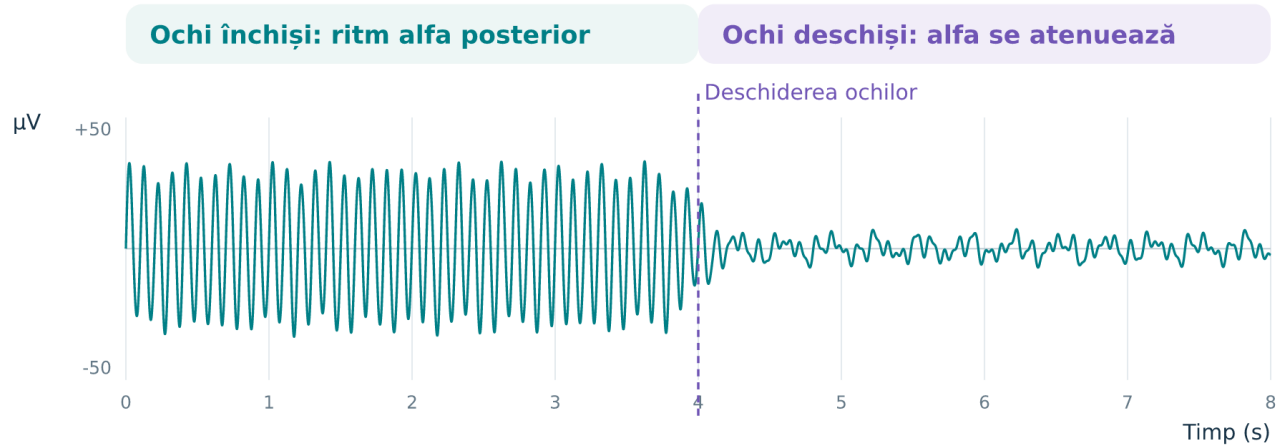
**Sincronizare crescută → oscilații mai vizibile**
**Sincronizare redusă → fond adesea mai mic și mai rapid**

Un ritm se poate atenua în timp ce alte componente devin mai evidente.

# Ochii închiși și deschiși: reactivitatea alfa

### Un exemplu ușor de prezentat: reacția la deschiderea ochilor

Traseu sintetic posterior • aceleași scale înainte și după • pozitiv în sus în această schemă.




Amplitudinea mică după deschiderea ochilor nu înseamnă că activitatea cerebrală a scăzut.

SCHEMĂ DIDACTICĂ • Nu reprezintă date măsurate la o persoană.

## Ochii închiși

În veghe relaxată, alfa posterior devine de obicei mai clar și mai amplu.

## Deschiderea ochilor

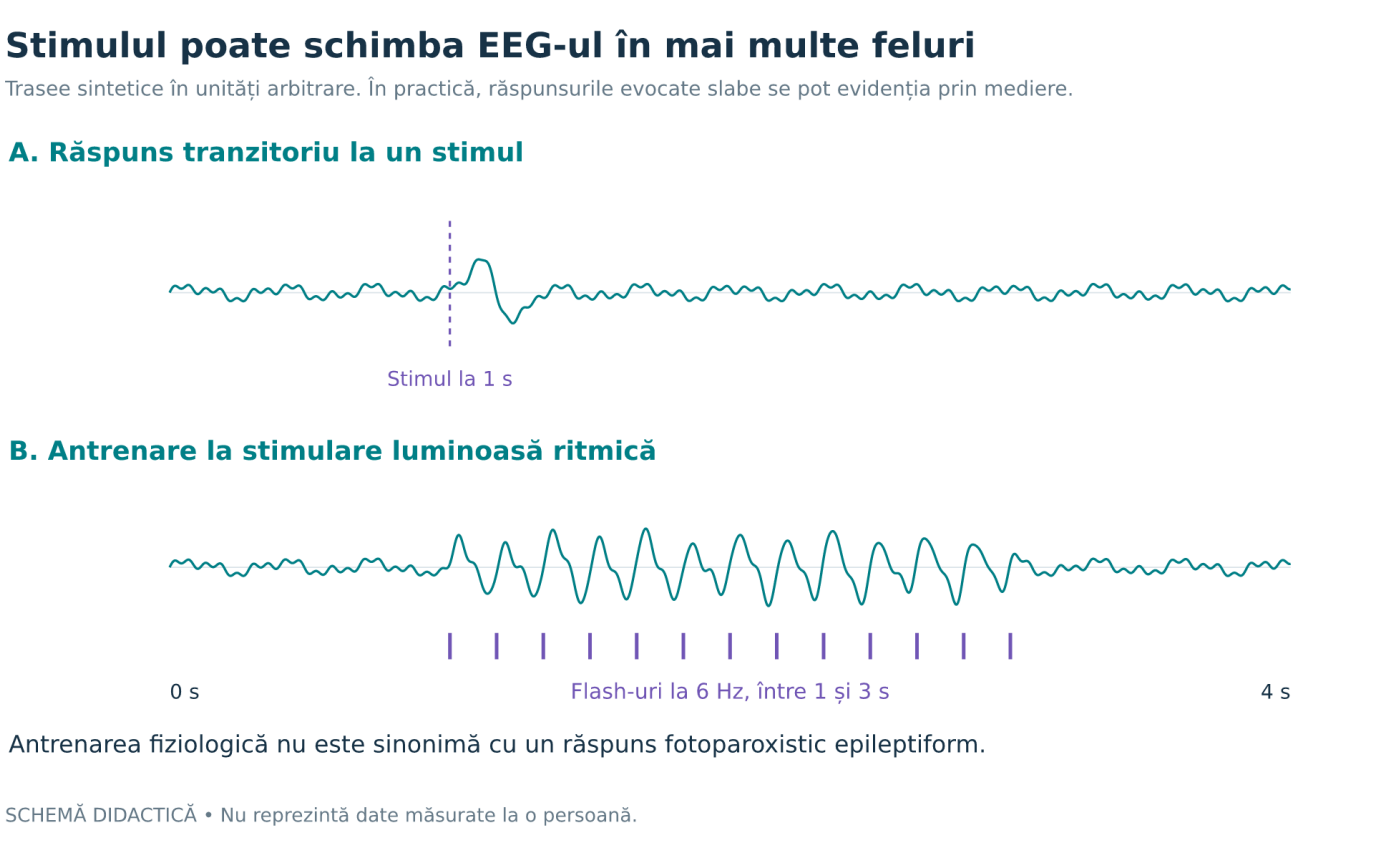
Intrarea vizuală și atenția modifică rețelele occipitale; alfa se atenuează: blocare alfa.

## Închiderea din nou

Alfa poate reapărea dacă persoana rămâne trează și relaxată.

Atenuarea nu înseamnă oprirea activității vizuale: se schimbă organizarea ei temporală.

# Stimularea senzorială și potențialele evocate




## Reactivitate a fondului

Stimulul modifică un ritm existent, de exemplu prin atenuarea alfa.

## Potențial evocat

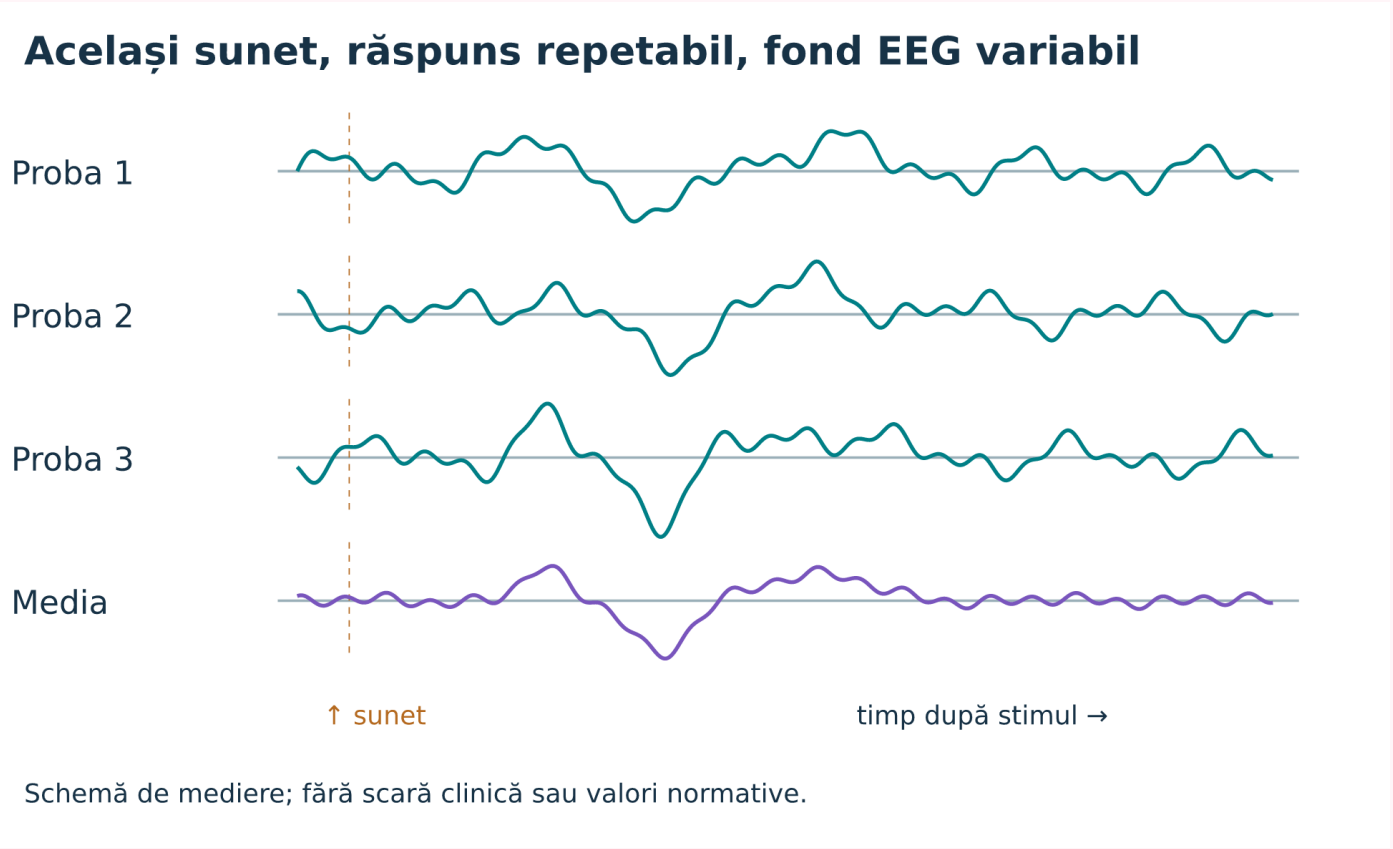
Răspuns electric legat temporal de stimul, cu o anumită formă și latență.

## Repetare și mediere

Răspunsurile aliniate la stimul se adună; activitatea de fond nesincronizată se reduce relativ.

Potențialul evocat și modificarea ritmului de fond sunt fenomene diferite.

# Potențialul evocat auditiv




## Traseul informației

Sunet → cohlee → nerv auditiv → trunchi cerebral → talamus → cortex auditiv.

## Componente succesive

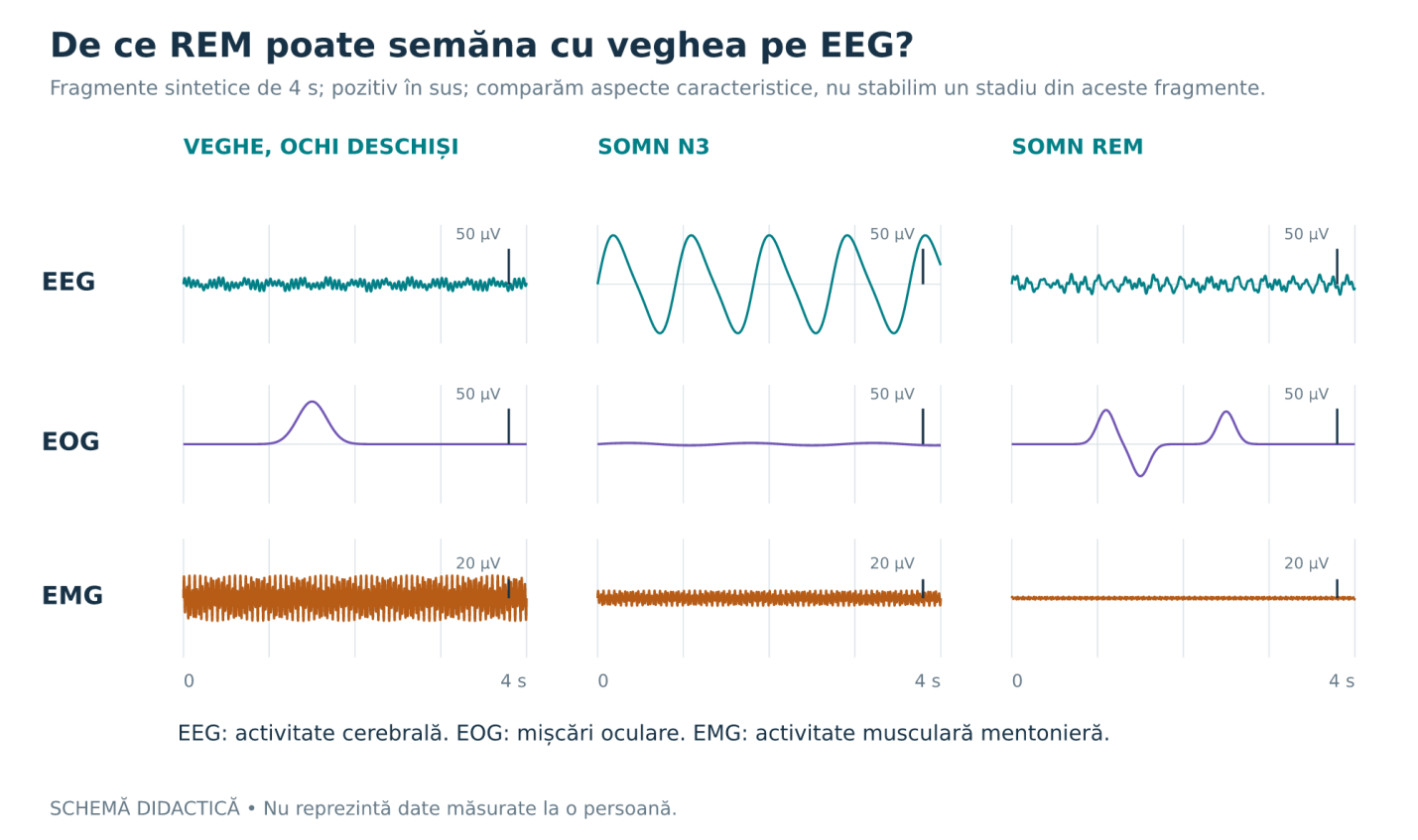
Precoce: nervul și trunchiul cerebral.
Tardive: procesarea senzorială centrală.

## Ce se analizează?

Latența față de sunet, amplitudinea și reproducibilitatea la stimulări repetate.

Componentele auditive precoce includ activitate axonală sincronă; nu provin exclusiv din EPSP-uri corticale.

# Somnul NREM și REM: două moduri de organizare




## NREM: N1, N2, N3

De la somn ușor la profund: cresc undele lente și apar elemente specifice fiecărui stadiu.

## REM

EEG relativ rapid, de amplitudine mică; mișcări oculare rapide și tonus muscular foarte redus.

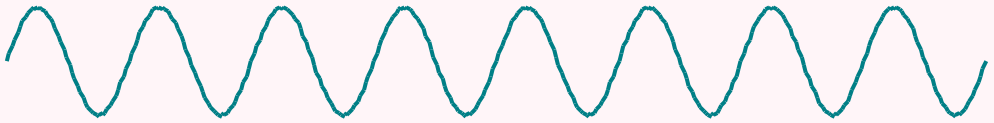
## Comparația semnalelor

EEG descrie activitatea cerebrală; EOG mișcările ochilor; EMG tonusul muscular.

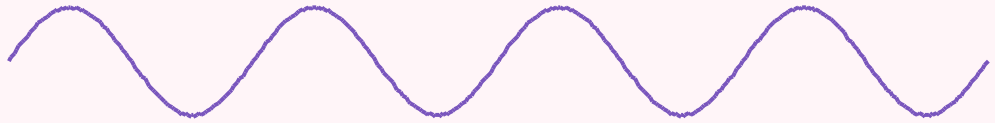
N3 reunește stadiile III și IV ale clasificării prezentate în carte.

# N1: trecerea de la veghe la somn

## Alfa se fragmentează și scade



veghe cu ochii închiși



activitate mai lentă, de tip teta

**Traseu**

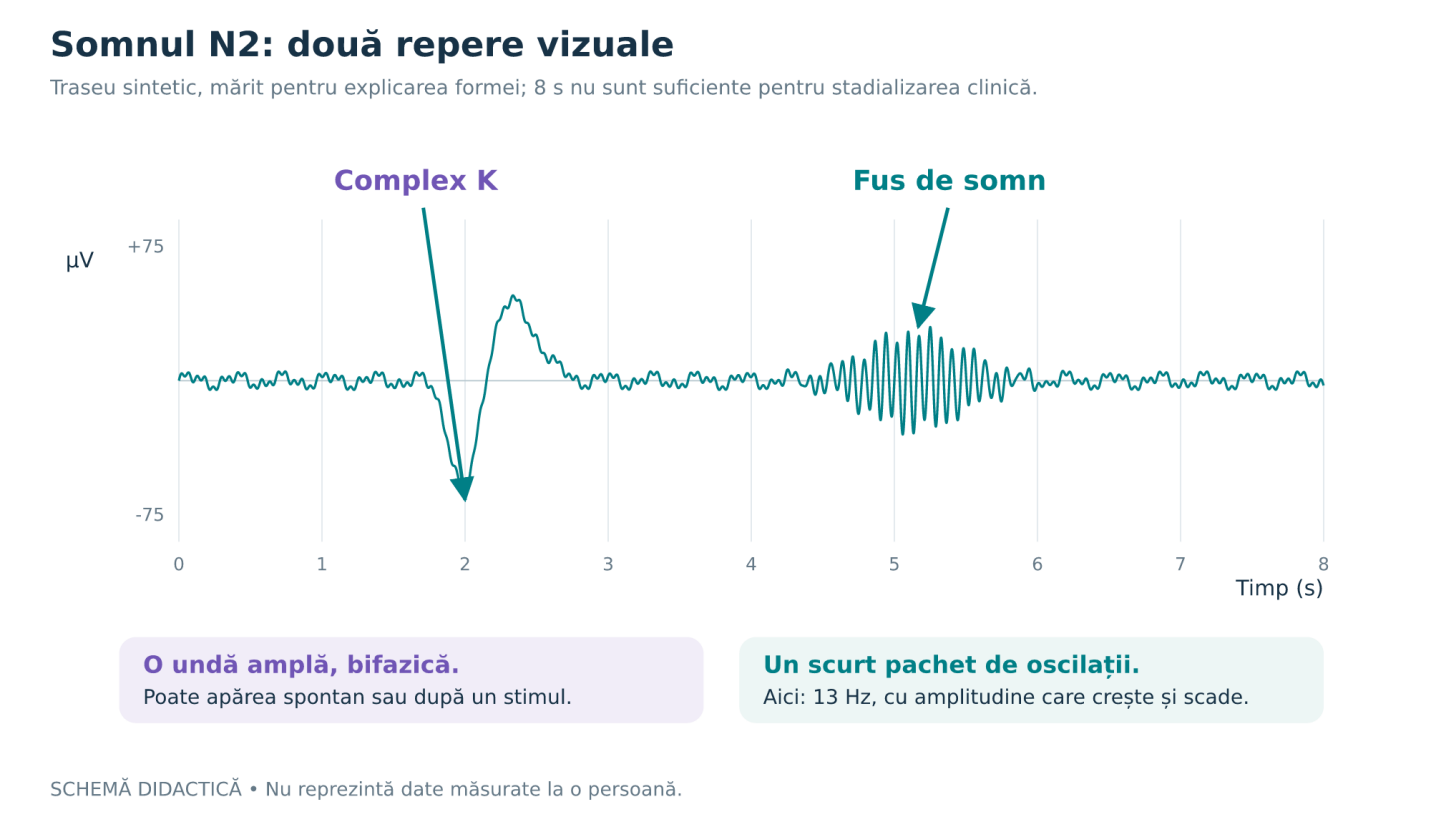
Activitate de amplitudine mică, cu frecvențe mixte și proporție crescută de teta.

**Context**

Pot apărea mișcări oculare lente și unde vertex; persoana se trezește ușor.

Teta crește treptat; schimbarea ritmurilor la adormire nu este instantanee.

# N2: fusurile de somn și complexele K




## Fusul de somn

Tren scurt de oscilații, în jur de 12–15 Hz, cu amplitudine care crește și apoi scade.

## Originea fusului

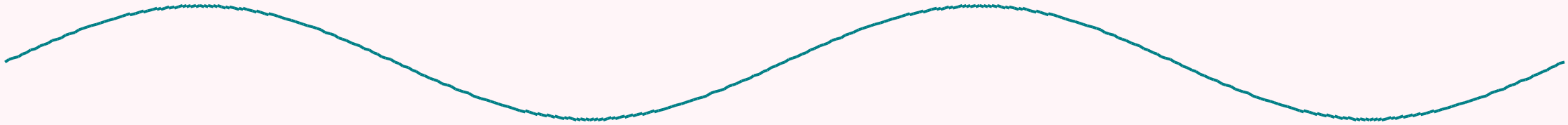
Circuitul reticulat talamic–talamo-cortical produce inhibiție și descărcări de revenire.

## Complexul K

Deflexiune amplă, bifazică, legată de o oscilație lentă; spontană sau evocată de un sunet.

Fusul este un tren de oscilații; complexul K este un eveniment lent distinct.

# N3: somnul profund cu unde lente



### Aspect EEG

Crește proporția undelor delta lente și ample, prin activarea coordonată a populațiilor corticale.

### Mecanism

Rețelele corticale alternează perioade de activare și liniște; talamusul participă la oscilațiile lente.

### Evoluție nocturnă

N3 predomină la începutul nopții; scade la trecerea spre stadii mai ușoare și spre trezire.

Delta și oscilația corticală foarte lentă sunt înrudite funcțional, dar nu sunt același ritm.

# REM: activitate corticală și atonie musculară



### EEG

Activitate de amplitudine mică și frecvențe mixte, cu componente rapide; poate semăna cu veghea.

### Ochi și mușchi

Mișcările oculare rapide sunt episodice. Tonusul mușchilor scheletici este foarte redus.

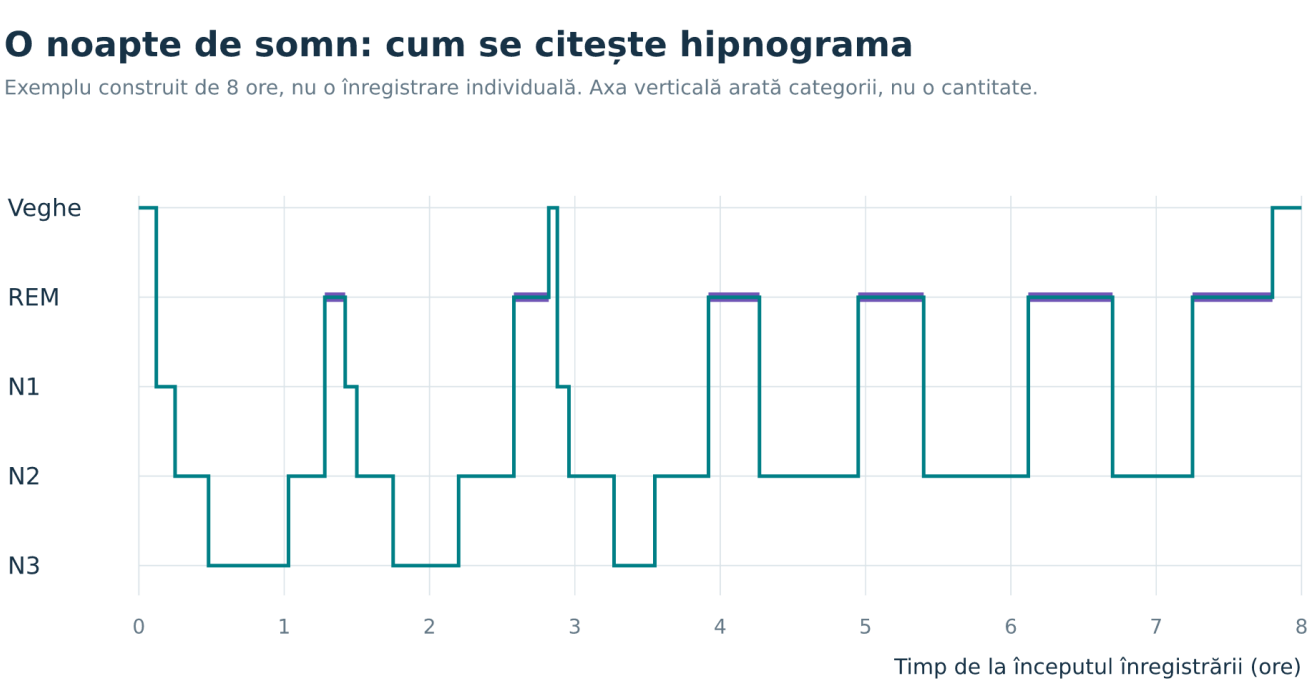
### Mecanism

Rețelele pontine și neuromodularea favorizează activarea corticală și inhibiția motoneuronilor.

### Visele

Relatările sunt frecvent vii în REM, dar pot apărea și în NREM. EEG nu arată povestea visată.

# Hipnograma: cum se succed stadiile somnului




## Ce reprezintă?

Stadiul somnului în funcție de timp; nu este un traseu al tensiunii electrice.

## Alternanță ciclică

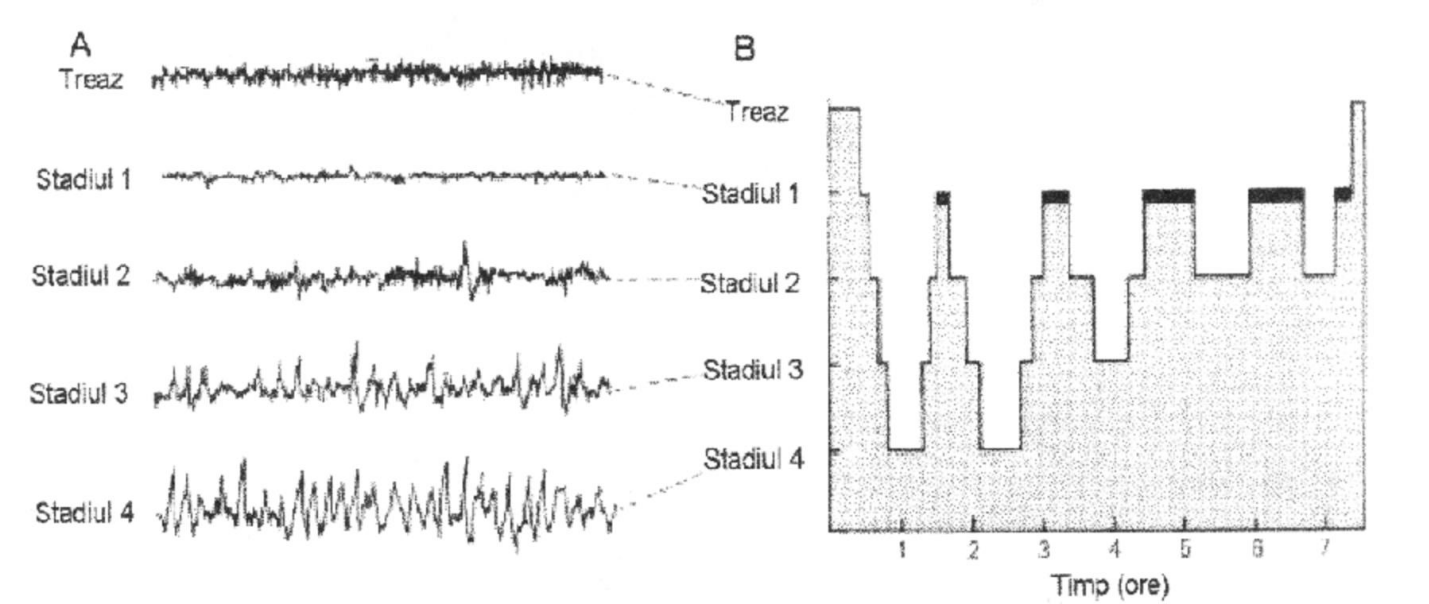
Somnul trece prin NREM și REM, în cicluri succesive, cu variații de la o noapte la alta.

## La început și spre dimineață

N3 este mai abundent la început; episoadele REM tind să se prelungească spre dimineață.

Axa verticală arată stadiile, iar axa orizontală timpul petrecut de la adormire.

# Trasee EEG de somn și hipnogramă din carte




## Panoul A: trasee EEG

În stadiul 2 se observă elemente tranzitorii; în stadiile 3 și 4 cresc undele lente, ample.

## Panoul B: hipnogramă

Somnul profund predomină în prima parte; benzile negre indică perioadele REM.

## Corespondența stadiilor

Stadiul 1 = N1; stadiul 2 = N2; stadiile 3 și 4 sunt reunite aici în N3.

În panoul A, fiecare fragment are 30 s. Figura păstrează clasificarea și etichetele originale.

# Aplicații clinice ale EEG

**Epilepsie**

Identifică descărcări epileptiforme și ajută la caracterizarea crizelor, în context clinic.

**Disfuncție cerebrală**

Încetinirea focală sau difuză poate evidenția o modificare a funcționării cerebrale.

**Somn**

Împreună cu EOG și EMG, permite identificarea stadiilor și a organizării somnului.

**Stare de conștiență**

Descrie fondul, organizarea și reactivitatea activității electrice în stări de vigilență modificată.

Un EEG normal nu exclude epilepsia. EEG arată funcționarea electrică și nu înlocuiește evaluarea clinică sau imagistica.

# Sursă bibliografică

## Leon Zăgrean și colaboratorii

## Neuroștiințe. Principii fundamentale

Editura Universitară „Carol Davila”
București, 2002