

Ionáromok

IONCSATORNÁK

1. **Osztályozás töltéshordozók szerint:**

1. pozitív töltésű ion: Na^+ , K^+ , Ca^{2+}
2. negatív töltésű ion: Cl^- , HCO_3^-
3. Non-specifikus kationcsatornák: h áram
4. Non-specifikus anioncsatornák (vastagbél epitéliumában, növényekben ABA (abszcizinsav) szignálútvonal kulcs ioncsatornája;
Depolarizálók: Na^+ , Ca^{2+} , non-specifikus kation áramok
Hiperpolarizálók: Cl^- , HCO_3^-

2. *A kapuzás (gating) típusa szerint:*

1. ligandoperált (M áram ACh)

2. feszültségfüggő (gyors Na^+ áram, T áram, h áram stb)

depolarizációra nyílik: gyors Na^+ áram, T áram

hiperpolarizációra nyílik: h áram

3. mechanoszenzitív

4. egyéb

3. *Kialakuló áram kinetikája:*

Tranziens: gyors Na^+ áram, adott idő múlva inaktiválódik;

Perzisztens: L áram, h áram, amíg az aktiváláshoz szükséges membránpotenciál

fennáll addig aktív;

4. ***Energetikai besorolás:***

1. az ioncsatornák energetikailag passzívok (áramlást koncentráció és elektrokémiai gradiens szabályozza)
2. az ionáram erőssége: nagy konduktanciájú: gyors Na^+ áram, kis konduktanciájú SK csatorna (Ca^{2+} -aktivált K^+ csatorna)

5. ***A csatornák inaktivációja:***

1. ioncsatornák több állapotban létezhetnek:
ZÁRT (aktiválható) → **NYITOTT** → **INAKTÍV** (zárt - nem aktiválható) → **ZÁRT**
2. relatív és abszolút refrakter szakaszok

Szívműködés

Szívizomsejtek ionáramai:

depolarizáló áramok:

gyors Na^+ áram: tranziens, csatorna depolarizált membránpotenciálon nyit;

f áram: Na^+ - K^+ vegyes áram, nem inaktiválódó, hiperpolarizált

membránpotenciálon nyit; cAMP szint emelkedése növeli, csökkenése

gátolja

T áram: Ca^{2+} áram, tranziens, viszonylag lassú ionáram, enyhén

depolarizált membránpotenciálon nyit;

L áram: Ca^{2+} áram, nem inaktiválódó, erősen depolarizált

membránpotenciálon nyit;

hiperpolarizáló áramok:

késői (delayed rectifier) K^+ csatorna: nem inaktiválódó, kicsit késve (amikor a Na^+ csatornák már inaktívak) aktiválódik, depolarizált membránpotenciálon nyit;

M típusú (ACh aktivált) K^+ áram: ACh hatására nyit,

tranziens korai K^+ áram: depolarizációra nyit, gyorsan inaktiválódik

inward rectifier K^+ áram: nyugalmi membránpotenciál meghatározásában döntő szerepet játszó tranziens áram. Depolarizált membránpotenciálon inaktív, Na^+ áram repolarizációjában nem vesz részt.

Cl^- áram: repolarizáció gyorsítása, NA és cAMP is aktiválja

Lassú akciós potenciál (AP):

sinuscsomó és atrioventricularis csomó egy részének sejtjei:

pacemaker aktivitás:

gyors Na^+ csatorna nincs,

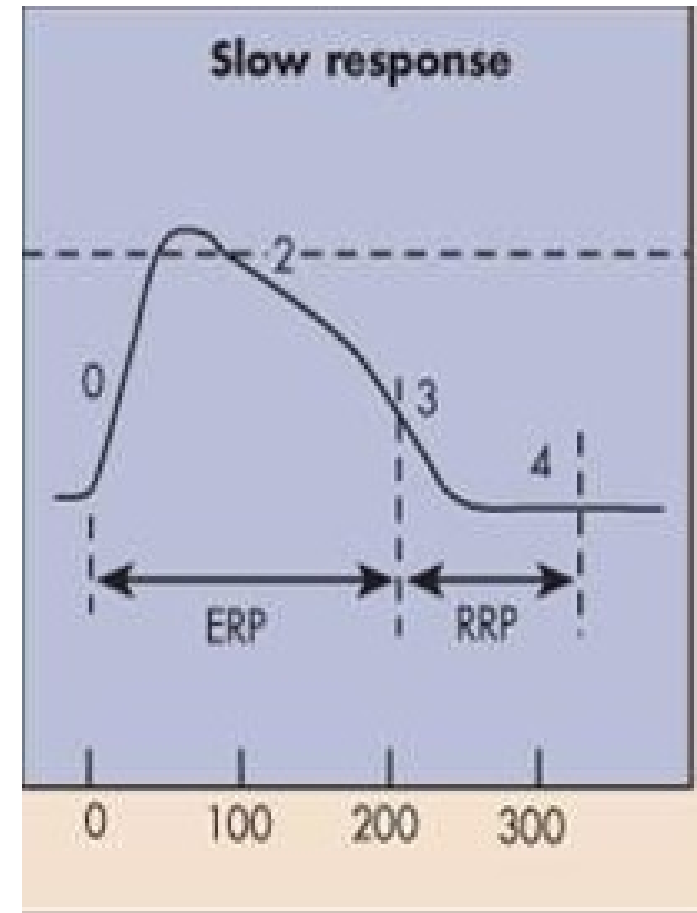
~100 ms hosszú Ca^{2+} potenciál alakul ki.

Depolarizáció:

f áram, T áram, L áram

Repolarizáció:

késői K^+ , ACh aktivált K^+ áram,



Szakaszok:

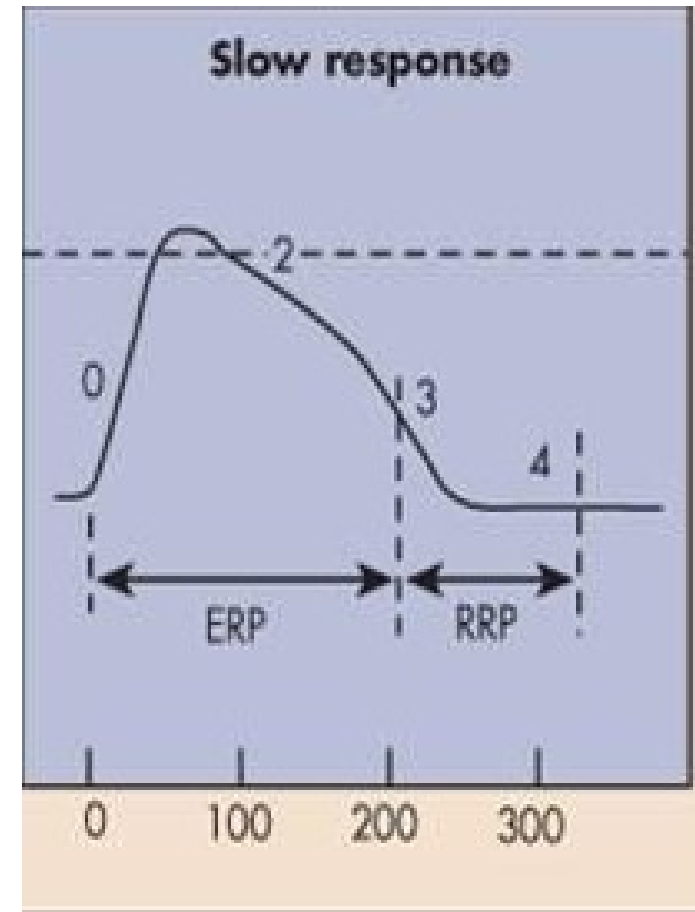
T típusú Ca^{2+} áram: lassú depolarizáció (0)

Legdepolarizáltabb részeken L áram is aktiválódik

T áram inaktiválódik, megkezdődik a repolarizáció (2)

K^+ áramok (késői K^+ áram és ACH aktivált K^+ áram) segítségével további repolarizáció és hiperpolarizáció (3)

Hiperpolarizáció hatására f áram aktiválódása, enyhe depolarizáció, újabb ciklus beindulása (4)



Gyors AP:

Ingerületvezető rendszer sejtjei, pitvari és kamrai izomsejtek

Depolarizáció:

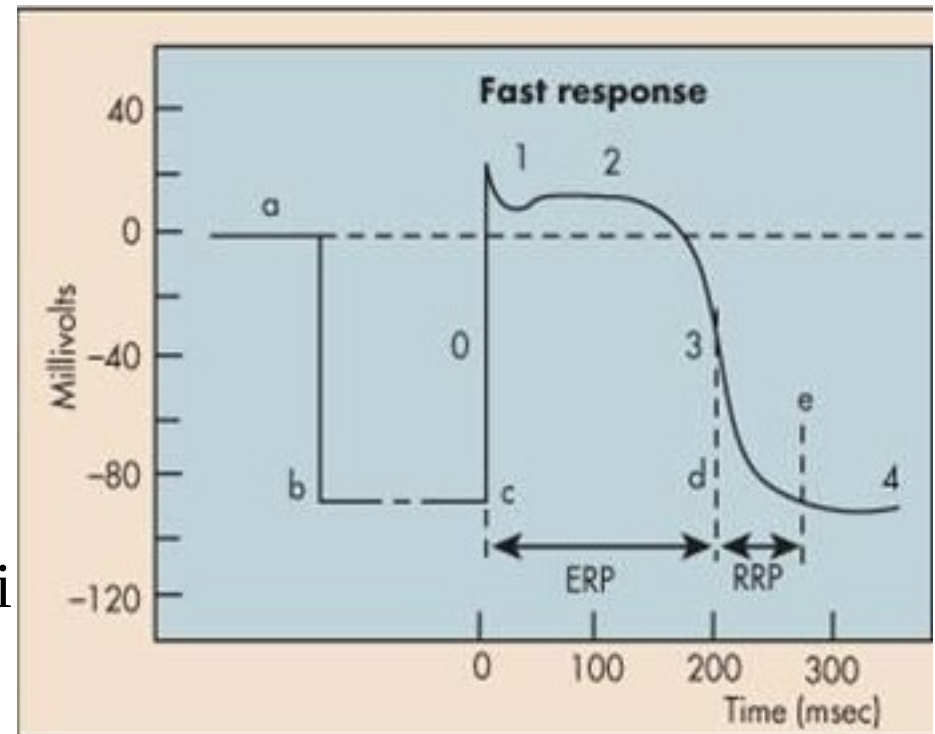
Gyors Na^+ áram, L áram

Repolarizáció:

tranziens korai K^+ áram, Cl^- áram, késői

K^+ áram (delayed rectifier), inward

rectifier K^+ áram (hyperpolarizált membránpotenciálon nyit ki)



Szakaszok:

korai, gyors depolarizáció: gyors Na^+ áram, (0)

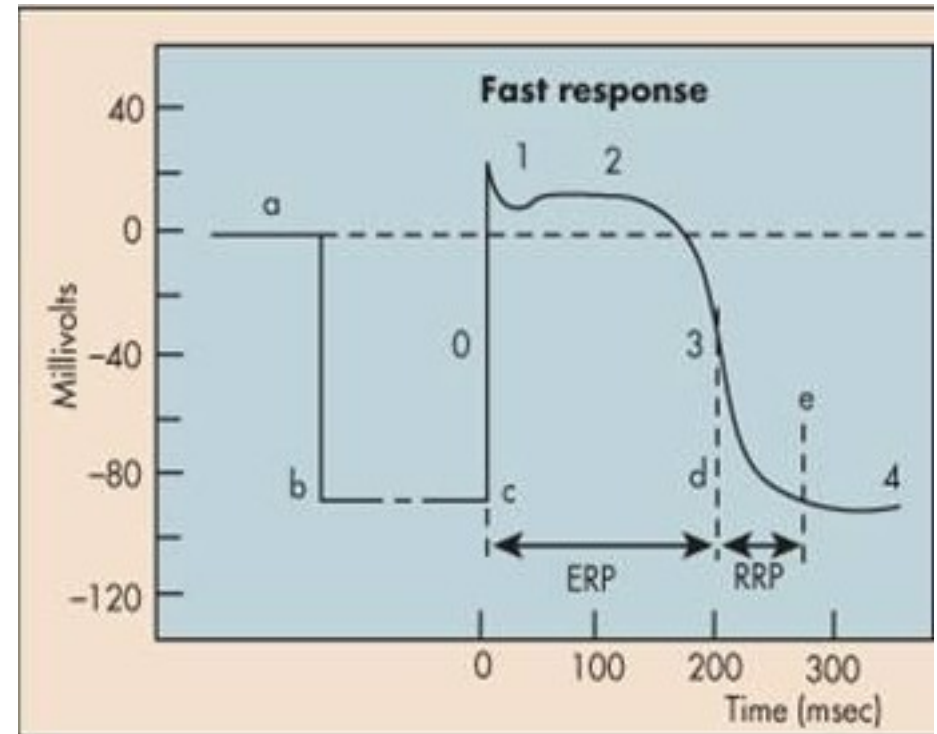
korai repolarizáció: tranziens korai K^+ áram, Cl^- áram, (1)

késői depolarizáció (plató): L típusú Ca^{2+} csatornák (2)

késői repolarizációs fázis: késői K^+ áram (delayed rectifier) (3)

Hiperpolarizált membránpotenciálon

inward rectifier K^+ áram is kinyit és a membránpotenciáalt a nyugalmi potenciál közelében stabilizálja (4)



Refrakter állapotok:

abszolút: nem lehet újabb kontrakciót kiváltani

AP plató fázisa

relatív: nagyobb ingerek már kiváltják az újabb

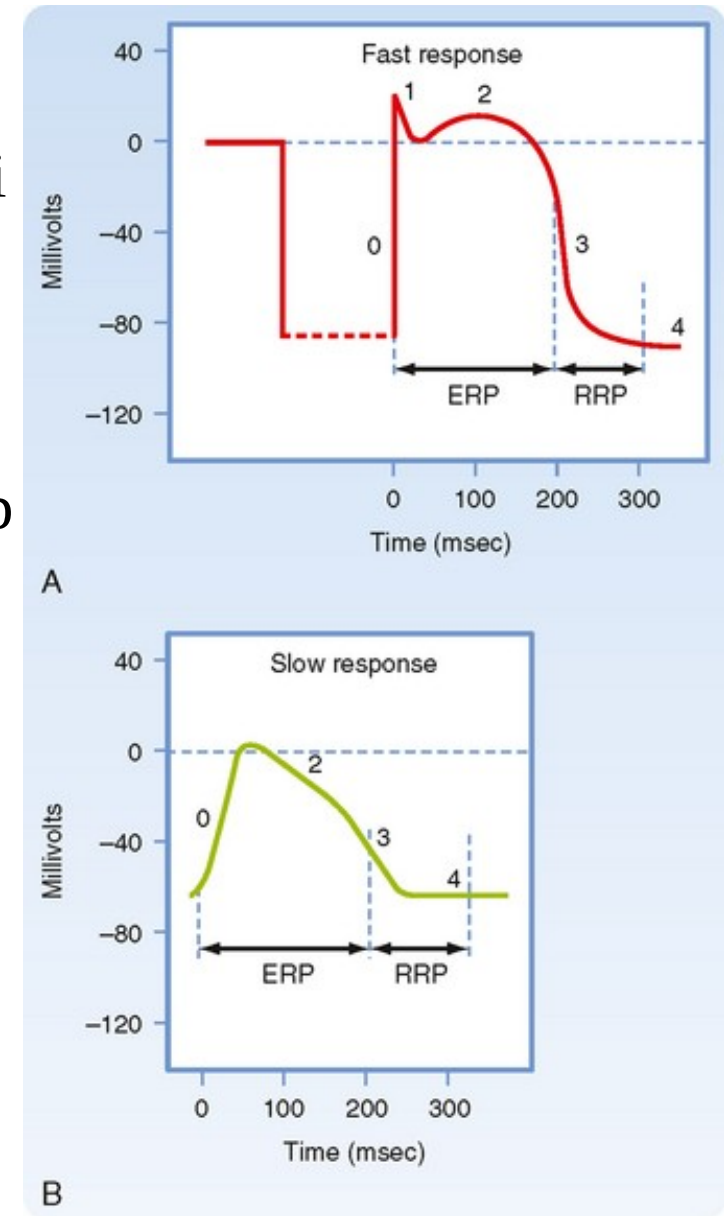
AP-t de a Na^+ csatorna aktivációja még nem

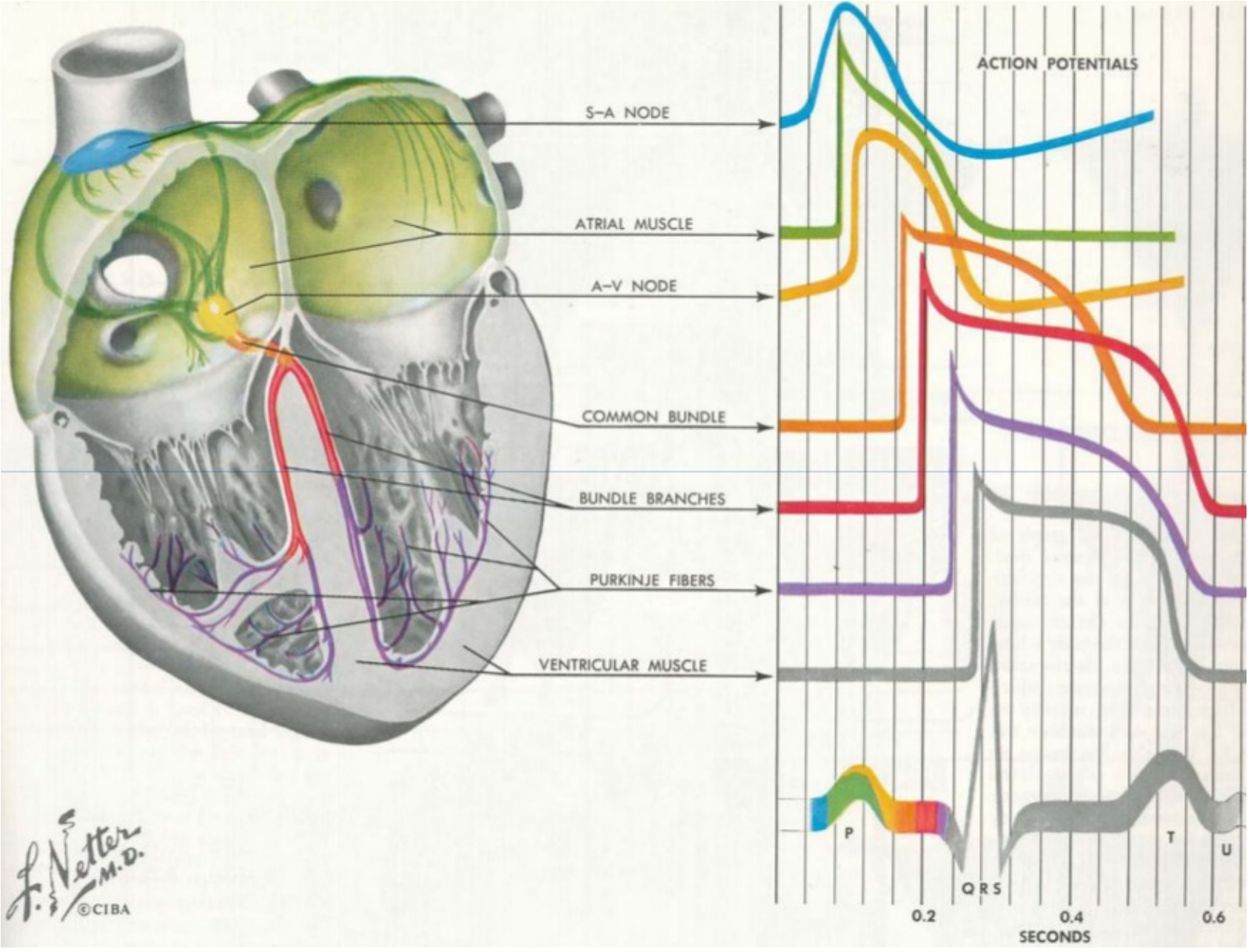
teljes

repolarizáló K^+ áramok alatt

ERP: abszolút refrakter periódus

RRP: relatív refrakter periódus





F. Netter
 M.D.
 © CIBA

Izomösszehúzódás:

Szívizomsejtek:sejtek syncytiumot alkotnak: egyes sejtek gap junctionnal kapcsolódnak. AP átterjed a szomszédos rostokra.

Akciós potenciál és izom kontrakció kapcsolódása (Nature. 2002 Jan 10;415:198-205.)

Ca²⁺ koncentráció növekedés kapcsolja az akciós potenciált a kontraktilis filamentumok elmozdulásához.

Szívizomrostok kontraktilis filamentumai:

- Aktin
- Miozin

Szabályozó elemek:

- Tropomiozin: kettős hélix, aktin filamentek között helyezkedik el. Nyugalmi állapotban megakadályozza a miozin fejek és az aktin közötti kapcsolat kialakulását.
- Troponin: aktin filamenthez kötődő 3 alegységből álló komplex
 - Troponin T (**TnT**) – troponin komplex aktinhoz és tropomiozinhoz rögzítése
 - Troponin I (**TnI**) – ATPáz gátló
 - Troponin C (**TnC**) – Ca^{2+}

Ca²⁺-aktivált Ca²⁺ felszabadulás (CICR)

A kezdeti Ca²⁺ beáramlás a miociták L-típusú Ca²⁺ csatornáin keresztül történik. Ez a Ca²⁺ mennyiség nem elég a kontrakció kialakításához. Az L-típusú Ca²⁺ csatornákon beáramló Ca²⁺ további Ca²⁺ felszabadulást vált ki a szarkoplazmatikus retikulumból (SR): ez a CICR.

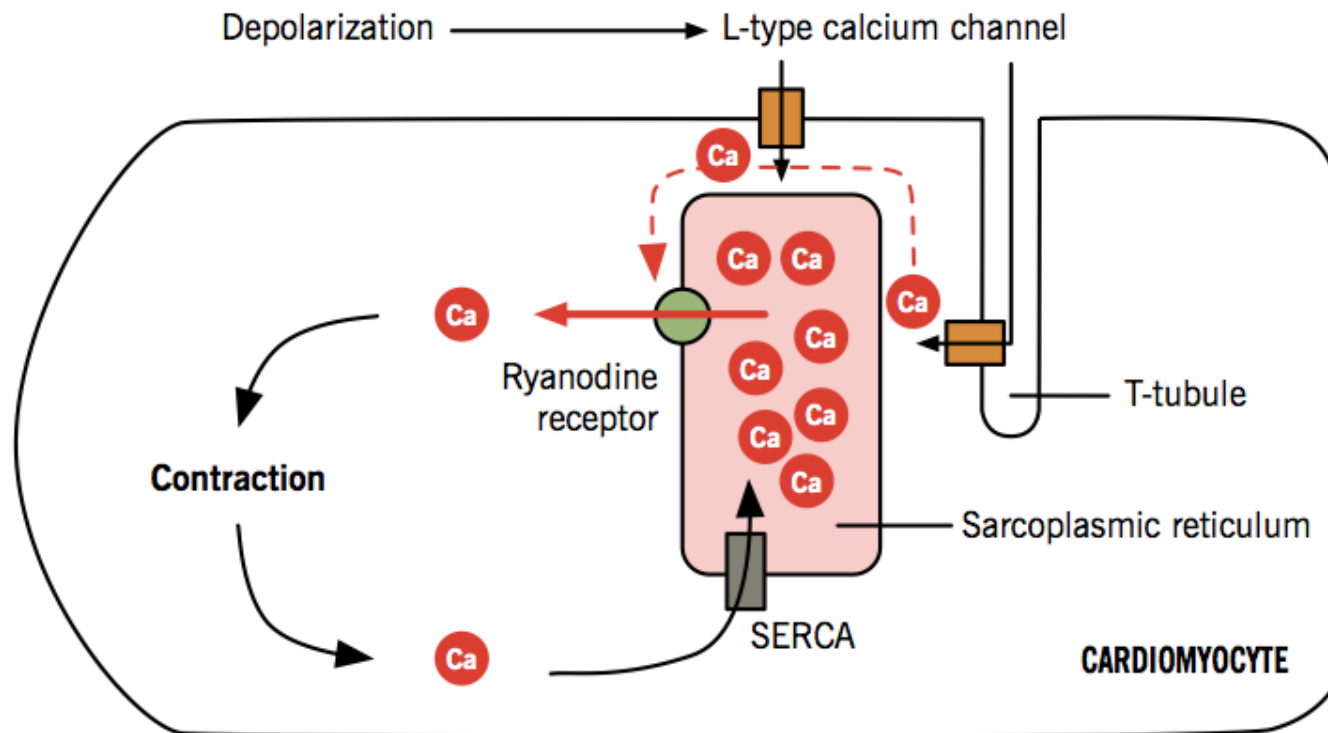
CICR folyamata:

- A miociták sejtmembránja betűrődéseket (T tubulusok) tartalmaz amelyek a sejtmembrán L-típusú Ca²⁺ csatornáit a SR rianodin receptoraihoz közel viszik.
- Ca²⁺ hatására a rianodin receptorok konformációja megváltozik, és a SR-ból Ca²⁺ áramlik ki a citoplazmába. Az SR-ból kiáramló Ca²⁺ mennyisége nagyobb, mint az L-típusú Ca²⁺ csatornákon eredetileg beáramló Ca²⁺ mennyisége volt.
- A megnövekedett intracelluláris Ca²⁺ szint elég a kontrakció kiváltásához.

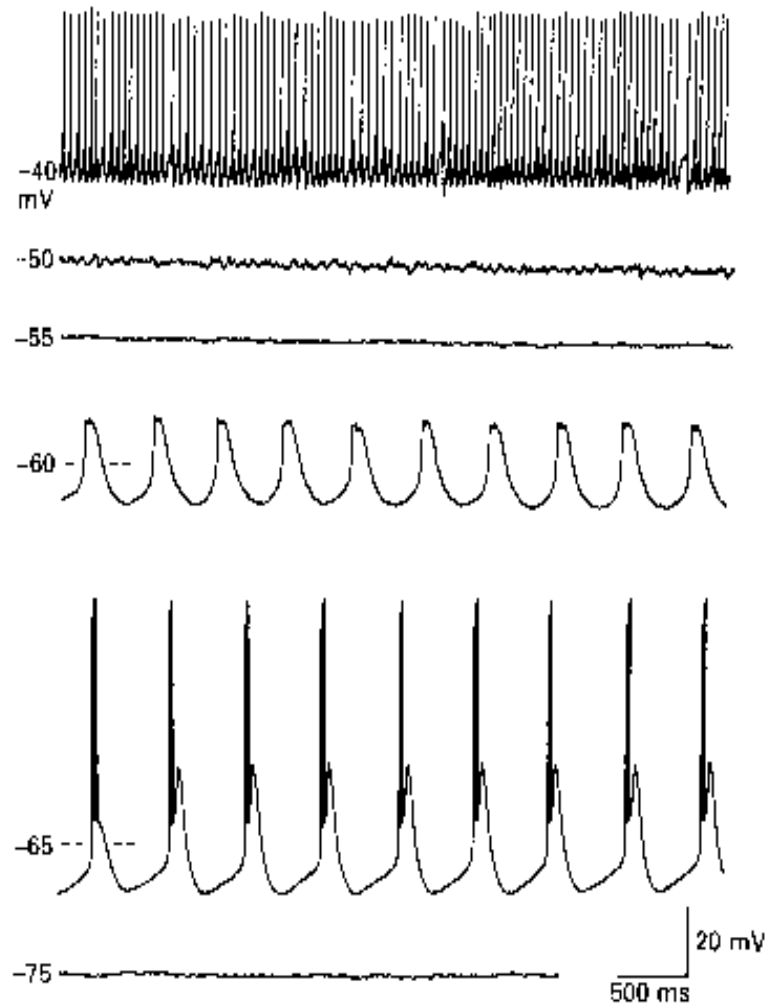
Calcium-induced calcium release

Grigoriy Ikonnikov and Eric Wong

After a depolarization via sodium channels, calcium enters the cardiomyocyte via L-type calcium channels (orange). Calcium then activates ryanodine receptors (green) on the sarcoplasmic reticulum (SR). This special receptor senses intracellular calcium and triggers calcium release from the SR to further increase calcium availability in the cell. As the contraction ends, intracellular calcium returns to the SR via the SERCA calcium channel (grey).



Talamokortikális sejtek aktivitása:



Membránpotenciáltól függően:

hiperpolarizációkor nyugalmi állapot,

T-típusú Ca^{2+} potenciálokkal kiváltott

akcióspotenciál sorozatok,

további depolarizációkor újra

nyugalom,

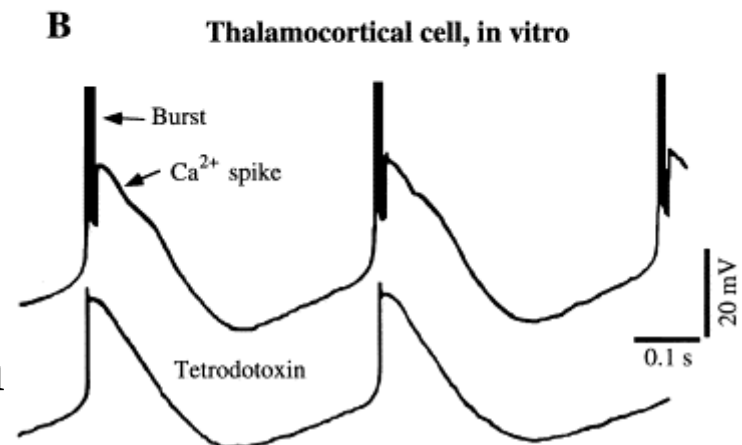
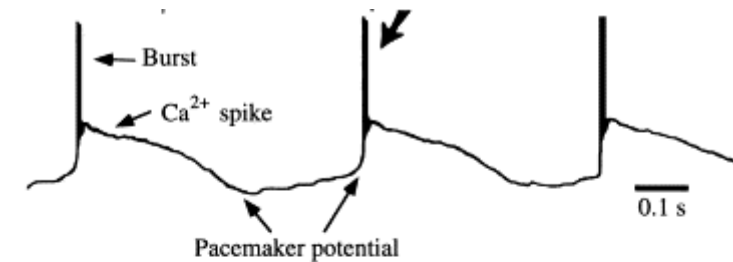
majd Na^+ - K^+ alapú tónikus akciós

potenciálok.

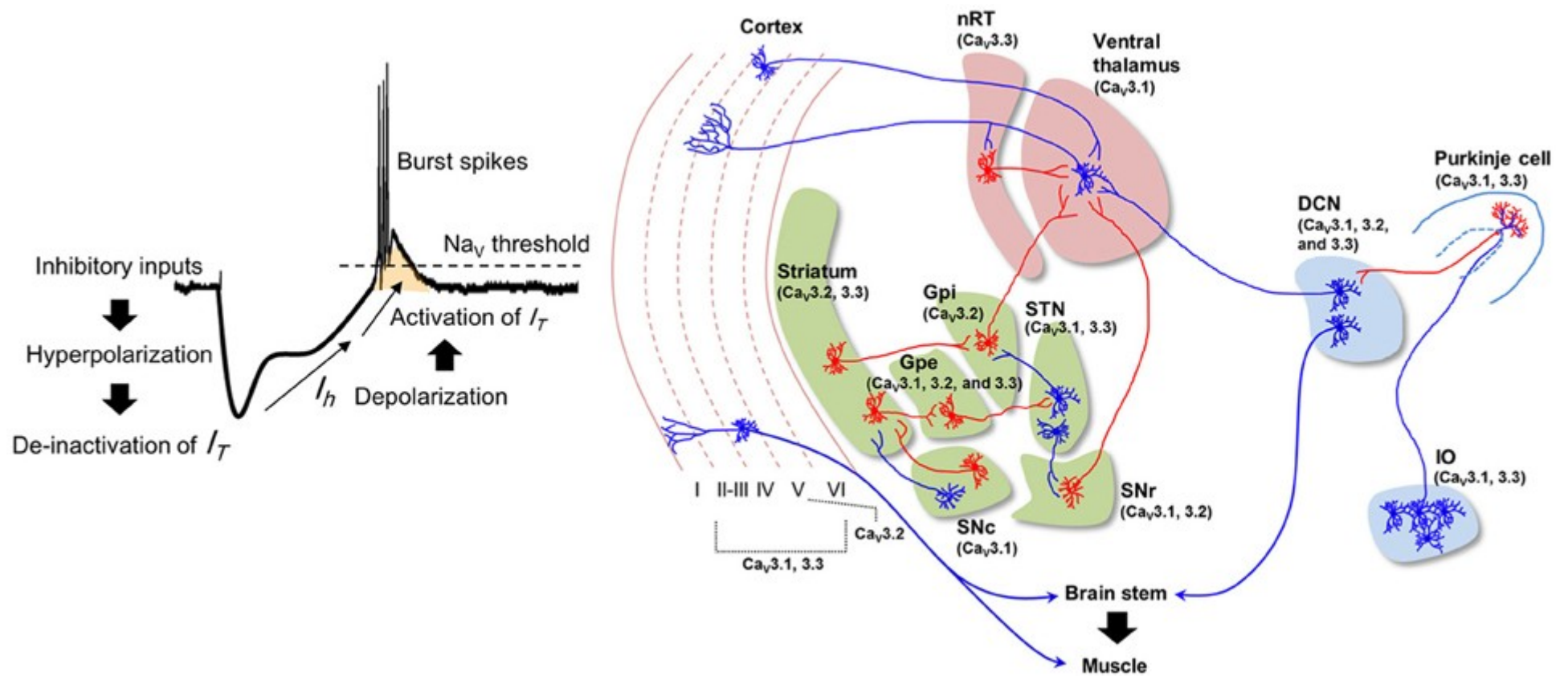
Talamokortikális sejtek pacemaker aktivitásra képesek: alacsony küszöbű Ca^{2+} potenciálok, tetejükön akciós potenciál sorozattal ismétlődnek ritmikusan (δ frekvenciában)

Talamikus szinkronizáció alapja: a thalamokortikális sejtek pacemaker aktivitásának szinkronizációja.

Retikuláris magból jövő gátló inputnak van benne kulcsfontosságú szerepe.



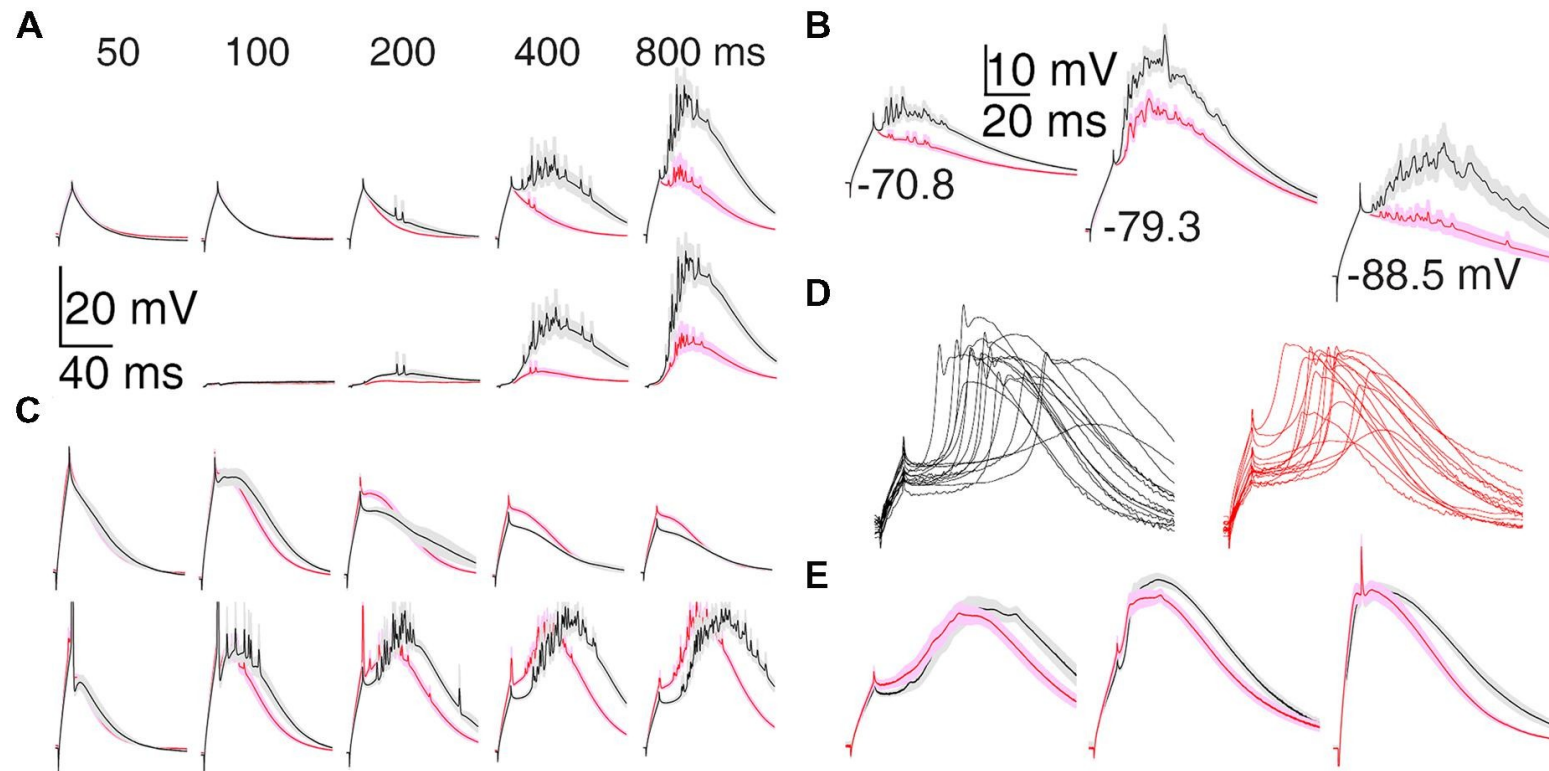
T típusú Ca^{2+} segítségével kialakuló tüzeléssorozat ionáramai



1. Illustration:

Front. Neural Circuits, 28 October 2013 | <https://doi.org/10.3389/fncir.2013.00172>

T áram hatása hiperpolarizált membránpotenciálón a bemenetekre

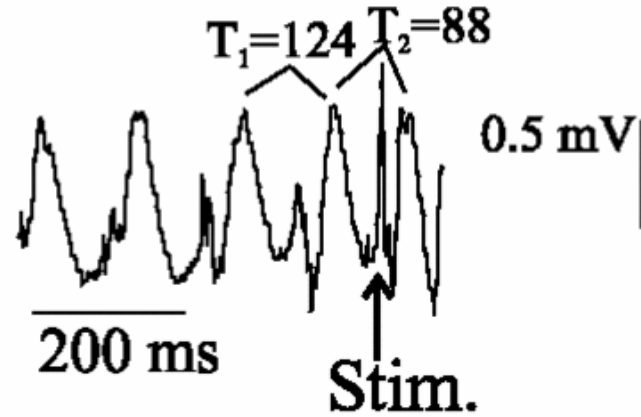


Bemenetek, ha kiváltak választ az jelentősen késhet, viszont 1-2 AP helyett kisüléssorozat lesz.

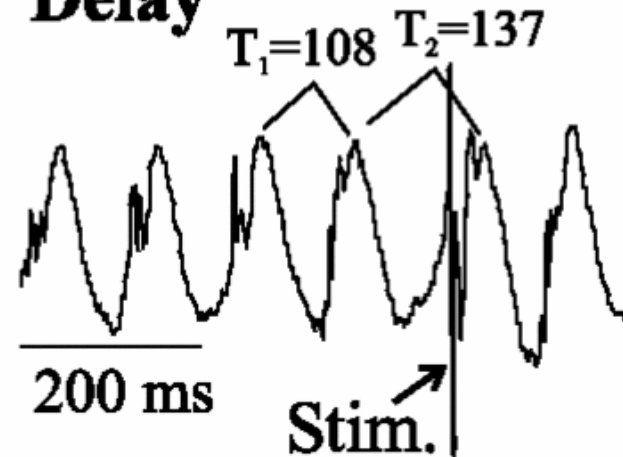
T áram alapú oszcilláció modulációja bemenetekkel

(a)

Advance

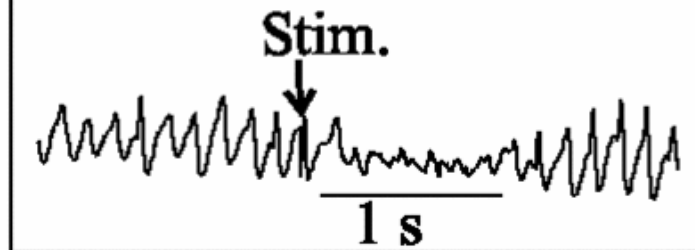


Delay



(b)

Desynchronization



Trigger SWD

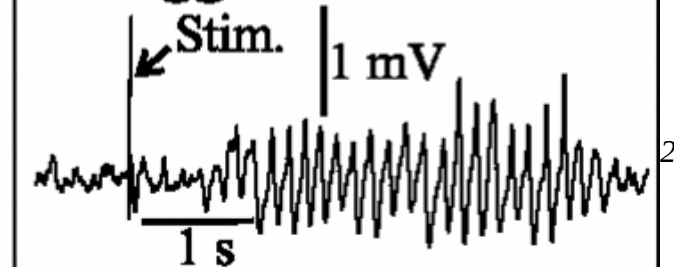
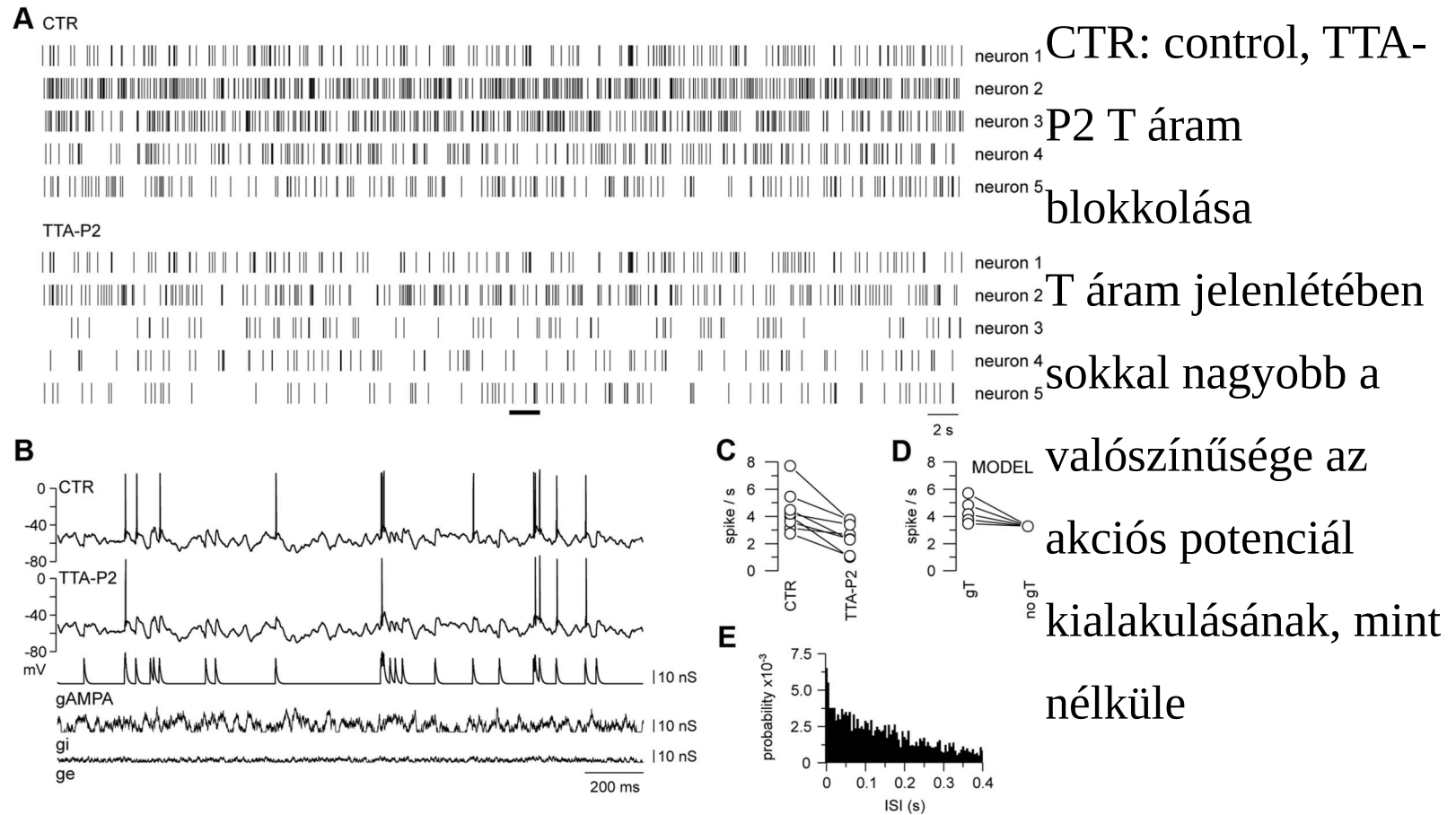


Illustration:

T áram hatása a tüzelési frekvenciára depolarizált membránpotenciálon



Deleuze és mtsai 2012 J Neurosci 32:35 12228-12236; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1362-12.2012>

T áram szerepe a serkentő bemenetek erősítésében:

CTR: control

TTA-P2: T áram

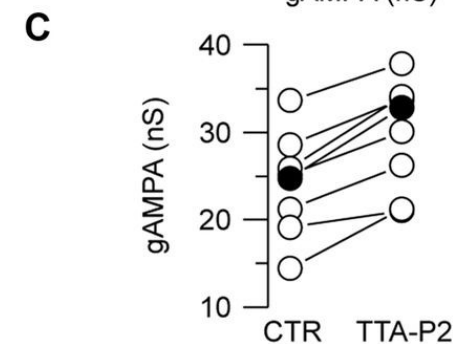
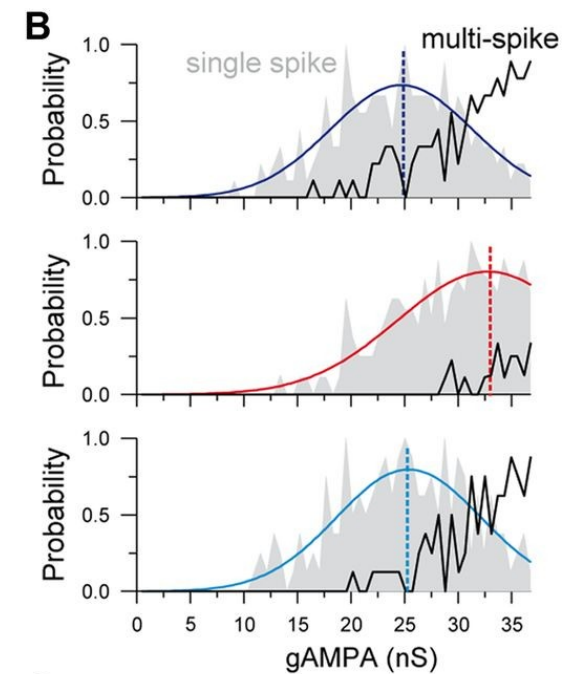
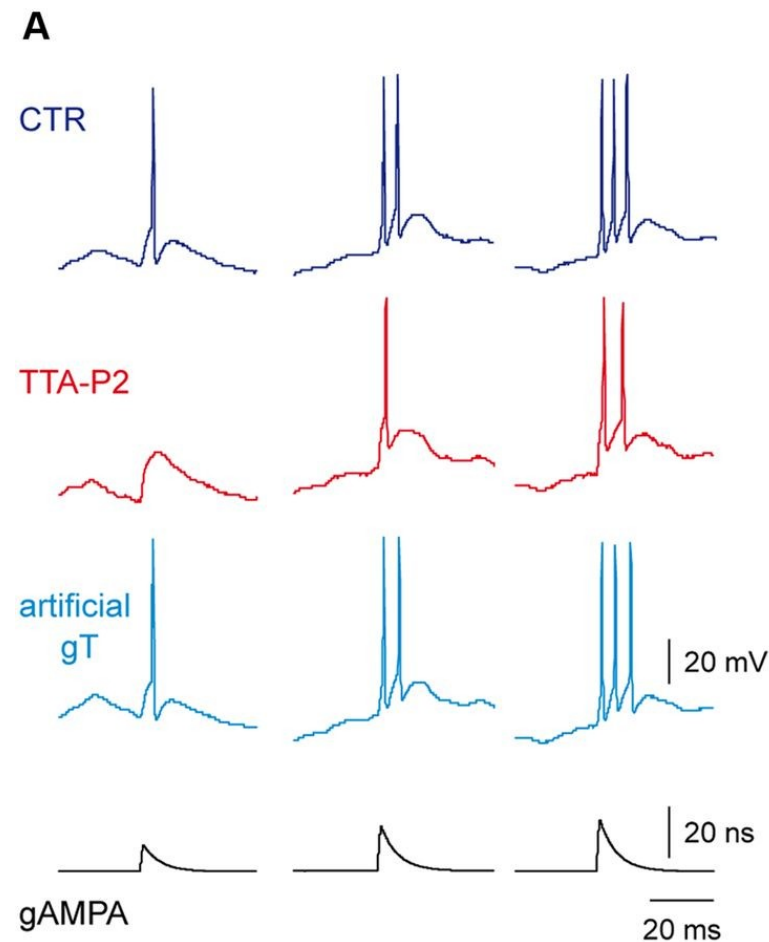
blokkolása

artificial gT: szomatikus T

áram injektálása

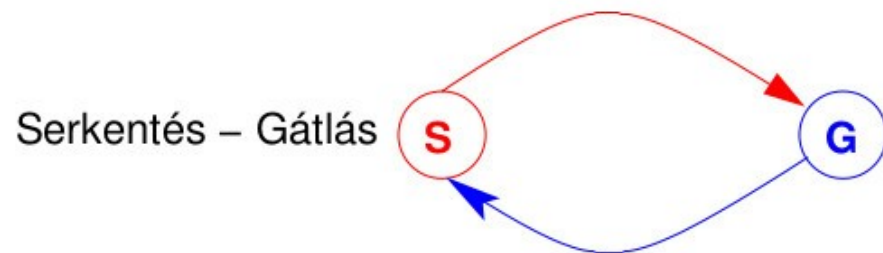
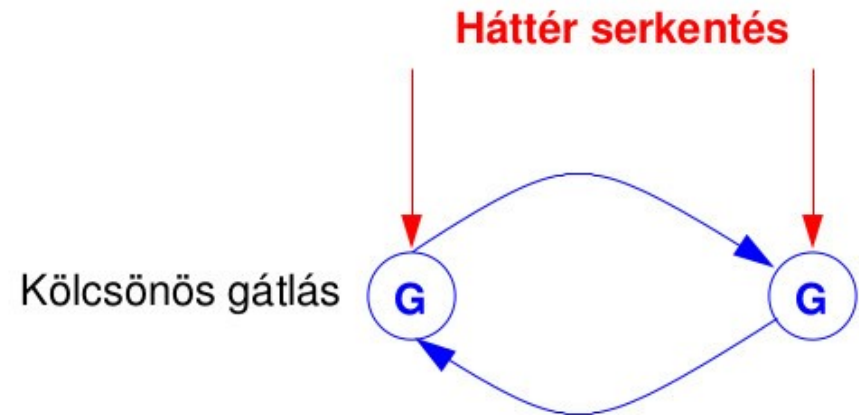
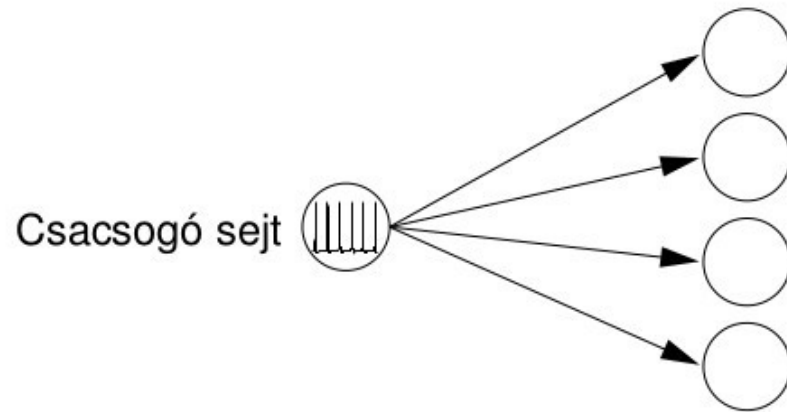
gAMPA:

serkentő bemenet

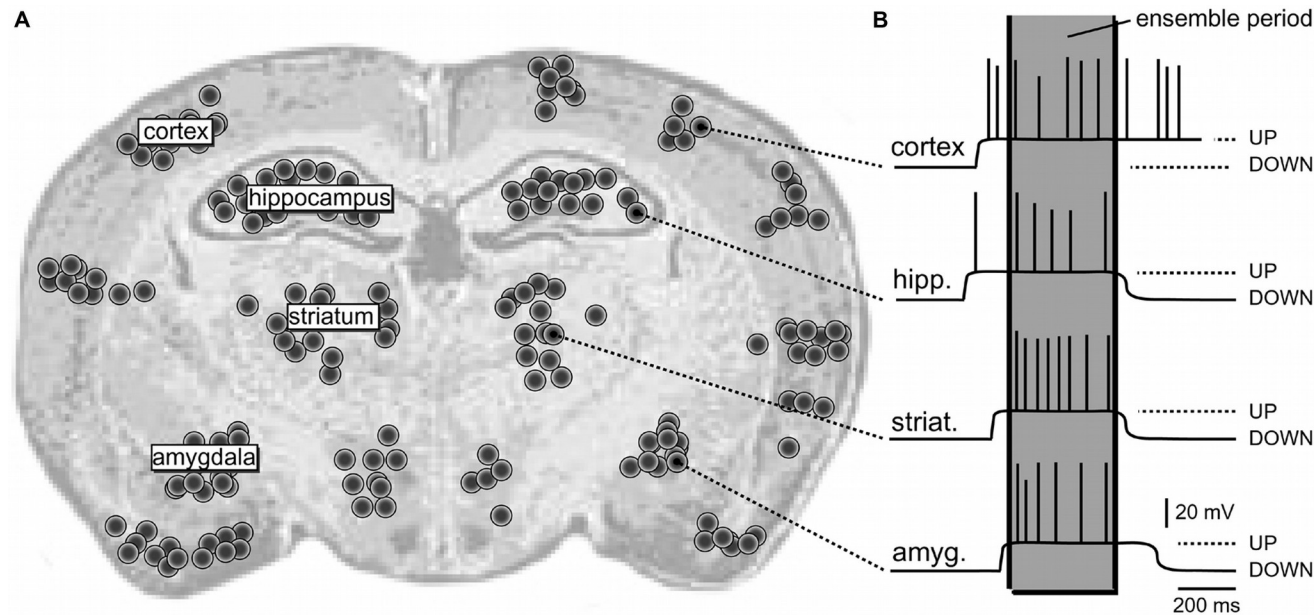


Deleuze és mtsai 2012 J Neurosci 32:35 12228-12236; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1362-12.2012>

Oscilláció hálózatokban:



A szenzoros bemenetre kialakított érzethez szükséges neuronpopulációk agyi elhelyezkedése. Mindegyik fekete pont kb 50 neuronnak felel meg. Az egyes érzetek kialakításához szükséges neuronok szinkronizálódását nevezzük „binding”-nak kötődésnek. Az együttműködő neuronok alkotják a neuronális „ensemble”-nek együttesnek.



Oikonomou és mtsai Front. Cell. Neurosci., 17 September 2014 |

3. Illustration:

<https://doi.org/10.3389/fncel.2014.00292>