

KUI342 Úvod do neurovied

Týždeň 6: Synaptický prenos, úvod do
synaptickej plasticity

Organizačné záležitosti

- Vid' prednášku 5
- Zadanie 3

Minulý týždeň

Šírenie signálov v neuróne. Káblová rovnica.
Kompartmentálny model.

Dnes

Synaptický prenos a úvod do synaptickej plasticity

Synaptický prenos

Terminológia

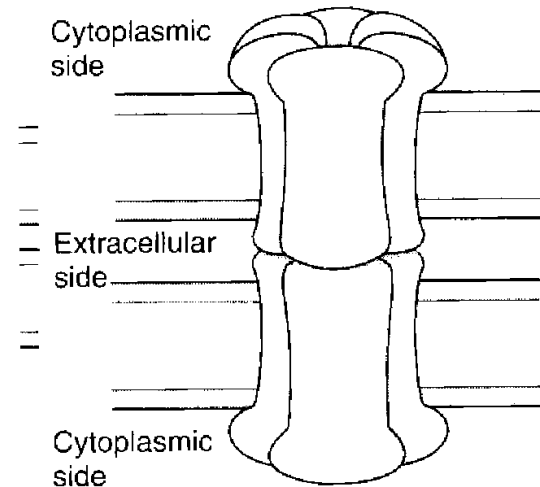
- jazyková poznámka: **synapsia = synapsa**
- **excitačný postsynaptický potenciál (EPSP)** – zvýšenie membránového potenciálu postsynaptickej bunky spôsobené naviazaním neuroprenášača v chemickej synapsii
- **inhibičný postsynaptický potenciál (IPSP)** – analogické zníženie membránového potenciálu (hyperpolarizácia)
- **synaptická účinnosť (efficacy)** – miera schopnosti presynaptického akčného potenciálu (alebo vysokého membránového potenciálu) vyvolať zmenu postsynaptického membránového potenciálu (sila synaptického spojenia, synaptická váha)
- **facilitácia** – krátkodobé zvýšenie synaptickej účinnosti, rádovo do 1 sek. po začatí prezentovania opakovaného stimulu
- **potenciácia** – krátkodobé zvýšenie synaptickej účinnosti, rádovo do 10 sek.
- **dlhodobá potenciácia** (long-term potentiation, LTP) – zvýšenie synaptickej účinnosti, ktoré pretrváva hodiny a dlhšie
- **dlhodobá depresia** (long-term depression, LTD) – analogické zníženie synaptickej účinnosti

Dva typy synáps

1. elektrické synapsy

- priame štrukturálne prepojenie
- prenos bez akéhokoľvek opozdenia
- umožňujú synchrónne odpaľovanie skupiny neurónov
- väčšinou sú obojsmerné, niektoré sú jednosmerné (t.j., usmerňujú)
- takéto prepojenie medzi pre- a postsynaptickým neurónom sa nazývajú „štrbinové spojenie“ (gap junction)
- tak ako iónové kanály, sú tvorené veľkými proteínmi cez celú membránu

GAP JUNCTION

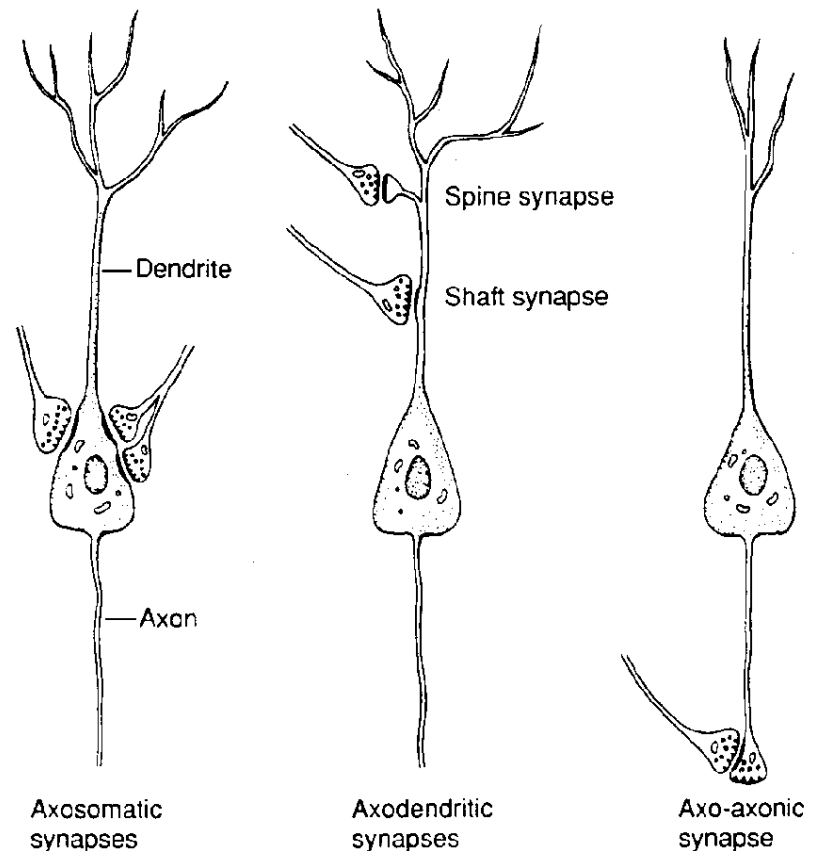


2. chemické

- nemajú priame prepojenie
- medzera medzi nimi sa nazýva synaptická štrbina (synaptic cleft)
- výhody: akčný potenciál uvoľní tisíce neuroprenášačov → zosilnenie signálu v postsynaptickej bunke
- výhody: účinnosť synapsy sa dá ľahšie modifikovať

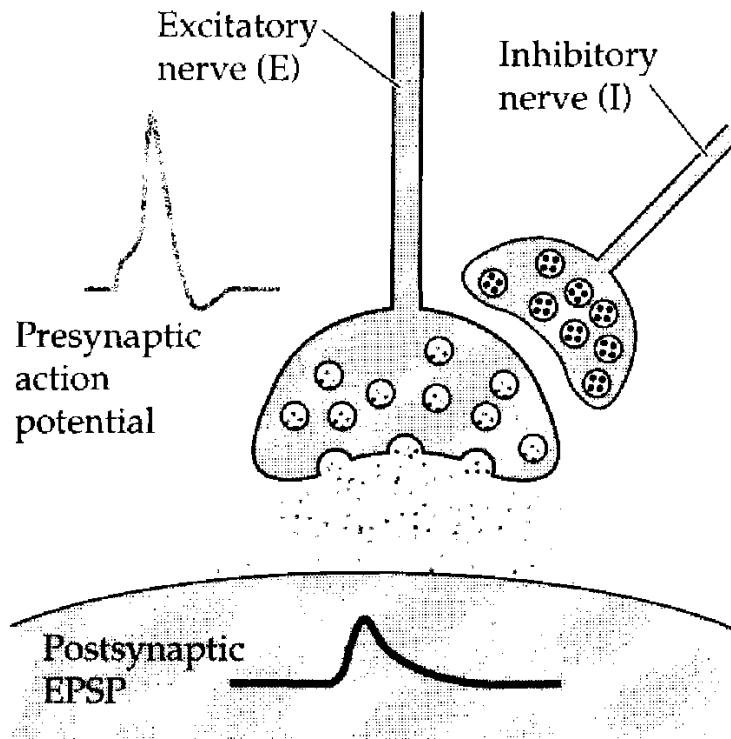
Chemické synapsy

- väčšina z nich sú axosomatické, axodendritické (trň – spine), alebo axo-axonické
- navyše existujú aj somatosomatické a dendrodendritické synapsy
- **axosomatické** sú väčšinou inhibičné, pravdepodobne preto, že blízko axónového výbežku umožňujú odvieť depolarizačný prúd, a tým zablokovať akčný potenciál
- **axodendritické** synapsy končiace na trňoch sú väčšinou excitačné
- **axo-axonické** sú väčšinou modulačné, majú malý vplyv na AP, ale modulujú (ovplyvňujú) množstvo prenášača uvoľneného presynaptickým neurónom, a to zmenou množstva vtekajúceho Ca^{2+} ; spôsobujú presynaptickú inhibíciu alebo presynaptickú facilitáciu

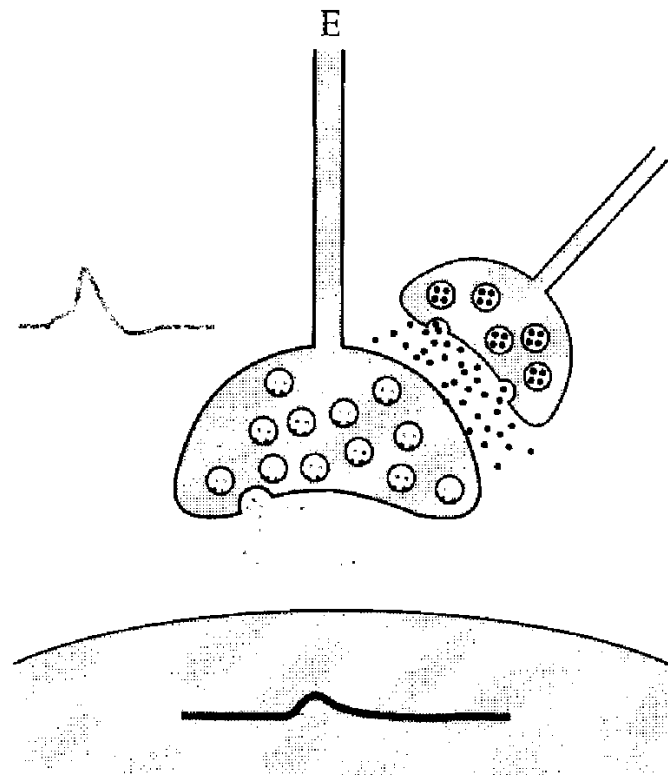


Chemické synapsy – axo-axonická presynaptická inhibícia

Stimulation of excitatory nerve only



Stimulation of both excitatory and inhibitory nerves



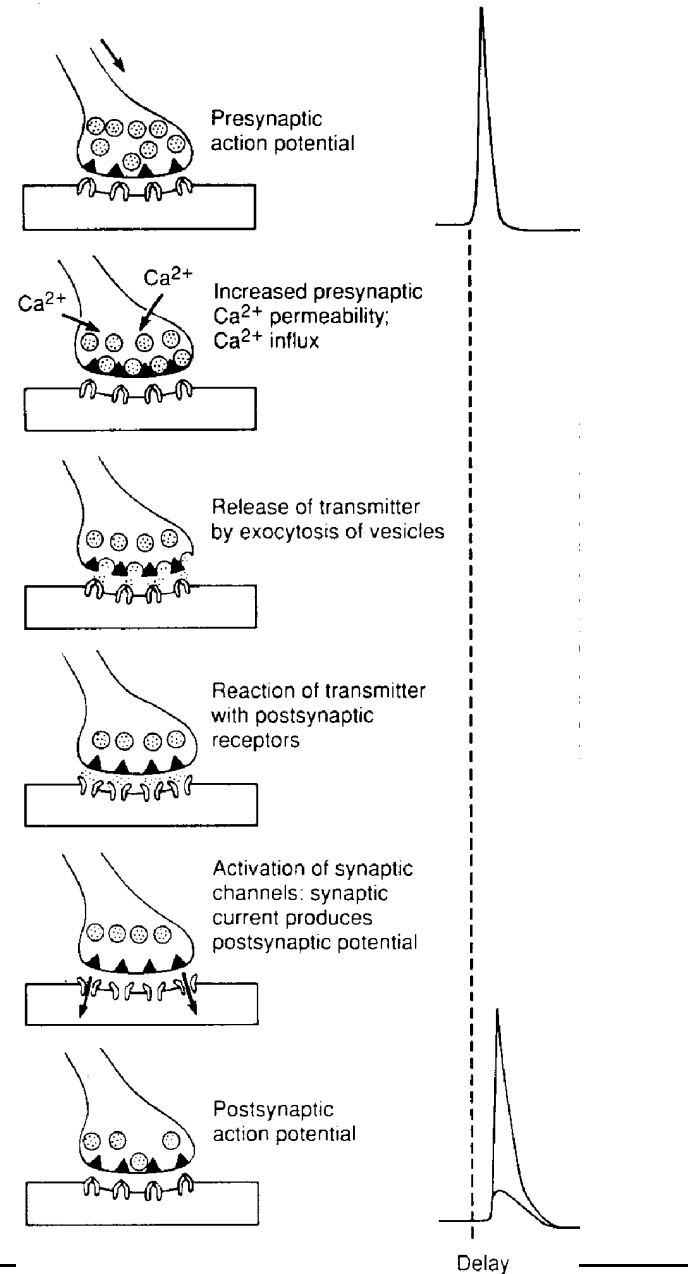
- axo-axonické spojenia umožňujú jednému neurónu selektívne zablokovať uvoľnenie prenášačov z axónu cez jednu synapsu, bez ovplyvnenia prenosu cez ostatné synapsy daného axónu (presynaptická inhibícia)
- existuje niečo také v neurónkach?

Prenos cez chemickú synapsu

- je sprostredkovaný chemickými prenášačmi (transmitters, vid' obrázok)
- polarita synapsy (excitačná/inhibičná) je určená typom iónového kanálu bránovaného daným prenášačom, nie prenášačom samotným
- mnoho prenášačov je väčšinou excitačných alebo väčšinou inhibičných

Základné prenášače:

- **acetylcholín (ACh)** – v nervosvalových spojeniach stavovcov
- **glutamát** – hlavný excitačný prenášač
- **GABA** (γ -amino-maslová kyselina) – hlavný inhibičný prenášač. Blokuje otvorením Cl^- kanálov
- **glycín** – inhibičný prenášač v mieche
- dopamín, epinefrín, norepinefrín, serotonín, histamín atď (100 rôznych)



Chemická synapsa – Typy neuroprenášačov

Dva hlavné typy:

- **malomolekulové prenášače** – sú rýchle (milisekundy).
Ich zoznam bol na predošlom slide.
- **neuroaktívne peptidy** – ich postsynaptický efekt je pomalý (sekundy až hodiny)
- malomolekulové prenášače a neuroaktívne peptidy môžu byť uvoľnené spoločne. T.j., neuróny medzi sebou môžu komunikovať veľmi komplikovaným spôsobom v rôznych časových mierkach
- existuje niečo také v neurónkach?

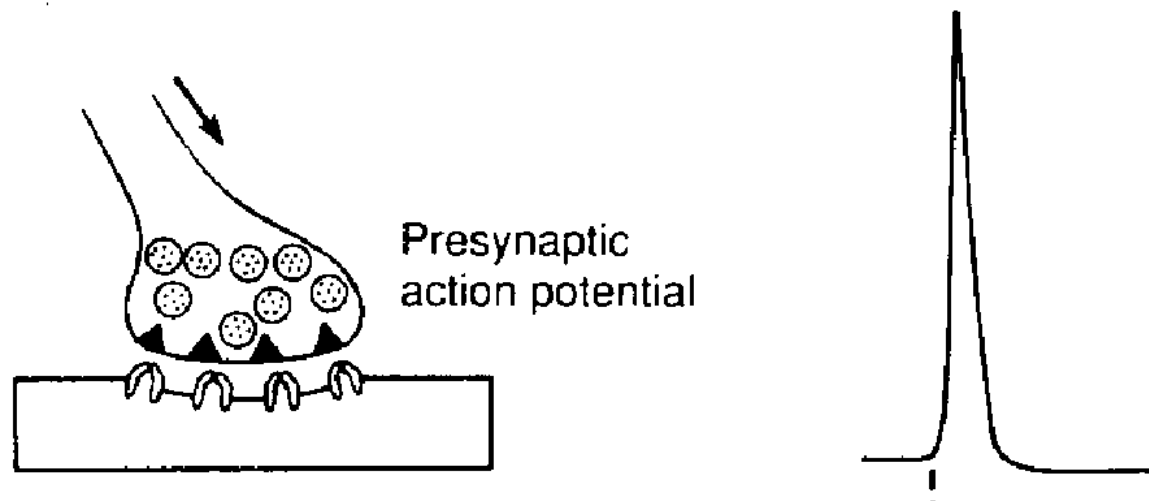
Chemická synapsa – Typy neuroprenášačov

Psychotropné látky (lieky, drogy) ovplyvňujú uvoľňovanie a viazanie prenášačov:

- **kurare** – zmes rastlinných toxínov, viaže sa na receptory acetylcholínu, neurosvalového prenášača stavovcov – tým spôsobí paralýzu
- **antischizoprenické lieky** – blokujú dopamínové receptory
- **kokaín, amfetamíny** – zvyšujú množstvo dopamínu; spôsobujú paranoické správanie
- **LSD** – inhibuje efekt serotonínu, dopaminu, a norepinefrínu; halucinácie
- **Prozac** – blokuje vstrebávanie serotonínu (serotonin re-uptake inhibitor)

Uvoľnenie neuroprenášačov akčným potenciálom

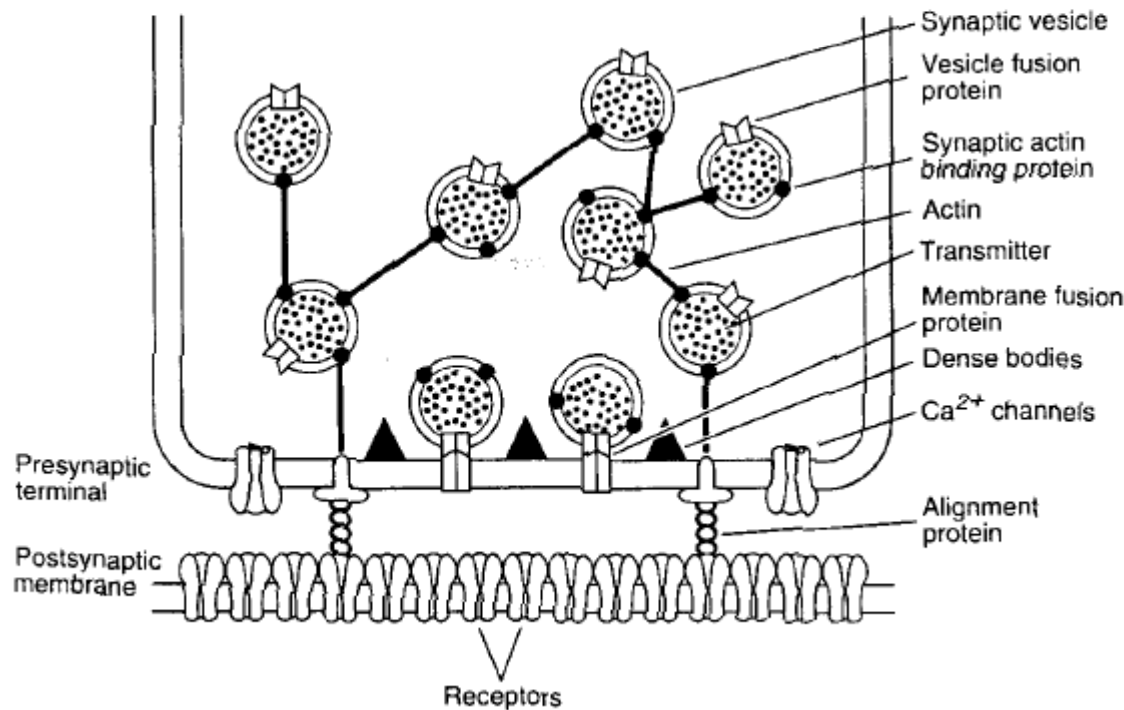
- akčný potenciál je spôsobený súhrou zmien vodivosti K^+ a Na^+ kanálov
- uvoľnenie prenášačov do synapsy ale nie je priamo spôsobené ani zmenou synaptického napätia, ani zmenami vodivosti K^+ a Na^+ kanálov
- tak čím?



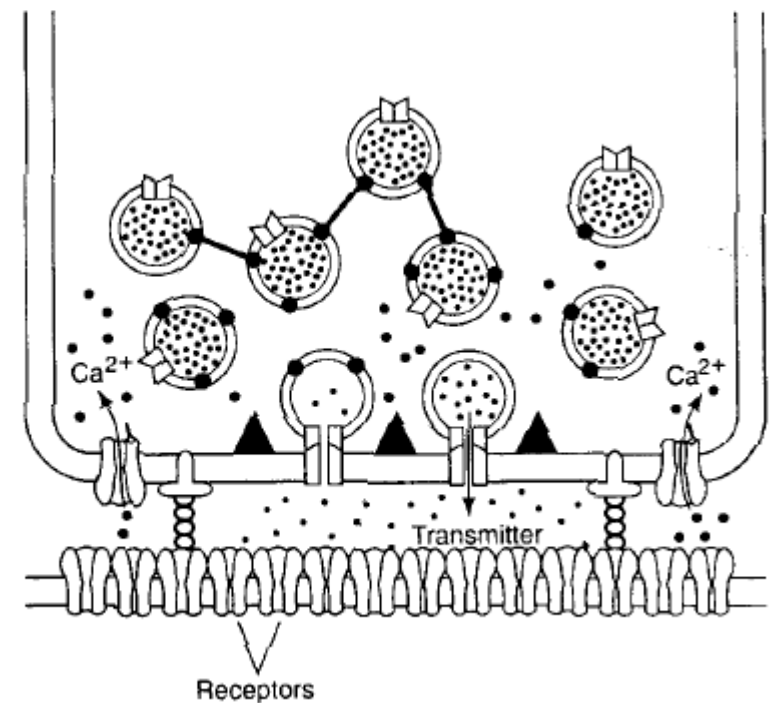
Uvoľnenie neurotransmáčov akčným potenciálom

- pre uvoľnenie neurotransmáčov je nevyhnutné vtekanie Ca^{2+} do bunky
- Ca^{2+} má vysokú extracelulárnu koncentráciu
- pri AP sa otvoria (aj) napäťovo bránované Ca^{2+} kanály, ktoré spôsobia vtekanie Ca^{2+} do bunky
- vtekanie Ca^{2+} do bunky spôsobí uvoľnenie neurotransmáčov do synaptickej štrbiny

A Resting state



B After Ca^{2+} influx



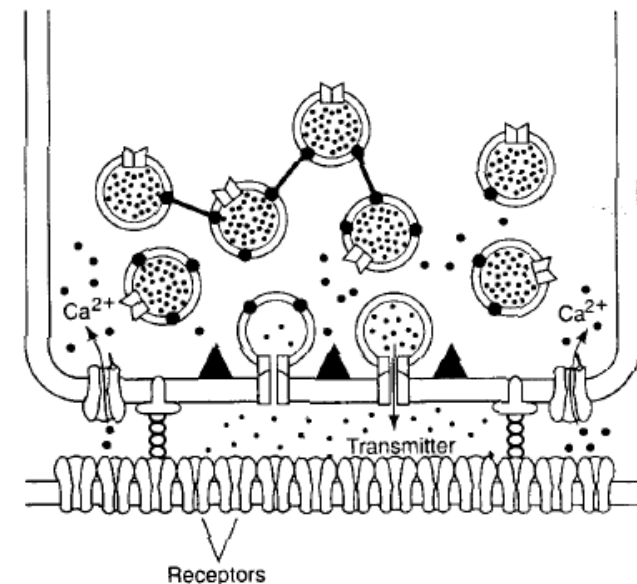
Uvoľnenie neurotransmítov

- synaptický prenos má kvantový charakter
- neurotransmítové sú uložené vo vakuolách (vesikulách)
- Ca^{2+} spôsobí 1. narušenie štruktúry, ktorá drží vesikuly
- 2. fúziu vesikúl s bunkovou stenou
- časť neurotransmítov sa naviaže na postsynaptické receptory
- po uvoľnení do štrbiny sa neurotransmítové musia zo štrbiny čím skôr vymyť, aby sa mohli šíriť nové signály
- veľa nervových plynov blokuje toto čistenie, čo spôsobí zlyhanie dýchacieho systému

Tri spôsoby čistenia:

- difúzia – koncentrácia neurotransmítov v štrbine je vysoká
- enzymatický rozklad
- recyklácia – neurotransmítové (alebo zložky) sa nasajú späť do bunky a do vesikúl (až 50% sa recykluje)

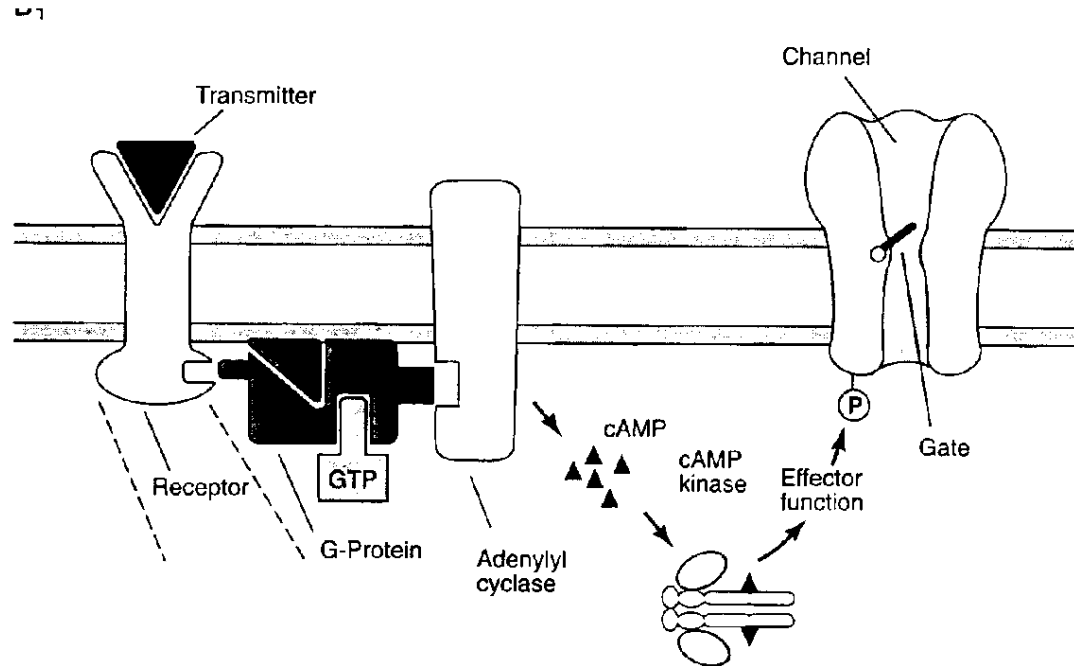
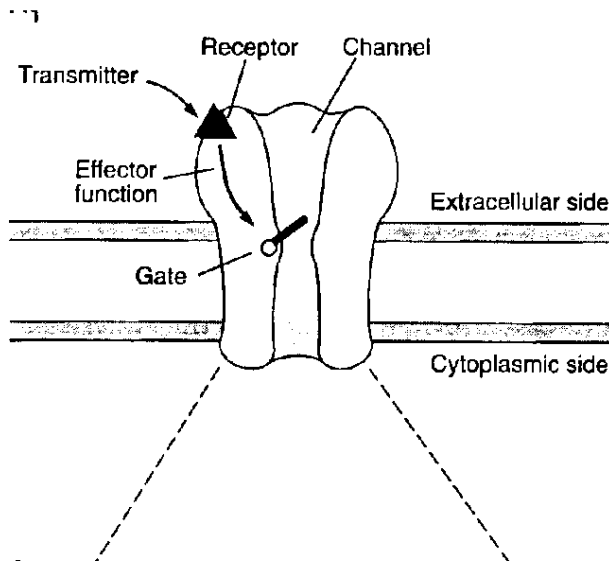
B After Ca^{2+} influx



Postsynaptický efekt naviazania prenášačov

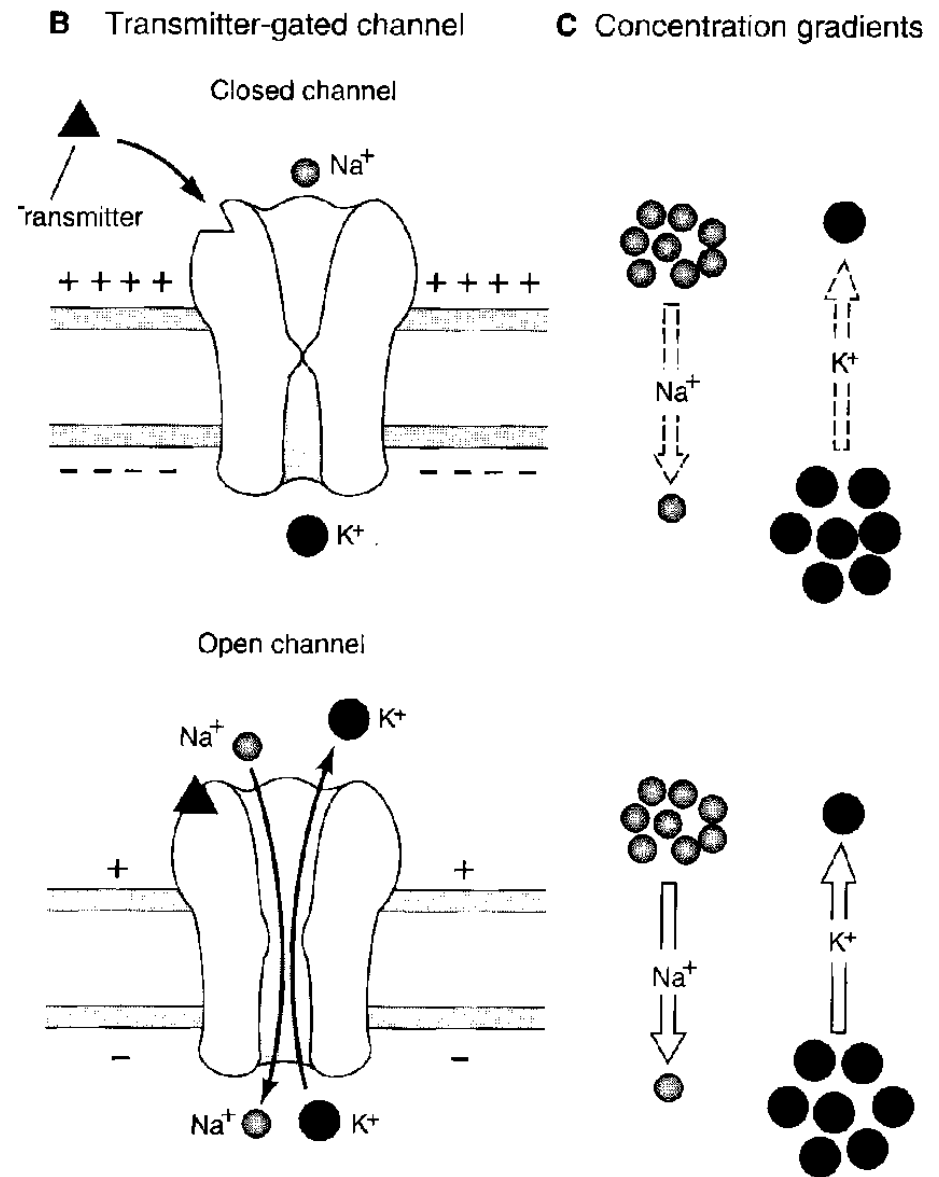
Naviazanie prenášača na postsynaptickú membránu môže:

- 1. spôsobiť priame bránovanie (otvorenie) iónových kanálov (vľavo)
- 2. spustiť nepriamy proces bránovania prostredníctvom „sekundárnych poslov“ (second messenger, vpravo)



Priamo bránované synapsy

- prenášač sa viaže priamo na proteínový receptor, ktorý je zároveň aj iónovým kanálom
- rýchlosť tohoto prenosu je oveľa vyššia ako pri sekundárnych posloch
- priamo bránované synapsy môžu byť excitačné a inhibičné
- **excitačné**: sú priepustné pre K^+ aj Na^+ , niektoré aj pre Ca^{2+}
- **inhibičné**: sú priepustné pre Cl^-
- prečo spôsobuje otvorenie K^+ aj Na^+ kanálov depolarizáciu?



Priamo bránované excitačné synapsy

- prečo spôsobuje otvorenie K^+ aj Na^+ kanálov depolarizáciu?
- z riešenia Hodgkin-Huxleyho rovnice vieme, že pokojové membránové napätie je váženým priemerom Nernstových napätí

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

- keď sa otvoria dva kanály, výsledný potenciál (E_{EPSP}) je váženým priemerom ich Nernstových napätí

$$E_{EPSP} = \frac{g_{Na} E_{Na} + g_K E_K}{g_{Na} + g_K}$$

- E_{EPSP} sa nazýva aj reverzný potenciál, pretože excitačný efekt sa zmení na inhibičný (a naopak), keď membránový potenciál prekročí túto hodnotu. Pre sépiu je $E_{EPSP}=0mV$
- takže excitačné synapsy sú excitačné len ak je membránový potenciál menší než reverzný
- pre typickú excitačnú synapsu je reverzný potenciál vyšší ako prahový potenciál pre jej napäťovo bránované iónové kanály, takže tieto kanály spôsobia spustenie AP skôr než sa dosiahne reverzný potenciál
- prenesenie AP cez excitačnú synapsu trvá približne 1ms

Priamo bránované inhibičné synapsy

- väčšina inhibičných priamo bránovaných synáps funguje tak, že sa otvárajú Cl⁻ kanály

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

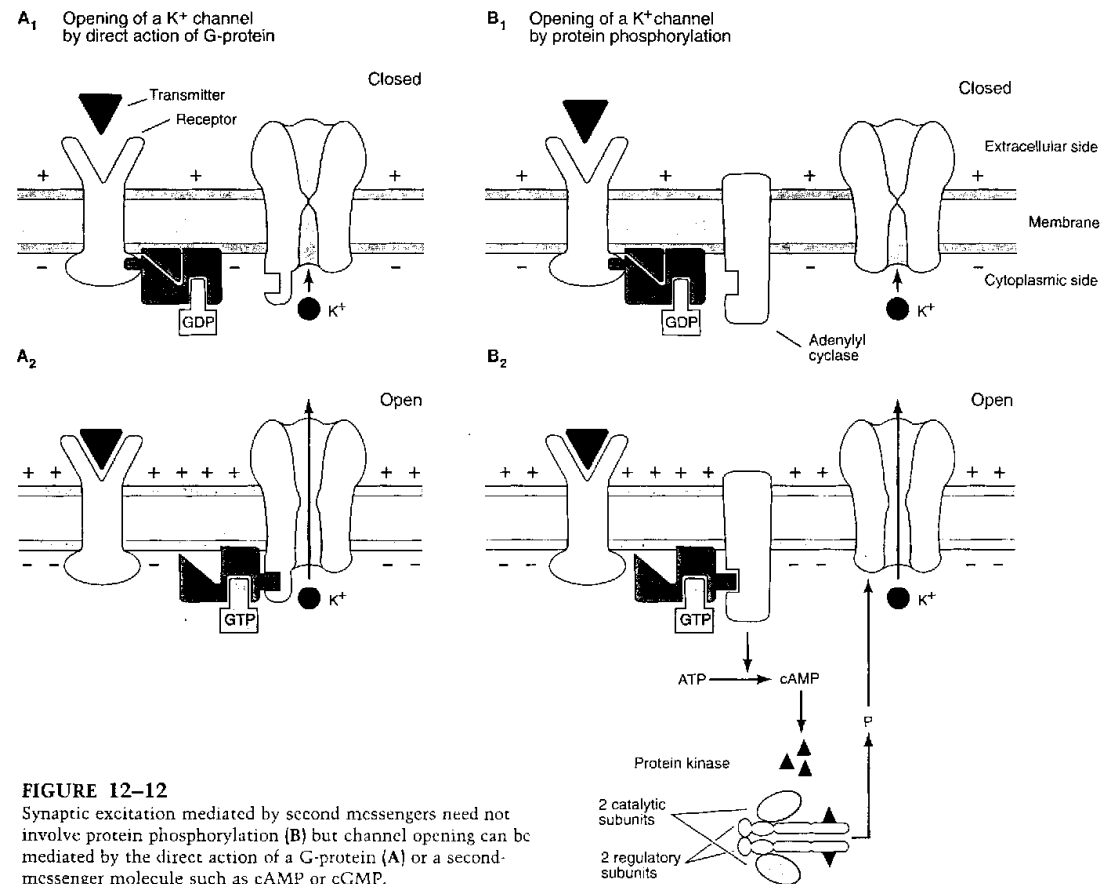
- Nernstov potenciál pre Cl⁻ je -60mV, takže otvorenie týchto kanálov spôsobuje, že membránové napätie sa bude blížiť k -60mV
- t.j., ak bolo V_m väčšie, otvorenie Cl⁻ kanálov spôsobí, že sa zníži pravdepodobnosť vygenerovania AP

Synapsy so sekundárnymi poslami

- receptory prenášačov ovplyvňujú iónové kanály iba nepriamo
- základný sekundárny posol je cAMP (cyklický adenosín-mono-fosfát)
- ich efekt sa prejavuje rádovo po sekundách až minútach
- priebeh synaptického prenosu cez synapsy so sekundárnymi poslami:

1. naviazanie prenášača (primárneho posla) na receptor aktivuje G-proteín
2. aktivácia G-proteínu vyvolá syntézu sekundárneho posla
3. druhý posol spôsobí sériu biochemických procesov, vedúcich k mobilizácii Ca^{2+} alebo k otvoreniu iónových kanálov (vpravo)

Niekedy sa iónové kanály otvárajú priamo G-proteínom alebo druhým poslom (vľavo)



Funkcie sekundárnych poslov

Inhibícia môže byť vyvolaná otvorením K^+ kanálov, t.j., priblížením membránového napätia k $E_K = -75\text{mV}$

Excitácia môže byť vyvolaná prinajmenšom dvojako:

1. otvorením kanálov priepustných pre Na^+ a K^+ (podobne ako v priamo bránovaných synapsách, ale pomalšie)
 2. zavretím napäťovo bránovaných K^+ kanálov, ktoré sú normálne otvorené; zatvorenie spôsobí depolarizáciu, pretože vodivosť týchto kanálov drží V_m blízko -75mV
- keďže otvorenie K^+ kanálov spôsobuje repolarizáciu pri AP, ich zavretie vedie k predĺženiu AP
 - sekundárni poslovia môžu mať aj **modulačný** účinok na priamo bránované kanály: napr. prítomnosť sekundárneho posla môže spôsobiť **desenzitáciu** priamo bránovaného receptora, čím sa redukuje schopnosť prenášača otvoriť daný kanál
 - sekundárni poslovia sa môžu šíriť celým neurónom a ovplyvniť aj jeho vzdialené časti
 - ako uvidíme ďalej, sekundárni poslovia prispievajú k dlhodobým zmenám synaptickej účinnosti

Neurálna báza učenia a pamäti

Učenie a pamäť - história

Aristoteles (3.st.pnl) „pri učení sa vytvárajú asociácie medzi ideami”

John Locke (17 stor.) a empirickí filozofi rozviedli túto predstavu

Všetko toto boli teoretické **introspektívne (subjektívne)** popisy

Pavlov (Nobelovka 1904) prišiel s **empirickou (objektívnou)**

metódou štúdia asociačného učenia – klasické (Pavlovovské) podmieňovanie

Hebb (1949) navrhol všeobecný princíp učenia (Hebbovo pravidlo): “Keď sa axón neurónu A opakovane a trvalo podieľa na excitovaní neurónu B, v niektorom alebo v oboch neurónoch sa udeje nejaká metabolická zmena alebo rastový proces, ktoré spôsobia, že sa účinnosť neurónu A pri excitovaní neurónu B zvýši.”

Učenie a pamäť – základná klasifikácia

Na základe toho čo robí experimentátor:

Učenie: asociatívne a neasociatívne

Neasociatívne: habituácia, senzitácia, dishabituácia, senzorické učenie, imitačné učenie (jazyk)

Asociatívne: klasické a operačné podmieňovanie

Klasifikácia podľa spôsobu uloženia

Reflexívna pamäť:

- automatická (reflexívna) odozva
- nezávislá od vedomia, sústredenia, nevyžaduje porovnávanie alebo vyhodnocovanie
- získava sa postupne opakovaním mnohých prezentácií
- prejavuje sa hlavne zlepšením úkonov/schopností
- príklady: perceptuálne a motorické učenie, naučenie sa postupov a pravidiel (napr. gramatických), ale aj učenie sa určitých verbálnych zručností

Deklaratívna pamäť:

- potrebná (cieľa)vedomá aktivita
- vyžaduje úkony ako porovnanie, vyhodnotenie, inferenciu
- na vytvorenie takýchto spomienok stačí jedna prezentácia
- dá sa vyjadriť deklaratívne: „Včera som videl žltého slona“
- používa sa pre vytváranie spomienok o predošlých udalostiach
- pri opakovaní sa transformuje na reflexívnu (riadenie auta)

Možné mechanizmy synaptických zmien (učenie)

Z predošlej prednášky

- trvalé zvýšenie množstva Ca^{2+} vtekajúceho do presynaptického neurónu na jeden akčný potenciál. Toto spôsobí trvalú zmenu množstva uvoľneného prenášača
- trvalá zmena priepustnosti K^+ alebo Na^+ kanálov na presynaptickom alebo postsynaptickom neuróne
- zmena počtu synáps medzi dvomi bunkami
- u synáps so sekundárnymi poslami, trvalá zmena množstva vygenerovaných sekundárnych poslov pri naviazaní jedného prenášača

atď.

Jednoduché formy reflexívneho učenia, ktoré spôsobujú zmenu efektívnosti synaptického prenosu

- habituácia
- senzitácia
- podmieňovanie

Synaptické zmeny u Aplysie

morský mäkkýš s relatívne jednoduchou nervovou sústavou (približne 20000 neurónov)

neurónové obvody podieľajúce sa na niektorých reflexoch sú detailne popísané

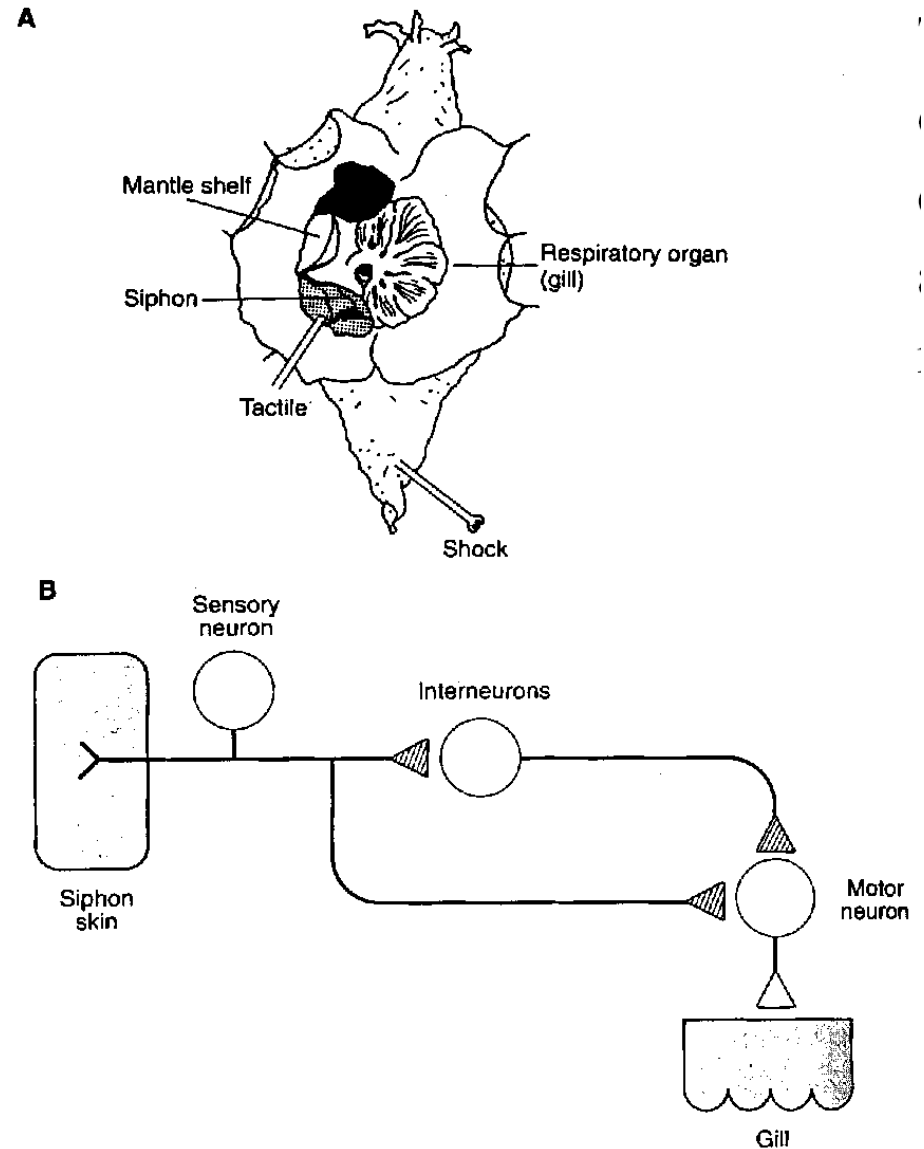
napr. pri dotknutí sa sifónu (nálevky) Aplysia stiahne žiabre

študoval Eric Kandel (Nobelovka 2002)

Štruktúra neurálneho obvodu →

my sa pozrieme na tri typy učenia:

- habituácia reflexu stiahnutia žiabier
- senzitácia reflexu stiahnutia žiabier
- podmieňovanie tohoto reflexu

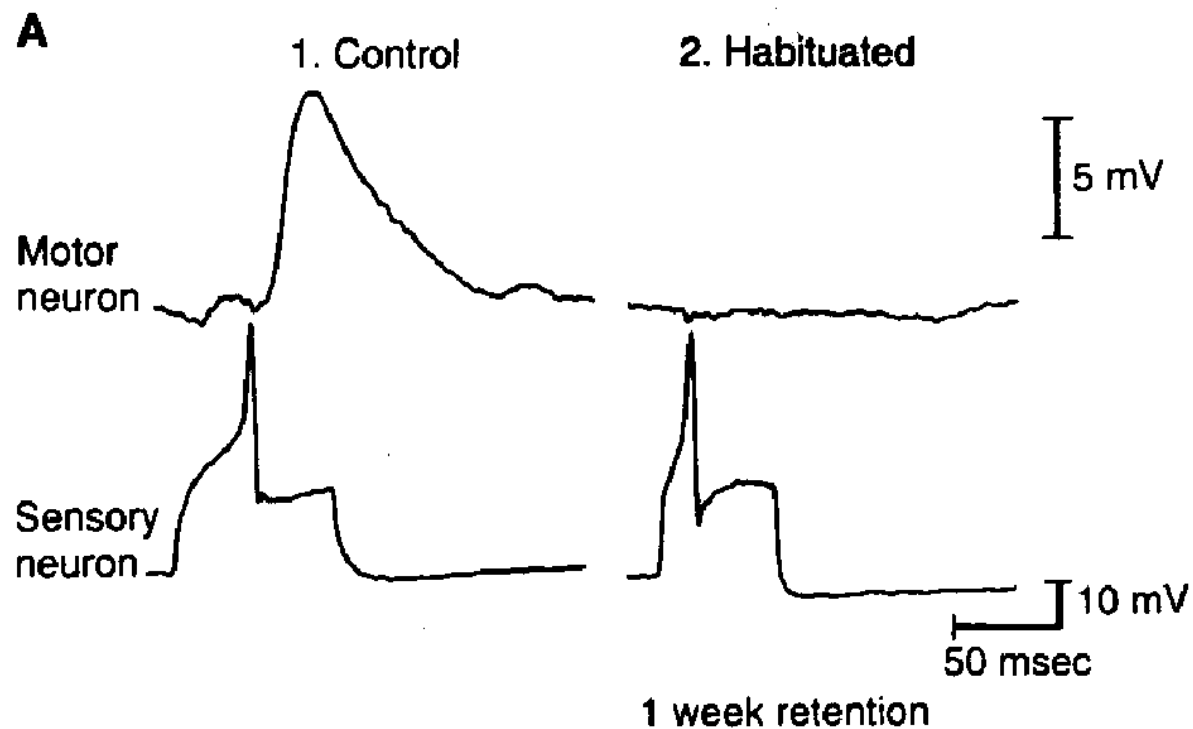


Habituácia reflexu stiahnutia žiabier

Habituácia je naučené potlačenie reflexívnej reakcie pri opakovanom prezentovaní nevýznamného podnetu

Pri dotknutí sa sifónu (nálevky) *Aplysia* stiahne žiabre. Keďže dotyk v skutočnosti nemá žiaden nepriaznivý vplyv (napr. neohrozuje ju), reflex sa postupne zoslabuje.

Je to najjednoduchšia forma neasociatívneho učenia.



Habituácia reflexu stiahnutia žiabier

Habituácia je spôsobená prinajmenšom z časti znížením synaptickej účinnosti

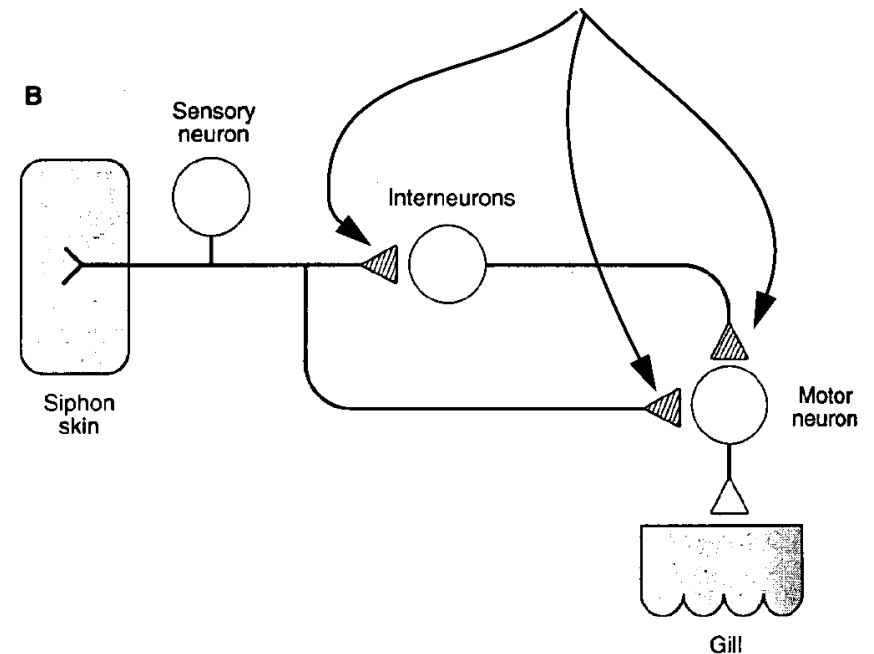
- senzorio-motorických synáps
- senzorio-interneurónových synáps
- interneurónovo-motorických synáps

Zníženie účinnosti = synaptická depresia

Absolvovanie jedného tréningového cyklu spôsobí krátkodobú habituáciu trvajúcu niekoľko minút (sekundárni poslovia)

Absolvovanie 4 cyklov spôsobí dlhodobú habituáciu (až 3 týždne)

Presný mechanizmus nie je známy, ale vie sa, že pri tejto habituácii sa zníži množstvo uvoľneného prenášača. Predpokladá sa, že to súvisí so zníženou aktivitou Ca^{2+} kanálov v presynaptickej membráne

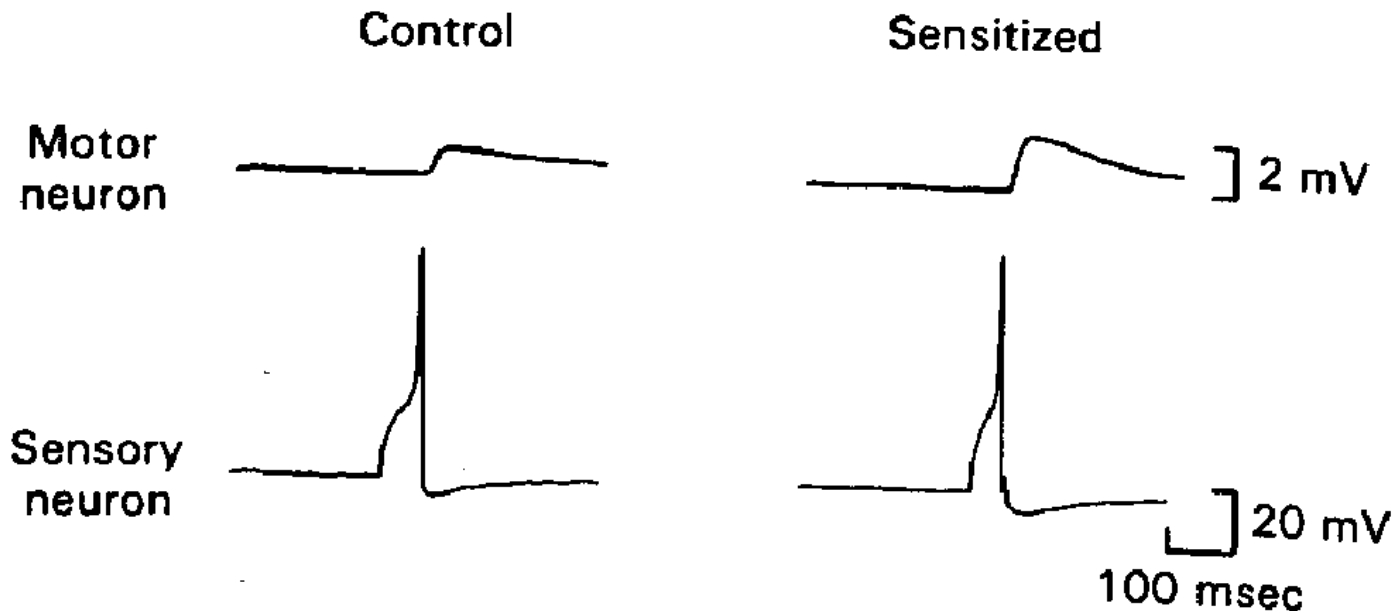


Senzitácia reflexu stiahnutia žiabier

Senzitácia znamená zvýšenú odozvu na jeden alebo viacero senzoričných stimulov keď sa opakovane prezentuje významný dráždivý podnet.

Napr., ak sa do chvosta Aplysie opakovane púšťajú elektrické šoky, sila reflexu stiahnutia žiabier sa zvýši pre veľa rôznych stimulov (napr. dotyk sífónu)

Aj toto je príklad neasociatívneho učenia, komplexnejšieho než habituácia.



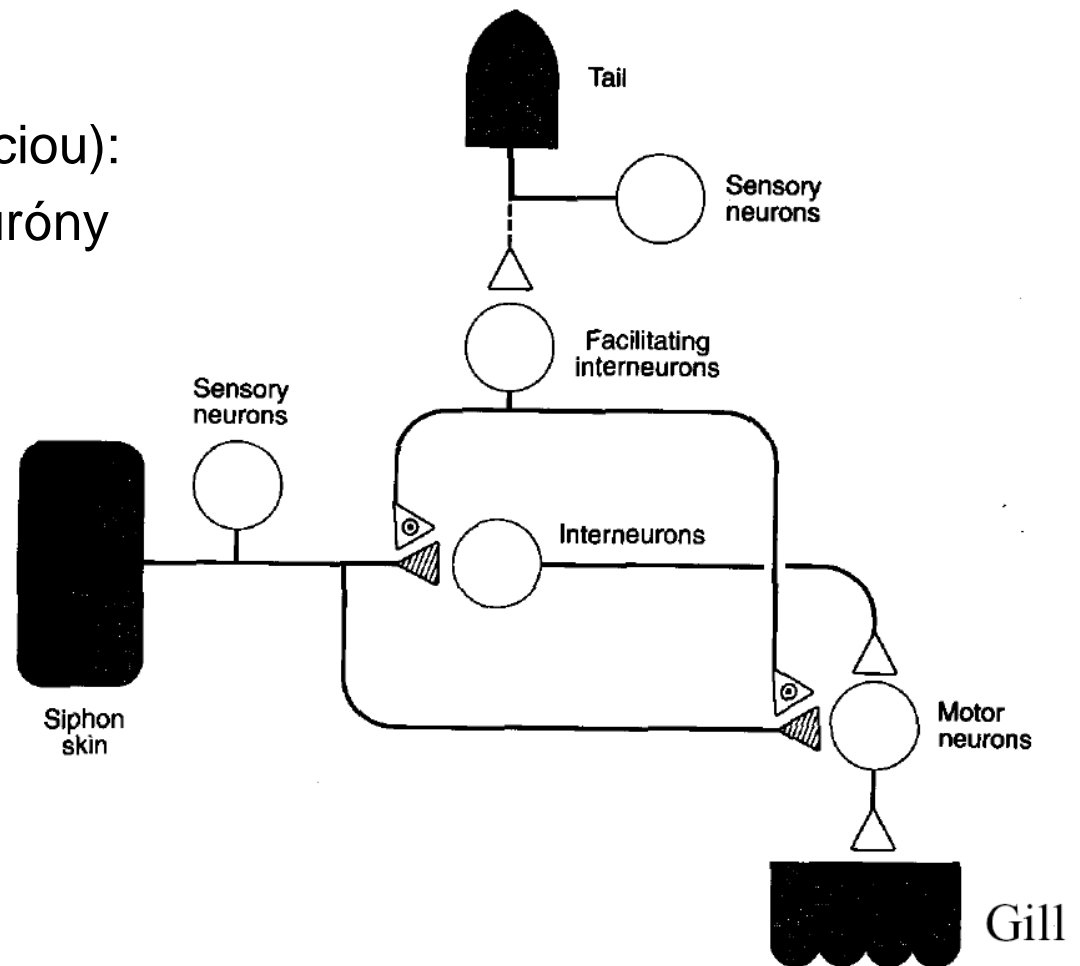
Senzitácia reflexu stiahnutia žiabier

Senzitácia je prinajmenšom z časti spôsobená zvýšením synaptickej účinnosti senzoricko-motorických synáps a senzoricko-interneuronálnych synáps

Tieto zvýšenia účinnosti sú spôsobené axo-axonickými synapsami od facilitačných interneurónov, preto sa tento mechanizmus nazýva **presynaptická facilitácia**

Mechanizmus krátkodobej senzitácie (spôsobenej facilitáciou):

1. šok aktivuje facilitačné interneuróny
2. interneuróny uvoľnia cez axo-axonické synapsy prenášač do terminálu senzorického neurónu
3. tým sa zvyšuje množstvo uvoľneného prenášača zo senzorického neurónu



Zmeny počtu synáps

Okrem zmien synaptickej účinnosti vedú **dlhodobá** habituácia a senzitácia aj k zmene počtu synáps medzi senzoricnými a motorickými neurónmi.

Habituácia znižuje počet synáps.

Senzitácia spôsobuje rast nových synáps.

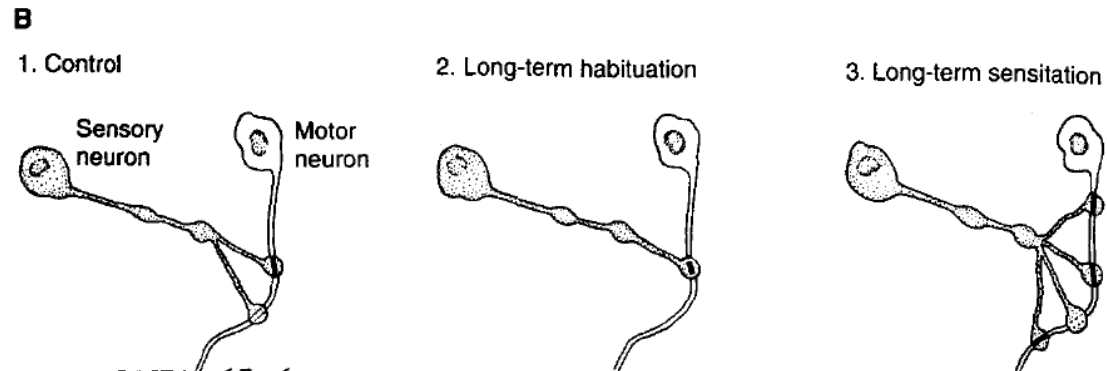
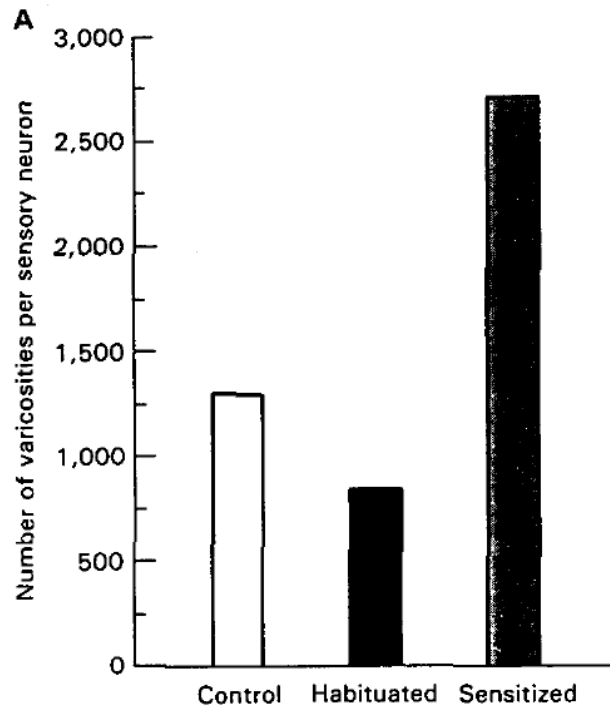


FIGURE 65-6

Long-term habituation and sensitization are accompanied by structural changes in the presynaptic terminals of sensory neurons. (Adapted from Bailey and Chen, 1983.)

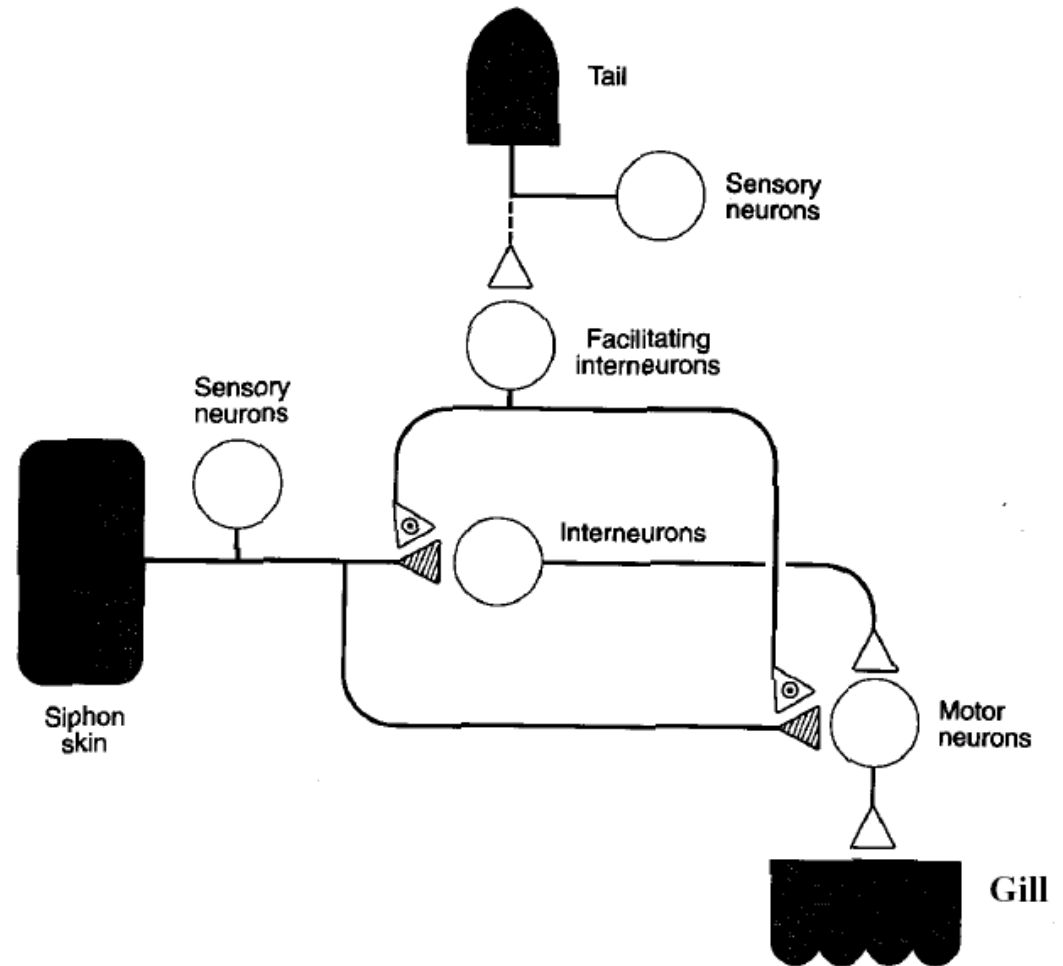
A. This histogram compares structural features in control animals with those in long-term habituated or sensitized animals. The number of presynaptic terminal varicosities is highest in sensitized animals and lowest in habituated animals.

B. Long-term habituation leads to a loss of synapses and long-term sensitization to an increase.

Senzitácia a Hebb

Uvedená zmena synaptickej účinnosti (sily spojenia) medzi senzorickým a motorickým neurónom bola spôsobená axo-axonickým vstupom z facilitačného interneurónu:

Takže zmena nebola spôsobená len súčasnou aktiváciou pre- a postsynaptického neurónu ako u Hebba, ale zahŕňala aj pomocný interneurón, ktorého výstup moduloval synaptickú zmenu



A čo Hebb a habituácia???

Klasické podmieňovanie

Senzoricko-motorické synapsy Aplysie sú schopné aj asociatívneho učenia známeho ako **klasické podmieňovanie (classical conditioning, CC)**.

Pri klasickom podmieňovaní sa páruje podmieňovaný stimul (CS, napr. dotyk schránky Aplysie) s nepodmieneným stimulom (US, t.j., takým, ktorý automaticky vyvolá odozvu, napr. elektrický šok do chvosta vyvolá stiahnutie žiabier). Odozva = nepodm. reflex (UCR). CR = podmieňovaná odozva – väčšinou podobná nepodmienenenej.

Pavlovov príklad – pes, jedlo, zvonček

Môže byť “apetitívne“ a „defenzívne“

CS sa stáva signálom, že treba očakávať US. T.j., pri klasickom podmieňovaní sa zviera učí predikovať vzťahy medzi udalosťami v prostredí.

CC nie je len nástrojom na štúdium učenia, ale mysle všeobecne (napr. štúdie vnímania farby, ale aj mentálnych procesov detí)

Klasické podmieňovanie

Extinkcia – sila CR v odozve na CS klesá keď sa prestane prezentovať US

Blokovanie: Kamin (1968) ukázal, že CC nie je len vyjadrením časovej súvislosti medzi CS a US – ak už súvislosť existuje, nová sa nevytvorí

Rescorla a Wagner ukázali, že podmieňovanie závisí aj na stupni „prekvapivosti“ US. Ak US je očakávané, podmieňovanie sa nedeje.

RW: Ak sa CS a US prezentujú opakovane ale náhodne, asociácia sa nevytvorí aj keď niektoré CS-US páry sú správne načasované → CC je preto podmienené skutočnou koreláciou medzi CS a US

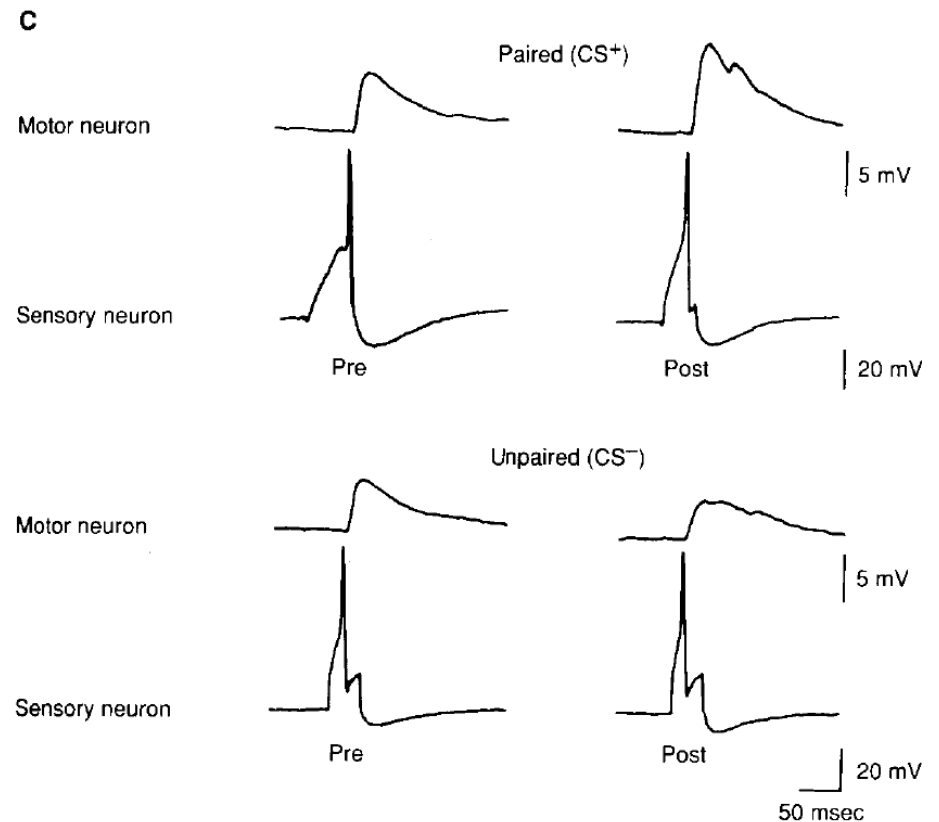
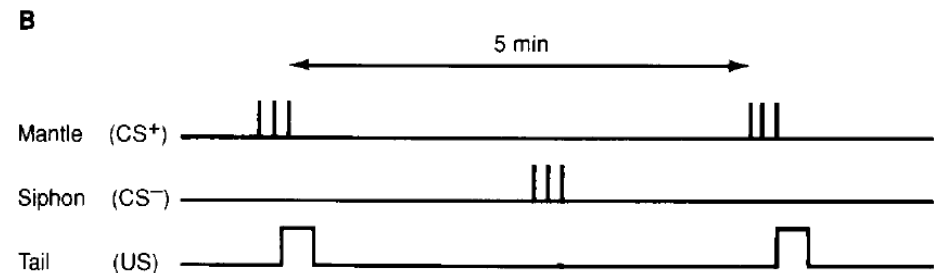
Naopak: CS bez US spôsobí, že CS bude predikovať neprítomnosť US a CC sa stane náročnejším, príp. CS môže mať inhibičný efekt. Tj, vyžaduje sa POZITÍVNA korelácia

Klasické podmieňovanie reflexu stiahnutia žiabier

Príklad experimentu u Aplysie a
výsledok:

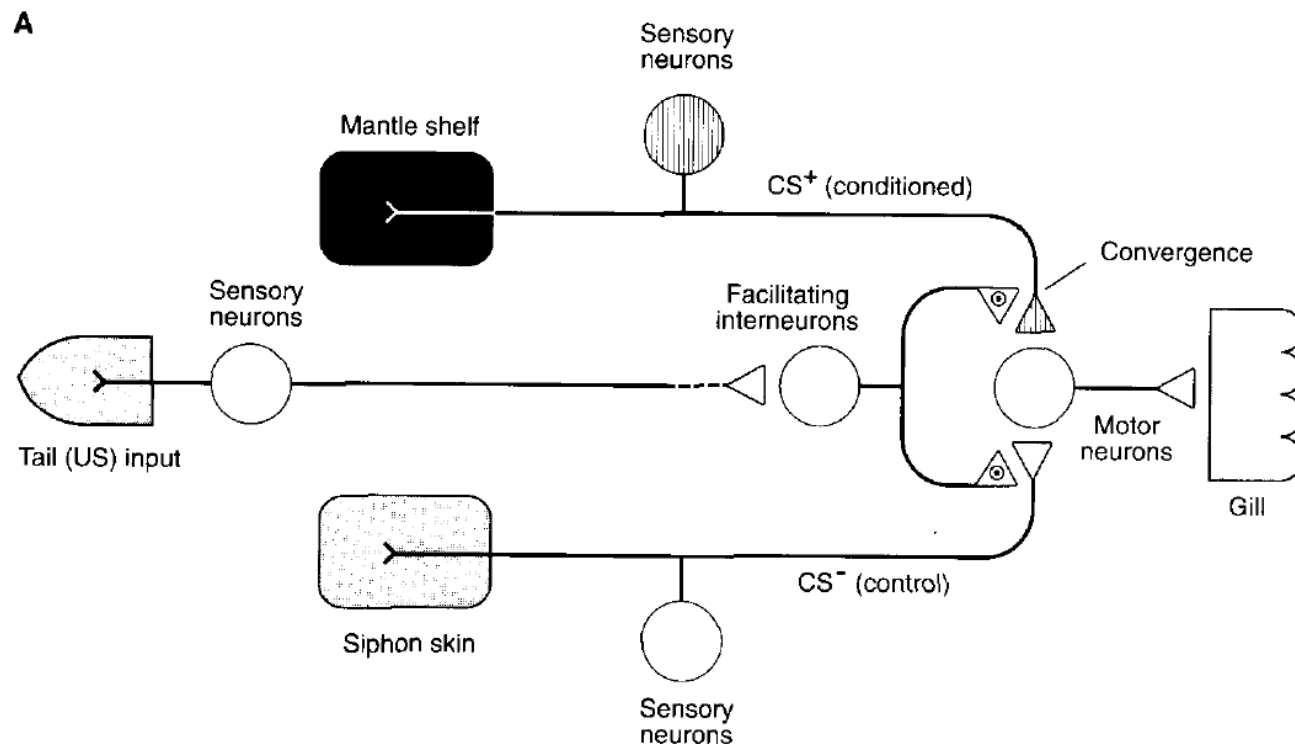
stimulácia schránky (mantle, CS⁺)
je časovo zosúladená (tesne
predchádza) US

stimulácia sifónu (CS⁻) nie je
spárovaná s US



Mechanizmus klasického podmieňovania

Je podobný mechanizmu senzitácie:



Základný rozdiel:

- pri klasickom podmieňovaní spôsobuje CS aktiváciu senzorického neurónu pred príchodom US. To spôsobuje relatívne vysokú koncentráciu Ca^{2+} v senzorickom neuróne v čase príchodu US.
- pri senzitácii sa senzorický neurón neaktivuje, preto je vnútrobunková koncentrácia Ca^{2+} nízka

Operačné podmieňovanie

Objavil Thorndike, podrobne študoval Skinner

- hladný potkan v krabici s páčkou
- nechá sa voľne pobiehať
- kedykoľvek stlačí páčku, dostane potravu
- postupne tlačí páčku stále častejšie
- ak je odozva nepríjemná (trest), stimul bude zriedkavejší

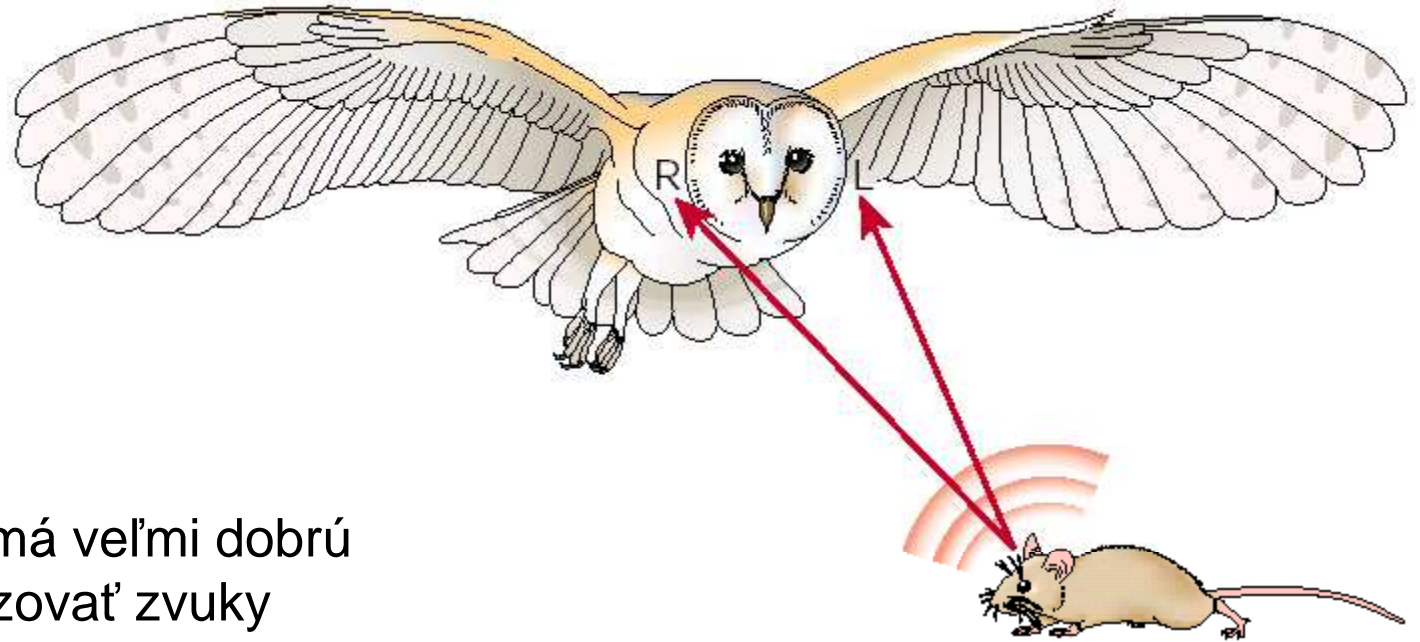
ak CC je asociáciou medzi dvomi stimulmi, operačné podmieňovanie je asociáciou medzi stimulom a odozvou

na vytvorenie asociácie sa vyžaduje spontánna aktivita

OC a CC sa zdajú byť rozdielne, ale v skutočnosti sú si v mnohom podobné:

- kritický význam časovania
- oba typy podmieňovania sú učením PREDIKOVAŤ

Inštruované učenie priestorového sluchu sovy



Sova (nočný lovec) má veľmi dobrú schopnosť lokalizovať zvuky

Priestorový sluch sovy sa kalibruje (je inštruovaný) zrakom

Preto je priestorový sluch sovy vhodným prostriedkom pre štúdium neurálnych mechanizmov učenia a plasticity všeobecne:

- manipulujeme zrakový vnem
- dívame sa na to, ako sa zrakovým zmenám prispôsobuje sluch

Inštruované učenie priestorového sluchu sovy

Sluchové charakteristiky asociované s priestorovými polohami sa líšia medzi indivíduami, ale aj s rastom jedinca

Naviac, starnutím a postupným strácaním sluchu sa mení neurálny kód

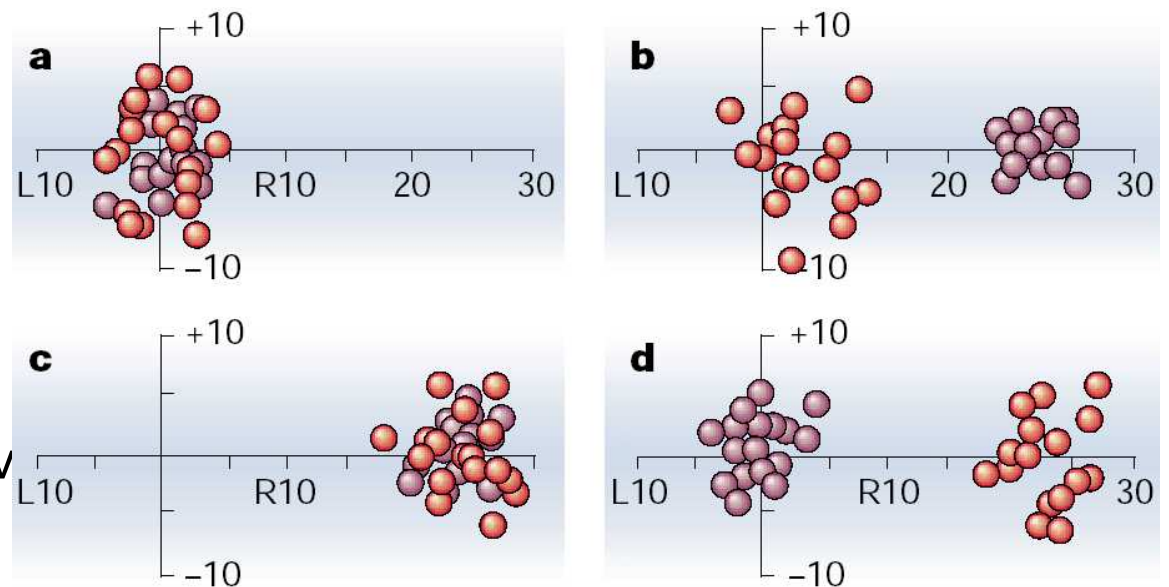
Preto sa mapovanie medzi sluchovými charakteristikami a zodpovedajúcimi priestorovými polohami musí behom života „doštelovávať“

Základná metóda štúdia inštruovaného učenia:

- sove sa nasadia okuliare, ktoré posúvajú jej vizuálne pole
- sleduje sa, ktorým smerom sova natočí hlavu pri prezentácii zrkových a sluchových podnetov

Obrázok - príklad:

- červená sluchové reakcie
 - fialová zrkové reakcie
- pred okuliarmi
 - deň po nasadení okuliarov
 - 40 dní po nasadení okuliarov
 - po zložení okuliarov



Sluchová lokalizačná dráha sov

Má dve vetvy:

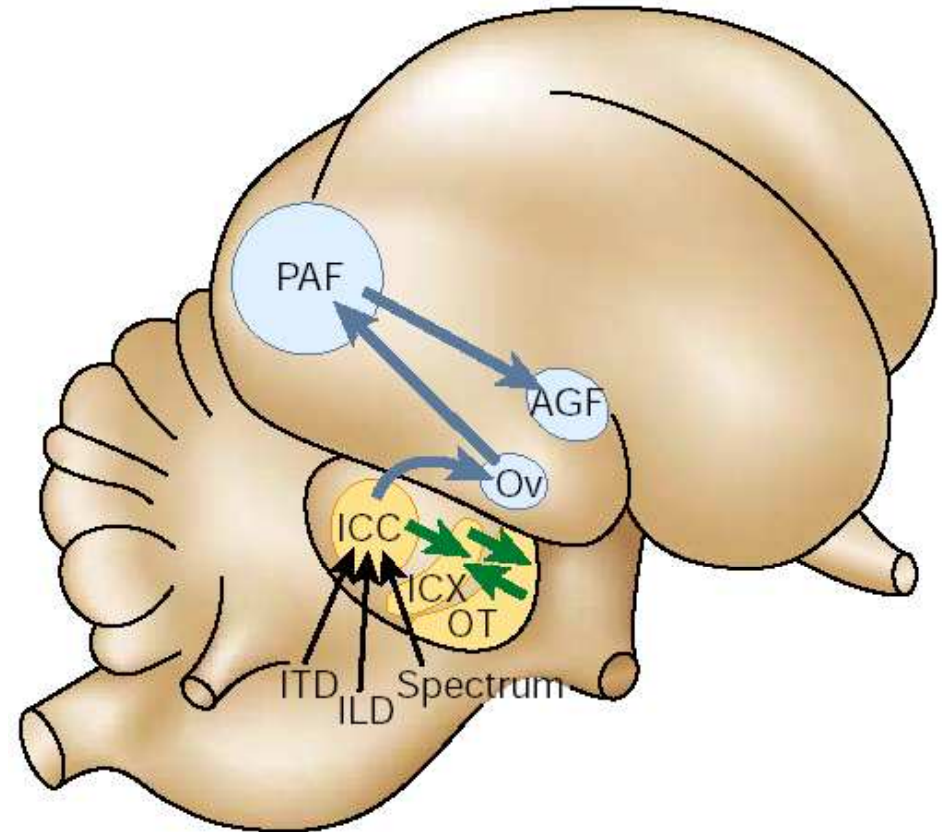
- v strednom mozgu (žltá) a
- v prednom mozgu (modrá)

V strednom mozgu:

- ICC – centrálny nukleus inferiórneho colikulu – kóduje sluchové charakteristiky ITD/ILD
- ICX – externý nukleus inf. col. – kóduje sluchový priestor
- OT – optické tektum – kóduje sluchový aj vizuálny priestor

Vizuálne kódovanie v OT sa nemení

Sluchové priestorové kódovanie v ICX je **plastické**



Anatomické a synaptické zmeny pri učení

U normálnych sov je axonické mapovanie ICC→ICX topografické **(a)**

U sov vychovaných s okuliarmi existujú axóny reprezentujúce normálnu aj posunutú mapu **(b)**

Dôležité sú tri druhy receptorov:

inhibičné receptory citlivé na neuroprenášač GABA (G)

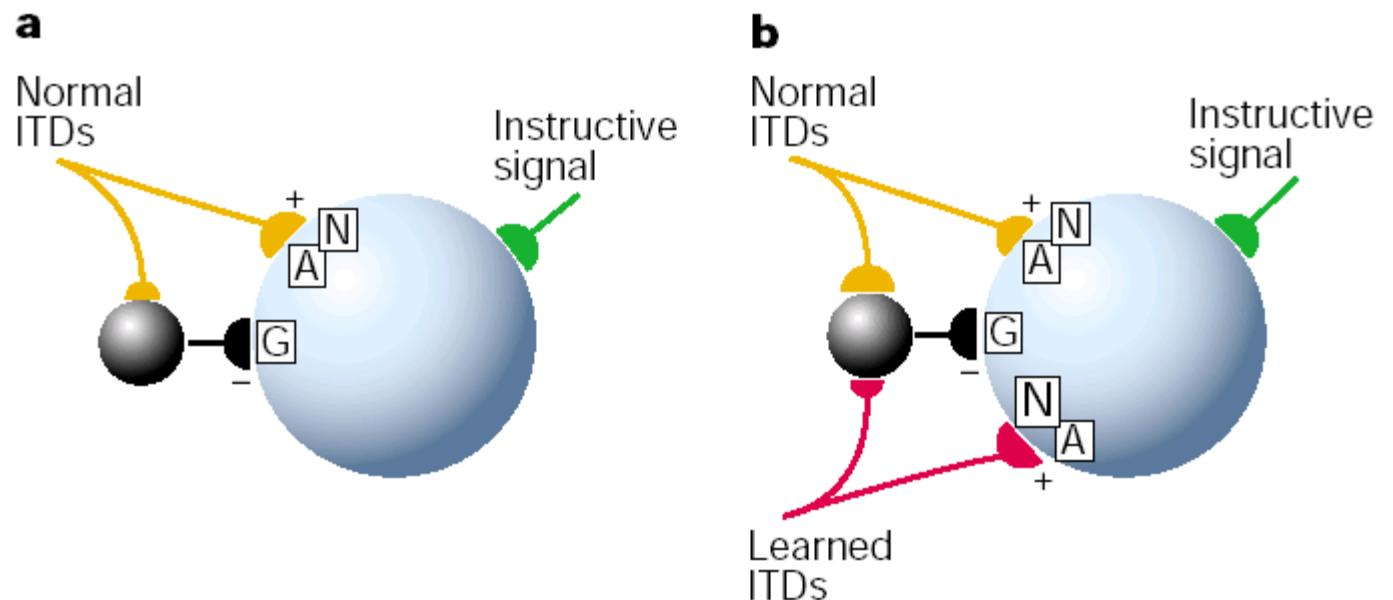
excitačné receptory citlivé na neuroprenášače NMDA (N) a AMPA (A)

Po naučení s okuliarmi, ak zablokujeme NMDA receptory, zachová sa normálna mapa a potlačí sa naučená mapa

Ak zablokujeme AMPA receptory, situácia je opačná (len naučená mapa)

Po dlhšom učení sa toto rozlíšenie stráca

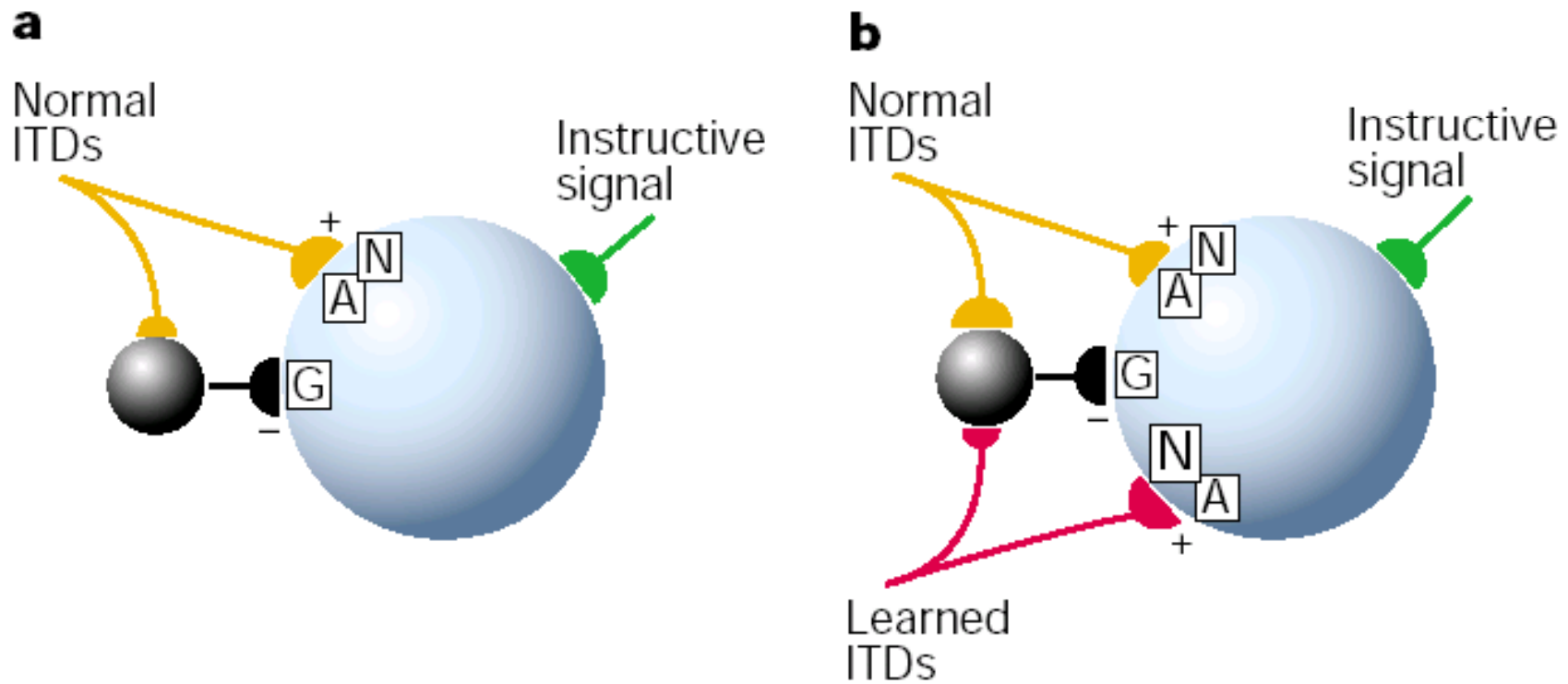
A načo je GABA a inhibícia?



GABA inhibícia

Po dostatočne dlhom učení s okuliarmi sova odpovedá len podľa novej mapy
Ak ale zablokujeme GABA receptory, sova sa okamžite vráti k používaniu pôvodnej mapy

Takže u sovy vychovanej s okuliarmi sa vytvoria dve paralelné mapy – jedna normálna a jedna naučená. A GABA slúži ako prepínač medzi nimi

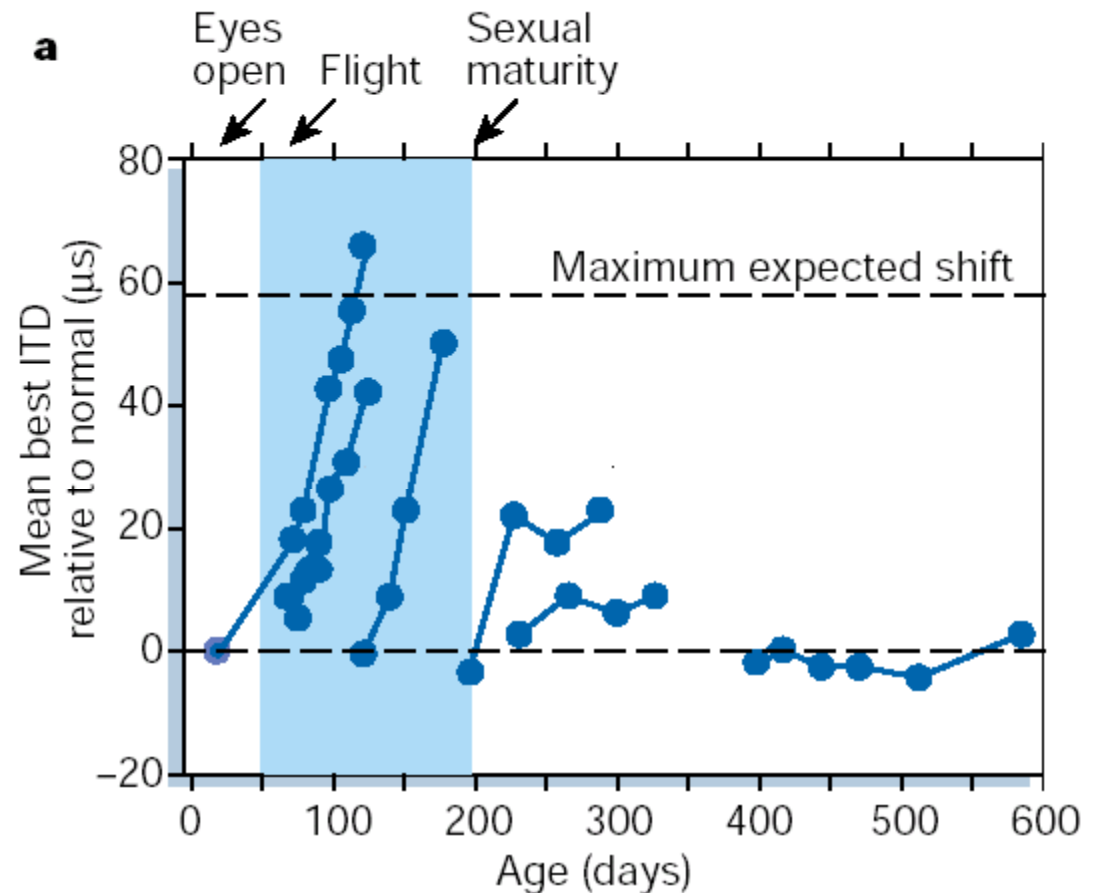


„Young is better than old“

Schopnosť naučiť sa nové mapovanie sa stráca s vekom

Obrázok: Zmeny v mapovaní z ICC do ICX pre šesť sov, ktorým boli okuliare nasadené v rôznom veku

Ak boli okuliare nasadené v dospelosti, nová mapa sa nevytvorí



Kritické obdobia (critical periods) vo vývoji jedinca – pre normálny vývoj mnohých kognitívnych funkcií je nevyhnutná správna stimulácia v správnom čase (príklady: fonetika jazyka, absolútny sluch)

Čo sa za mladi naučíš ...

Obrázok:

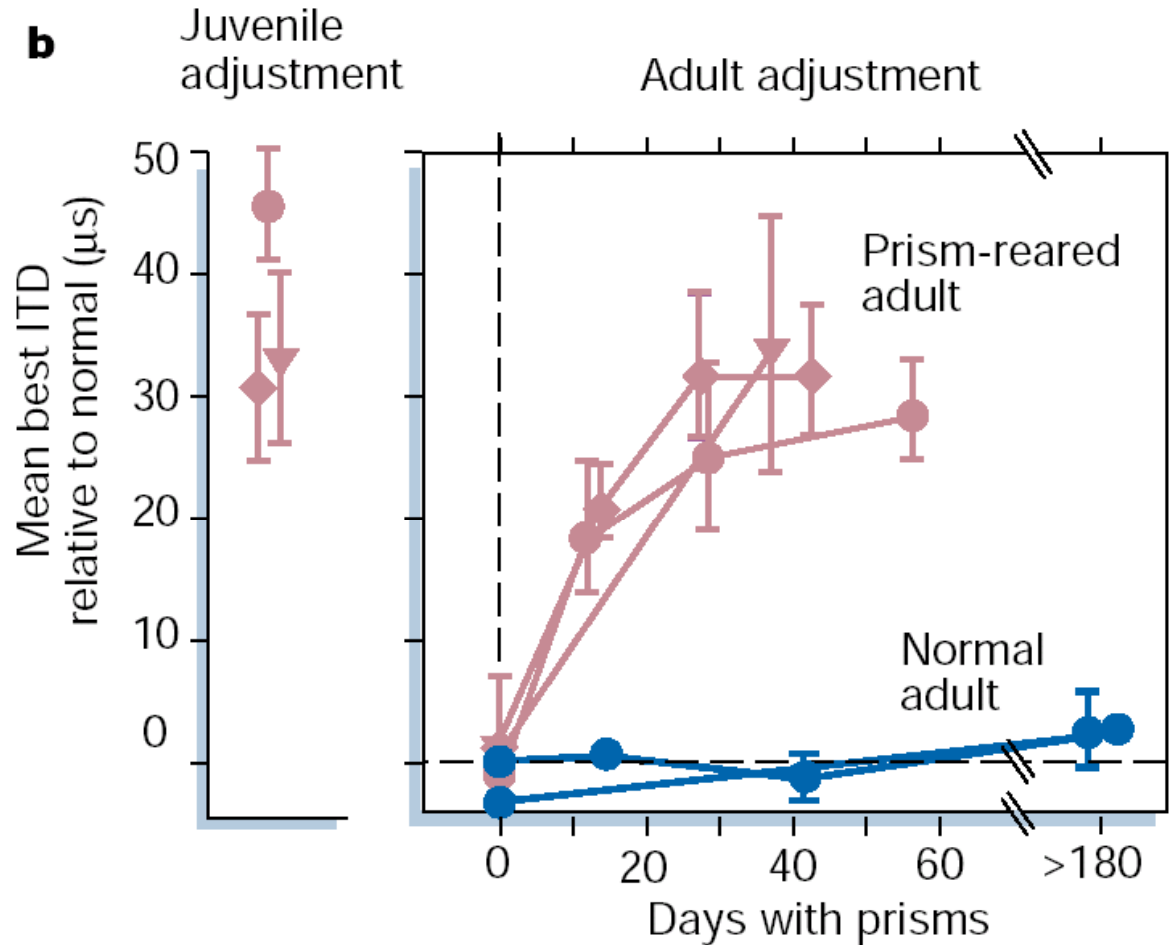
Vľavo:

ružová – tri sovy, ktoré boli za mladi vychované s okuliarmi a potom im boli okuliare sňaté

Vpravo:

ružová – tie isté tri sovy sú schopné sa premapovanie naučiť aj ak im okuliare nasadíme v dospelosti

modrá – ako na predošlom obrázku – žiadne učenie



Budúca prednáška

Pamäť a učenie