

# ÎNVĂȚAREA ȘI MEMORIA

## (NOTE DE CURS)

- **Învățarea** – este un proces neurofiziologic prin care se realizează dobândirea de noi deprinderi sau cunoștințe pe bază de informații și experiență.
- **Învățarea** – este un proces care ar *consta* din modificări adaptative ale comportamentului individual ca rezultat al experienței.
- **Învățarea implică** procesul în care „organismul poate să facă în prezent, ceea ce nu putea face în trecut” sau capacitatea de a dobândi o anumită cunoaștere (pricepere) sau îndemânare.
- Din punct de vedere neurofiziologic (Carlson, 1991) învățarea reprezintă procesul prin care experiența trăită determină o serie de modificări la nivelul sistemului nervos al organismului în cauză, modificând astfel și comportamentul acestuia. Aceste schimbări constituie de fapt memoriile organismului.

După (Carlson, 1991) procesul de învățare poate lua patru forme fundamentale: (1) **învățare perceptuală**, (2) **învățare stimul – răspuns**, (3) **învățare motorie** și (4) **învățare relațională**.

### Învățarea perceptuală

Învățarea perceptuală constituie abilitatea organismului de a învăța să identifice și să categorizeze obiecte și situații din mediu (permițându-i astfel răspunsul adecvat la acestea). Acest tip de învățare se realizează la nivelul fiecărui sistem senzorial (vizual, auditiv, tactil etc.) prin intermediul modificărilor survenite în cortexul senzorial de asociație al acestora.

### Învățarea stimul – răspuns

Învățarea stimul – răspuns reprezintă capacitatea organismului de a învăța să realizeze un anumit comportament în prezența unui stimul specific. Astfel, aceasta implică stabilirea conexiunilor între circuite responsabile pentru percepția stimulului și circuite responsabile pentru desfășurarea mișcării. Comportamentul emis ca răspuns poate fi un răspuns automat (ex. reflex de apărare) sau o secvență complicată de mișcări achiziționate anterior. Învățarea stimul – răspuns implică două categorii majore de învățare: (a) **condiționarea clasică** și (b) **condiționarea operantă**.

- Ambele tipuri de comportament au la bază **condiționarea** – procesul de elaborare a unui **reflex condiționat**.

- **Reflexul condiționat** – acele reacții ale organismului care sunt declanșate nu de stimulul lor specific, ci de alți stimuli, a căror acțiune a fost asociată în mod constant cu stimulul specific.
  - Un reflex condiționat presupune stabilirea unei legături temporare între *centrul cortical al unui reflex necondiționat* și *cel al unui excitant din mediul extern*.

### COMPORTAMENTUL RESPONSIV (= CONDIȚIONARE CLASICĂ)

- Condiționarea clasică se produce atunci când un stimul indiferent este asociat cu unul necondiționat, până ce stimulul indiferent devine un stimul condiționat; → un organism învață că un eveniment urmează după un altul.
- *Implică:* (1) un stimul necondiționat; (2) un stimul indiferent ( care va deveni condiționat); (3) o reacție (un reflex) la stimulul necondiționat – aceasta va deveni o reacție condiționată la stimulul condiționat.
- Etapele elaborării unui reflex condiționat
  1. Faza necondiționată – stimulul necondiționat determină apariția reflexului necondiționat, stimulul indiferent nu are efect asupra organismului (ex. hrana provoacă salivația, lumina nu determină nici un răspuns).
  2. Faza condiționării – stimulul indiferent (ex. lumina) se asociază de mai repetate ori cu stimulul necondiționat (hrana) rezultând un răspuns necondiționat (salivarea).
  3. Faza condiționată – stimulul „indiferent”, acum devenit condiționat (ex. lumina) determină un răspuns condiționat (salivarea).
- Din punct de vedere anatomic condiționarea clasică include cel puțin 3 grupe de populații neuronale: (1) neuronii excitați de stimulul necondiționat; (2) neuronii excitați de stimulul condiționat; (3) neuronii care inițiază și controlează răspunsul necondiționat.
- *Generalizarea și discriminarea*

Generalizare = răspunsul condiționat obținut la stimuli similari celui cu care a fost asociat inițial. Cu cât stimuliile ulterioare seamănă mai mult cu cel inițial, cu atât va crește probabilitatea declanșării răspunsului condiționat.

Discriminarea = apariția răspunsului condiționat doar la un anumit stimul specific (discriminat), fără apariția răspunsului respectiv la stimuli similari. Discriminarea dintre stimuli se obține prin intermediul întării diferențiate.
- Există cazuri în care reflexul condiționat este opusul reflexului necondiționat!

## COMPORTAMENTUL OPERANT (= CONDIȚIONAREA OPERANTĂ)

- Condiționarea operantă se produce atunci când un răspuns operant este urmat de o consecință dorită, o recompensă – se bazează pe ideea că probabilitatea ca un comportament să se repete depinde de consecințele acestuia.
- Se realizează prin încercări și erori; se bazează pe legea efectului.
  - Legea efectului selectează dintr-o paletă aleatorie de răspunsuri numai pe acelea care au consecințe pozitive.
    - Dacă răspunsul emis de organism are consecințe pozitive (dezirabile) pentru acesta atunci crește probabilitatea repetării aceluși comportament;
    - Dacă răspunsul emis de organism are consecințe negative (indezirabile) pentru acesta atunci scade probabilitatea repetării aceluși comportament.
  - Organismul desfășoară o acțiune întâmplătoare urmată uneori de pedeapsă alteori de recompensă – astfel devine o **acțiune condiționată**.
- Organismul trebuie să realizeze (emită) un răspuns pentru a se declanșa **întărirea**.
  - Întărire = orice ce va determina **o creștere a probabilității reapariției răspunsului** respectiv; poate fi *pozitivă* sau *negativă* (nu orice consecință este o întărire).
    - Întărire pozitivă = ceva plăcut apare ca și consecință a manifestării comportamentului.
    - Întărire negativă = ceva neplăcut dispare (sau este evitat) ca și consecință a manifestării comportamentului.
    - Pedepsă = ceva apare ca și consecință a manifestării comportamentului și va determina **o scădere** a probabilității reapariției răspunsului respectiv.
  - Tipuri de întăriri – există 5 categorii majore: (1) tangibile; (2) activități; (3) întăriri sociale; (4) feedback; (5) întăriri prin jetoane.
  - Tipuri de administrare a întărilor
    - *La proporție fixă* – întărirea apare după un anumit număr fix de răspunsuri emise; apare o pauză de răspuns după imediat întărire.
    - *La proporție variabilă* – întărirea apare după un anumit număr variabil de răspunsuri emise; nu apare pauza de răspuns.
    - *La intervale de timp fixe* – întărirea este disponibilă după expirarea unui anumit interval de timp fix; apare o pauză imediat după întărire, și crește rata de răspuns pe măsură ce intervalul de întărire se apropie de sfârșit.
    - *La intervale de timp variabile* – întărirea este disponibilă după expirarea unui anumit interval de timp variabil; rata de răspuns are o frecvență constantă.
  - ➔ Programul de întărire determină modelul răspunsurilor.

- **Întărirea** poate fi:
  - Primară – au valoare de întărire înnăscută sau neînvățată, satisfăcând o nevoie biologică (ex. hrana, îndepărtarea de durere).
  - Secundară – întărire asociată anterior cu o întărire primară și care printr-un proces clasic de condiționare, a căpătat valoare de întărire proprie (ex. clopoțelul care anunță masa).
  - Generalizate – evenimente asociate în trecut cu mai multe tipuri de întăriri primare sau secundare (ex. banii, gestul de aprobare).
- Orice răspuns care este urmat de recompensă sau de pedeapsă trebuie repetat de mai multe ori pentru a fi învățat. Un răspuns care nu este întărit mai mult timp va avea tendința să scadă în intensitate, probabilitate și frecvență de producere. Odată condiționat, un răspuns operant poate fi menținut prin întărire ocazională – **întărire parțială**.
- În scoarța cerebrală se va realiza o **legătură temporară bidirecțională** între mai mulți centrii nervoși → centrul cortical motor care comandă un anumit act motor și centrul cortical al unui reflex necondiționat.

### **Învățarea motorie**

Învățarea motorie reprezintă o formă specifică a învățării stimul – răspuns. Aceasta implică apariția unor modificări la nivelul sistemelor motorii, și anume realizarea unor conexiuni neuronale dintre diferite circuite motorii. De asemenea, sunt necesare și stabilirea legăturilor dintre circuitele motorii și cele perceptive deoarece activitatea complexă nu se poate realiza în absența input-ului senzorial.

### **Învățarea relațională**

Învățarea relațională este cea mai complexă formă de învățare ce implică învățarea relațiilor dintre stimuli individuali. Aceasta are loc prin formarea legăturilor dintre diferite zone corticale de asociație, precum și dintre acestea și sistemele senzoriale și motorii. Învățarea relațională stă la baza unor procese superioare de achiziționare a informațiilor cum ar fi învățarea spațială, observațională și episodică.

## **BAZA CELULARĂ A ÎNVĂȚĂRII**

**Modificările ce apar la nivelul sistemului nervos ca urmare a experienței se bazează pe *principiile plasticității sinaptice* – întărirea legăturilor sinaptice (legea lui Hebb).**

- **Legea lui Hebb** – dacă o sinapsă devine activă în mod repetat aproximativ în același moment în care neuronul post-sinaptic descarcă impuls nervos vor avea loc o serie de schimbări la nivelul structurii (sau chimiei) sinapsei care o vor întări.
- **Plasticitatea sinaptică** se realizează prin fenomenul numit *potențare de lungă durată (PLD)* – o creștere pe o durată lungă de timp a excitabilității unui neuron față de un anumit input sinaptic cauzată de activitatea repetată de înaltă frecvență al acelui input.
  - **Potențare de lungă durată de tip asociativ** – implică fenomenul prin care o sinapsă slabă devine întărită atunci când aceasta este activă (în mod repetat) aproximativ în același timp cu o sinapsă puternică.
  - **Potențare de lungă durată de tip non-asociativ** – implică fenomenul prin care o sinapsă slabă devine întărită atunci când aceasta este activată în mod repetat prin intermediul unor serii de salve de impulsuri nervoase ce au o frecvență crescută.

⇒ **Întărirea sinaptică se realizează atunci când moleculele de neurotransmițător se fixează pe receptori post-sinaptici ce sunt localizați pe o membrană post-sinaptică ce este deja depolarizată!**
- **Potențarea de lungă durată** – implică 2 elemente: (1) activarea sinapselor; (2) depolarizarea neuronului postsinaptic.
  - Explicația acestui fenomen se bazează pe caracteristicile receptorului NMDA (unul dintre receptorii pentru acidul glutamic).
  - **Receptorul NMDA** – controlează un canal ionic pentru ionii de calciu; acest canal este în mod normal blocat de un ion de magneziu – acesta nu permite intrarea ionilor de calciu prin proteina canal chiar dacă receptorul este activat prin prezența acidului glutamic.
  - În situația în care membrana post-sinaptică este depolarizată, ionul de  $Mg^{2+}$  este eliminat din canalul ionic astfel ionii de  $Ca^{2+}$  pot intra prin canalul respectiv (dacă acest canal este deschis prin prezența acidului glutamic pe receptor).
    - ⇒ Ionii de  $Ca^{2+}$  intră în celulă prin canalele controlate de receptorii NMDA doar atunci când acidul glutamic este fixat pe receptorul canalului iar membrana post-sinaptică este deja depolarizată (ceea ce determină eliminarea ionului de  $Mg^{2+}$  din canalul ionic).
    - ⇒ Intrarea ionilor de  $Ca^{2+}$  prin canalele controlate de receptorii NMDA reprezintă o etapă esențială a potențării de lungă durată – ionii de  $Ca^{2+}$  sunt utilizați ca mesageri secundari.
  - La nivelul sinapselor slabe ionii de  $Ca^{2+}$  nu pot intra prin canalele ionice chiar dacă acidul glutamic se găsește pe receptorul canalului (deschizând-ul) deoarece ionii de  $Mg^{2+}$  blochează aceste canale. → În situația în care o sinapsă puternică este activă la nivelul

aceleiași dendrite în același moment cu activarea sinapsei slabe, membrana post-sinaptică (a dendritei respective) va deveni suficient de depolarizată încât la nivelul sinapsei slabe să fie eliminați ionii de  $Mg^{2+}$  și prin urmare să poată intra ionii de  $Ca^{2+}$  prin acele canale (dacă aceste canale vor fi deschise prin prezența acidului glutamic pe receptorul canalului).

- **Modificări ce au loc la nivelul sinapsei ce devine mai puternică**

1. Întărirea sinapselor individuale – implică creșterea numărului de receptori AMPA la nivelul sinapselor respective. [receptorul AMPA este un receptor pentru neurotransmițătorul *glutamat (acid glutamic)* ce controlează un canal de  $Na^+$ ].

- Mecanismul prin care  $Ca^{2+}$  determină apariția noilor receptori AMPA la nivelul dendritelor postsinaptice:

- i.  $Ca^{2+}$  intrat în celulă activează enzima CaM-K II (Calciu-calmodulinkinaza II)
- ii. CaM-K II activat se atașează de: (a) componenta intracelulară a receptorului NMDA și de (b) un set de proteine de legătură ce pot fi atașate de receptorii AMPA
- iii. Receptorii AMPA, sintetizați la nivelul corpului celular, sunt transportate cu ajutorul unor vezicule la nivelul membranei post-sinaptice
- iv. Receptorii AMPA se fixează de proteinele de legătură care acum sunt legate de componenta intracelulară a receptorilor NMDA prin intermediul CaM-K II.

- Prezența noilor receptori AMPA pe membrana post-sinaptică implică un PPSE crescut.

2. Schimbarea structurii sinapsei astfel încât se formează o nouă conexiune sinaptică – acest proces ce implică: (a) formarea *sinapselor perforate* cu butonii terminali ai neuronului pre-sinaptic; (b) transformarea sinapselor perforate în noi conexiuni sinaptice propriuzise.

3. Schimbări presinaptice – implică creșterea cantității de neurotransmițător eliberat în fanta sinaptică. NO este sintetizat la nivelul dendritei post-sinaptice (datorită activării enzimei NOSintaza  $Ca^{2+}$  intrat în celulă). Acesta difuzează în fanta sinaptică și ajunge la nivelul butonului terminal (elementul presinaptic) unde dictează creșterea cantității de neurotransmițător eliberat în fanta sinaptică. [NO este un mesager anterograd].

- Depresia de lungă durată implică fenomenul opus PLD fiind responsabil de dezînvățare – se bazează pe principiul: imputuri sinaptice ce nu sunt corelate cu imputuri puternice sau care sunt corelate cu inactivarea neuronului post-sinaptic vor duce la slăbirea sinapselor respective.

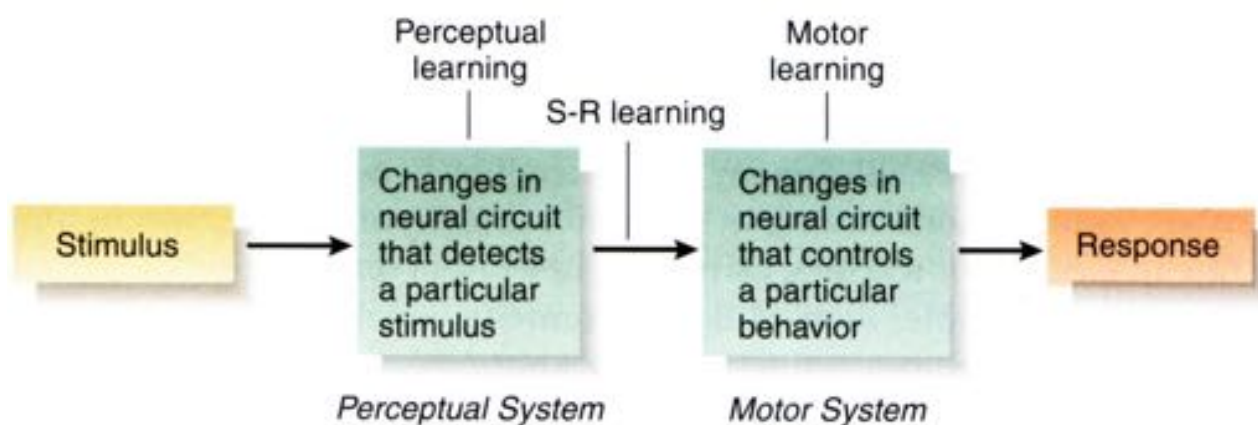
- Condiționarea operantă implică **întărirea** conexiunilor dintre circuitele neuronale ce detectează un stimul specific și circuitele neuronale ce produc un răspuns specific. Această întărire are loc *doar atunci când* răspunsul este urmat de un stimul cu valoare de întăritor (recompensă).  
⇒ întărirea sinaptică este controlată de un mecanism de întărire (recompensare).
- Efectul de întărire a unui stimul se datorează activării unor sisteme neuronale **dopaminergice**.
  - Căile dopaminergice majore pornesc din două regiuni ale mezencefalului: (1) substanța neagră; (2) zona tegmentală ventrală – axonii neuronilor din această zonă pot afecta foarte mulți neuroni din diferite zone corticale datorită numărului mare de colaterale și butoni terminali.
  - Sisteme dopaminergice majore: (1) mesolimbic; (2) mesocortical.
  - Dopamina poate avea efect de neuromodulator – activarea receptorilor dopaminergici post-sinaptici afectează sensibilitatea altor tipuri de receptori.
- Stimulii care dobândesc valoare de întăritor sunt acei stimuli care determină declanșarea eliberării de dopamină la nivelul rețelelor dopaminergice – în principal cele care ajung la nivelul **nucleului accumbens**.
  - Comportamentul care a dus la obținerea stimulului cu valoare de întăritor va avea șanse mai mari de apariție în viitor (în momentul în care organismul va detecta stimuli ce permit realizarea comportamentului ce duce la obținerea stimulului întăritor).
  - Stimulii naturali produc declanșarea dopaminei în sistemele dopaminergice în mod natural; stimuli neutrii pot fi asociați cu acești stimuli naturali astfel încât și aceștia pot determina declanșarea de dopamină.
- Condiționarea operantă implică întărirea conexiunilor dintre circuitele neuronale ce detectează un stimul specific și circuitele neuronale ce produc un răspuns specific – există 2 căi majore între cortexul senzorial de asociație și cortexul motor de asociație: (a) conexiuni transcorticale directe; (b) conexiuni prin nucleii bazali și talamus.
  - Conexiunile transcorticale directe sunt responsabile pentru manifestarea comportamentului prin observație sau prin urmarea unui set de reguli; prin repetiție comportamentul devine automatizat și realizarea acestuia necesită mai puține resurse.
  - Comportamentele învățate ce au ajuns să fie automatizate sunt transferate nucleilor bazali – pe măsură ce individul manifestă un comportament complex voluntar nucleii bazali primesc informații despre (a) stimulii ce sunt prezenți; (b) răspunsurile comportamentale manifestate. Inițial nucleii bazali sunt „observatori pasivi”, ulterior pe măsură ce comportamentul este repetat nucleii bazali preiau majoritatea detaliilor procesului comportamental respectiv.

## **BIBLIOGRAFIE:**

- Carlson, N. R. (2005). *Foundations of Physiological Psychology* (6th Edition). Ed. Allyn & Bacon. Boston.
- Kolb, B. & Whishaw, I. Q. (2003). *Fundamentals of Human Neuropsychology* (5th Edition). Ed. Worth Publishers Incorporated. New York.
- Kolb, B. & Whishaw, I. Q. (2005). *An Introduction to Brain and Behavior* (2nd edition). Ed. Worth Publishers. New York.

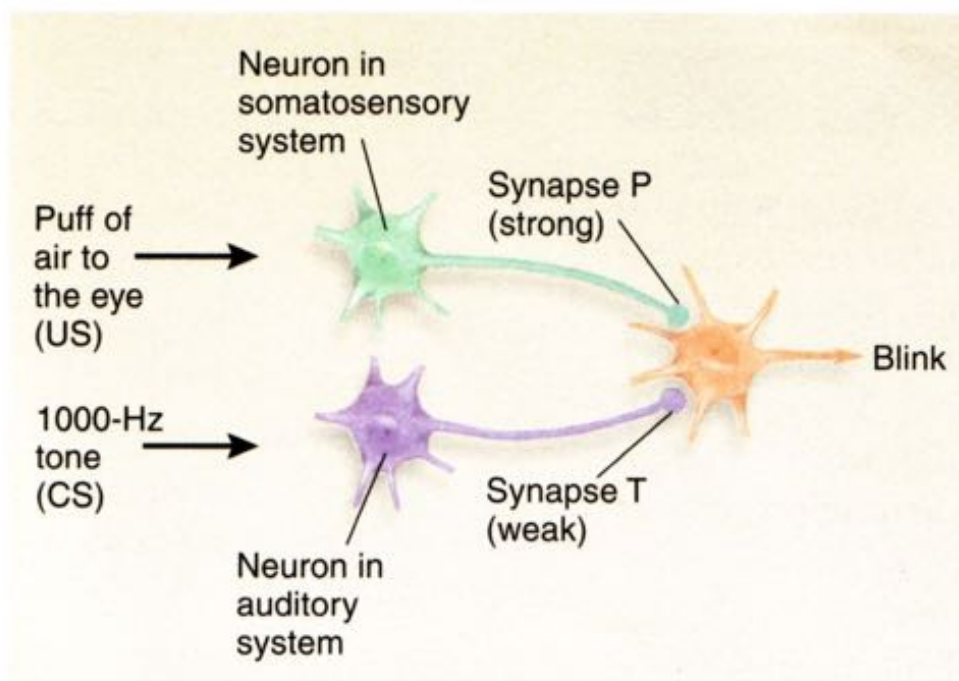


An overview of perceptual, stimulus-response (S-R), and motor learning.



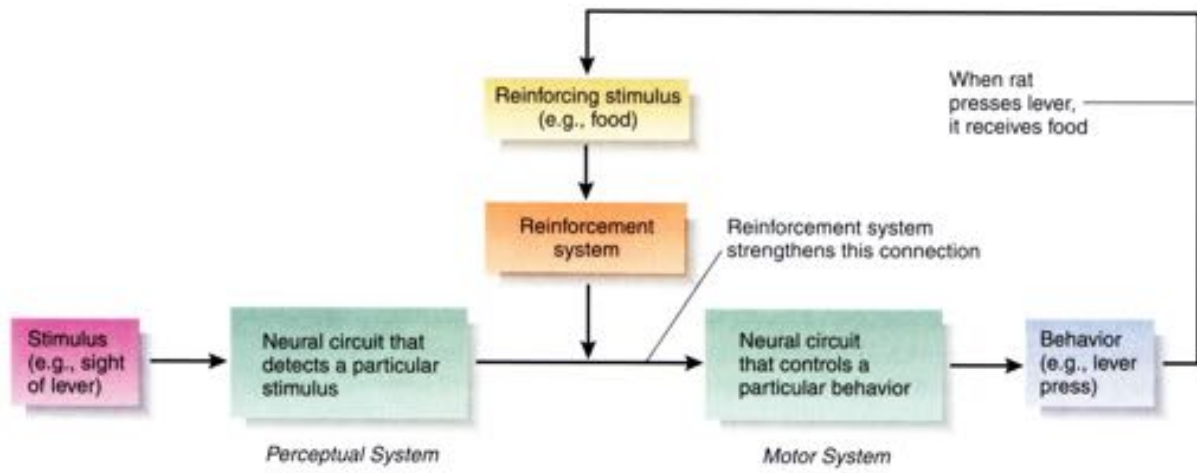
Carlson, N. R. (2005). Foundations of Physiological Psychology (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.

A simple neural model of classical conditioning. When the 1000-Hz tone is presented just before the puff of air to the eye, synapse T is strengthened.



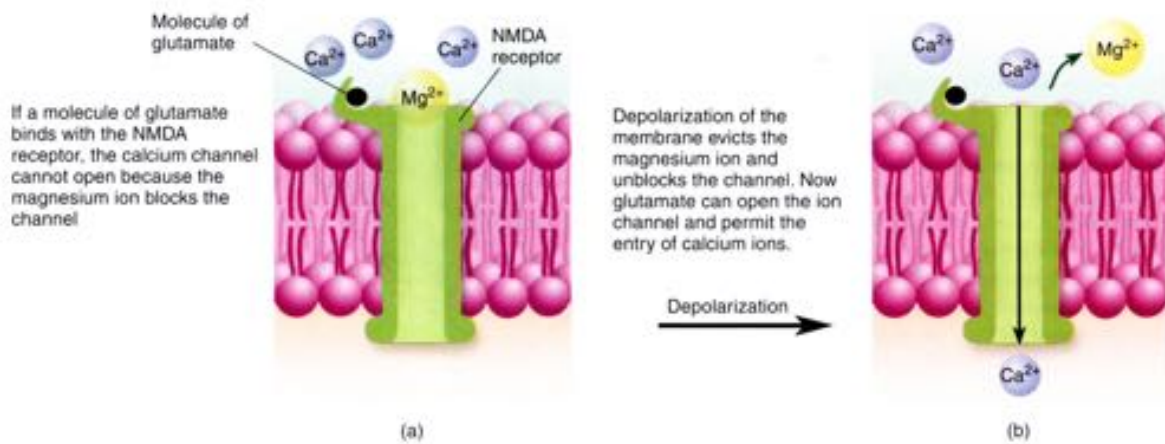
Carlson, N. R. (2005). Foundations of Physiological Psychology (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.

A simple neural model of instrumental conditioning.

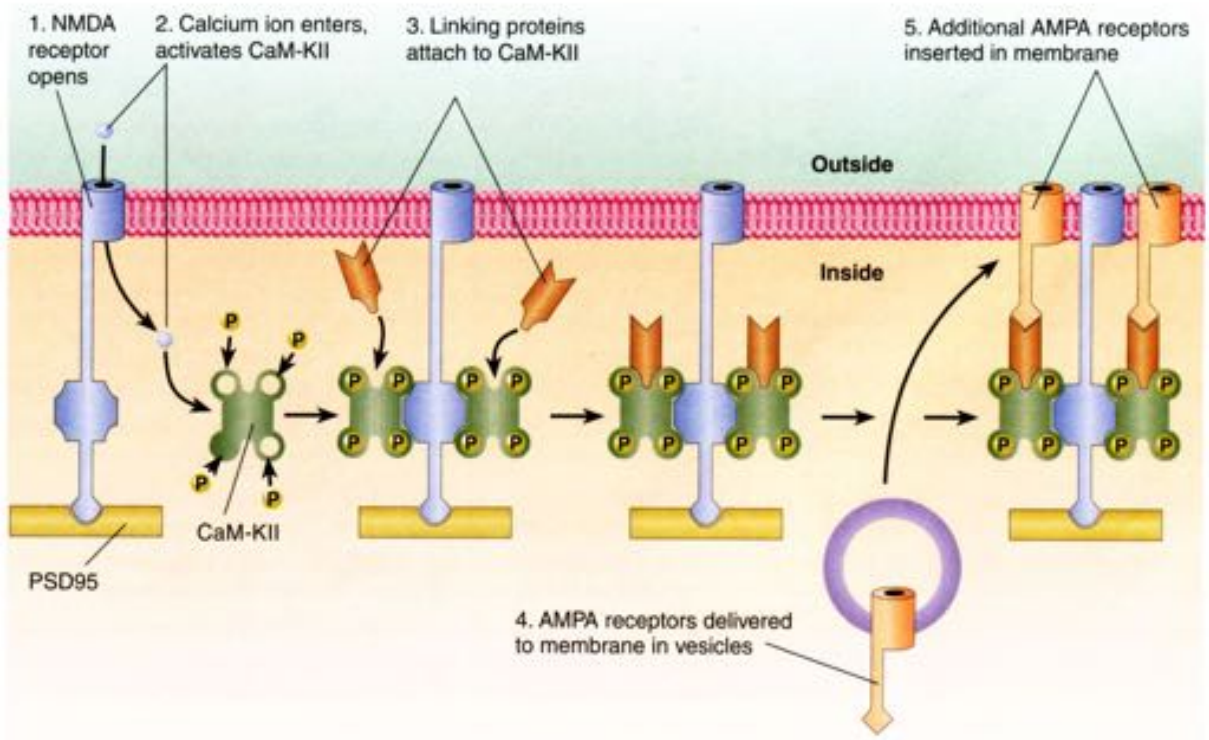


Carlson, N. R. (2005). *Foundations of Physiological Psychology* (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.

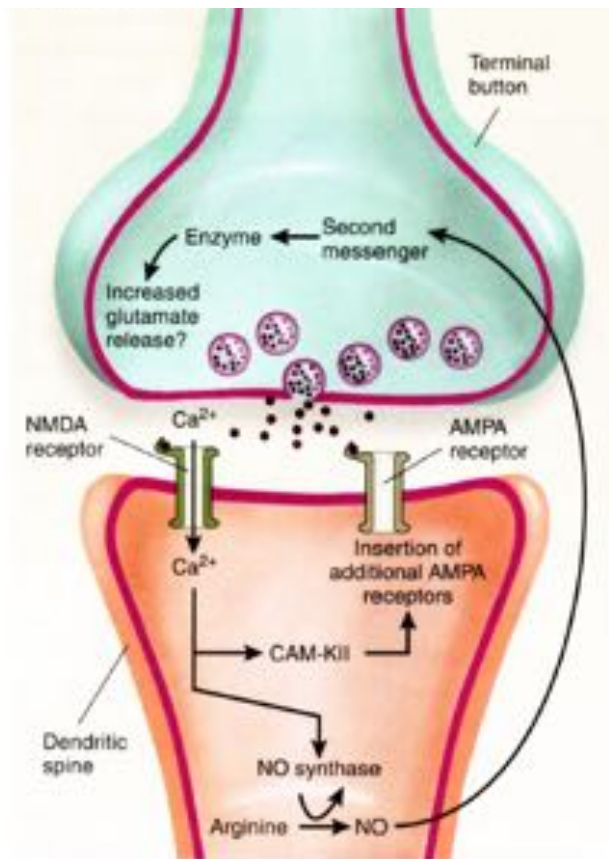
The NMDA receptor, a neurotransmitter- and voltage-dependent ion channel. (a) When the postsynaptic membrane is at the resting potential,  $Mg^{2+}$  blocks the ion channel, preventing  $Ca^{2+}$  from entering. (b) When the membrane is depolarized, the magnesium ion is evicted. Thus, the attachment of glutamate to the binding site causes the ion channel to open, allowing calcium ions to enter the dendritic spine.



Carlson, N. R. (2005). *Foundations of Physiological Psychology* (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.

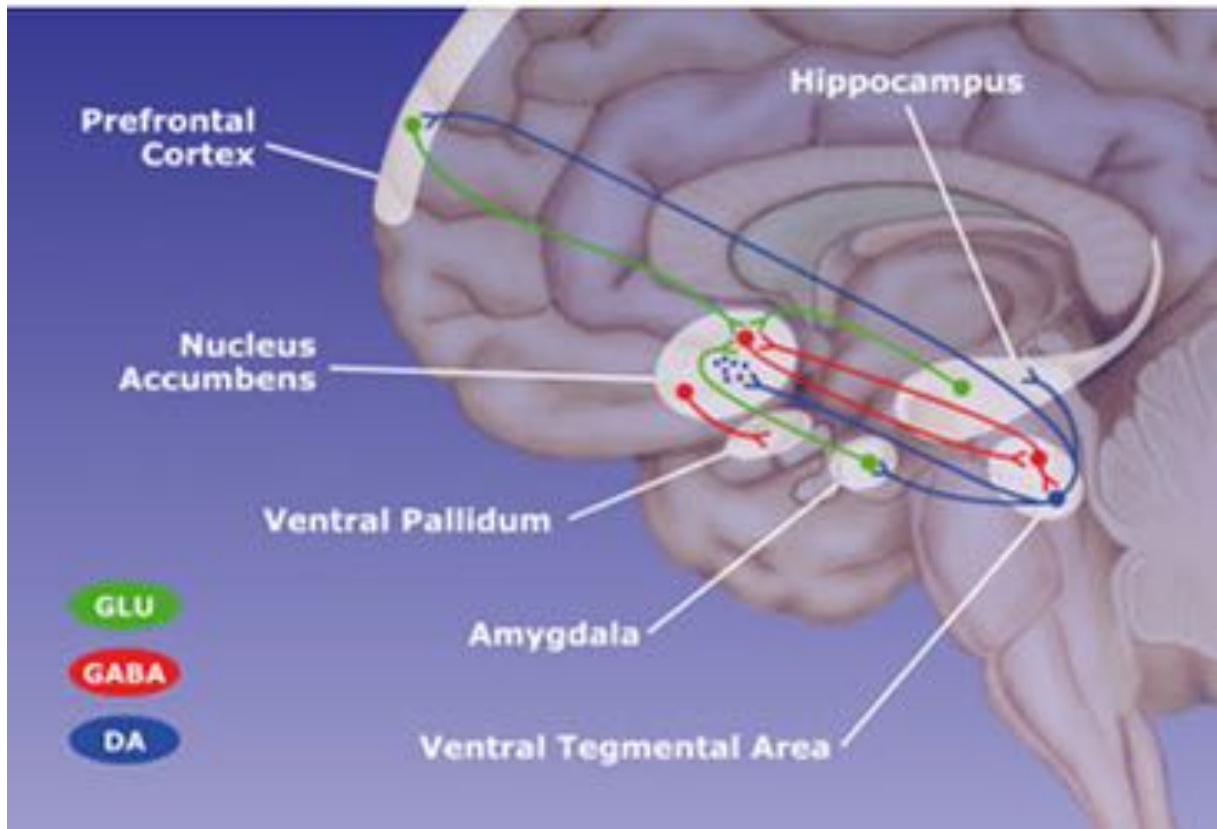


Carlson, N. R. (2005). Foundations of Physiological Psychology (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.



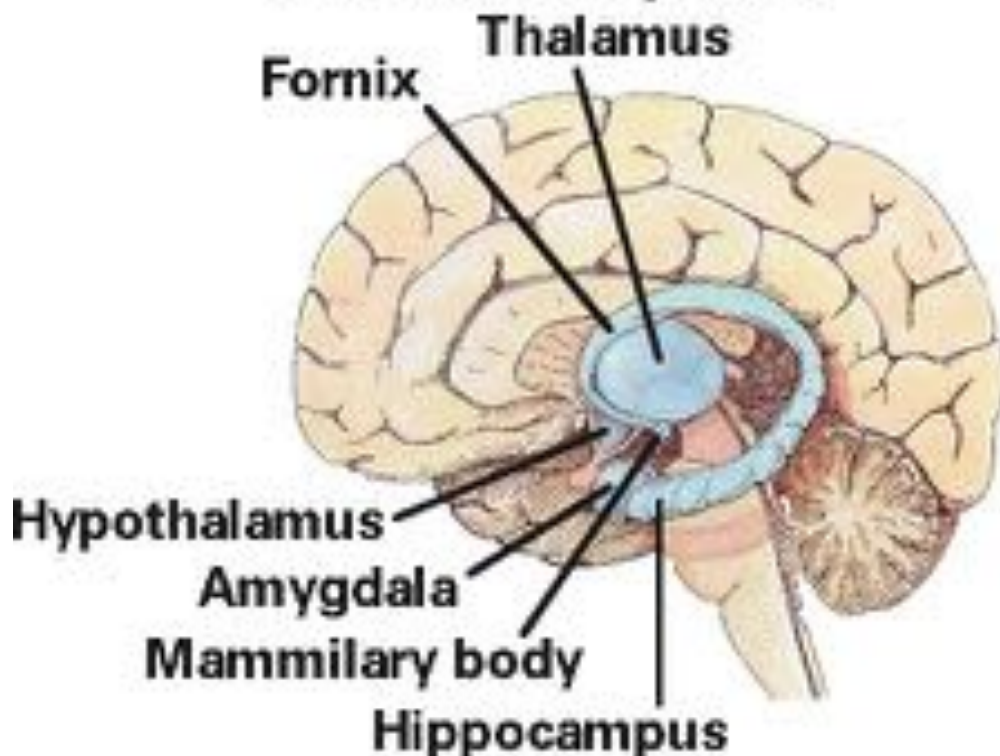
Carlson, N. R. (2005). Foundations of Physiological Psychology (6th Edition). Ed Allyn & Bacon. Boston.

# The Reward Circuit



<http://www.personal.psu.edu/afr3/blogs/siowfa12/the-reward-circuit-nucleus-accumbens-ventral-pallidum-ventral-tegmental-area-and-amygdala.jpg>

## The limbic system



<https://i.pinimg.com/736x/69/b6/23/69b623fb2196982d1d0bbea025cd758a.jpg>