



# PATOFYZIOLÓGIA BOLESTI

---



**Algeziologická klinika SZU  
FNsP F.D.Roosevelta, Banská Bystrica**

**Igor Martuliak**

**↗ CEEA Košice, 2019**



# SPÍNĚVÝ KLOM (SPÍNĚVÝ KLOM)

- 12 párů výšek segmentů:
- 2 neurony
- 12 párů periferních senzitivních axonů
- 12 párů motorických neuronů
- 12 párů motorických neuronů (WDR, HT)
- 12 párů motorických neuronů (top-down control)
- 12 párů motorických neuronů



# FYZIOLÓGIA BOLESTI

**nocicepcia: vnímanie potenciálne škodlivého  
(bolestivého) podnetu**

## Proces

- 1. vzniku
- 2. prenosu
- 3. vnímania bolesti



# FYZIOLÓGIA BOLESTI



**Vnímanie bolesti (nocicepcia) je komplexný dej analogický vnímaniu a spracovávaníu ostatných vnemov z tela a jeho okolia – introceptívnych i zmyslových (zvuk, obraz, dotyk, teplo a pod.).**

**Je zložený z viacerých procesov spojených s**

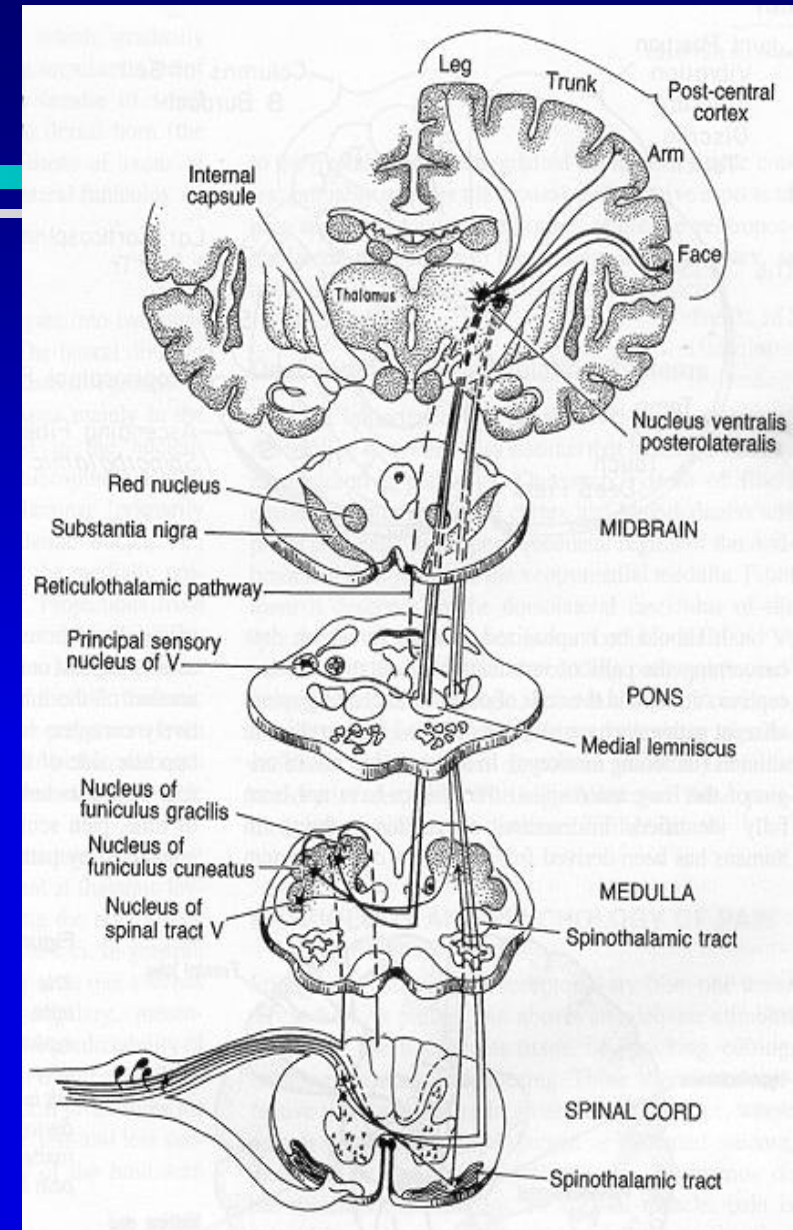
- **pôsobením podnetu na organizmus**
- **registráciou podnetu v CNS**
- **spracovaním podnetu do skutočného vnemu, ktorý vieme (zo skúsenosti) definovať v podobe konkrétného obrazu o udalosti**
- **s vyhodnotením vnemu: ako príjemný, nepríjemný, neutrálny, škodlivý, osožný a pod.**



# FYZIOLÓGIA BOLESTI

Vnímanie bolesti a reakcia na ňu  
pozostáva zo 4 fáz:

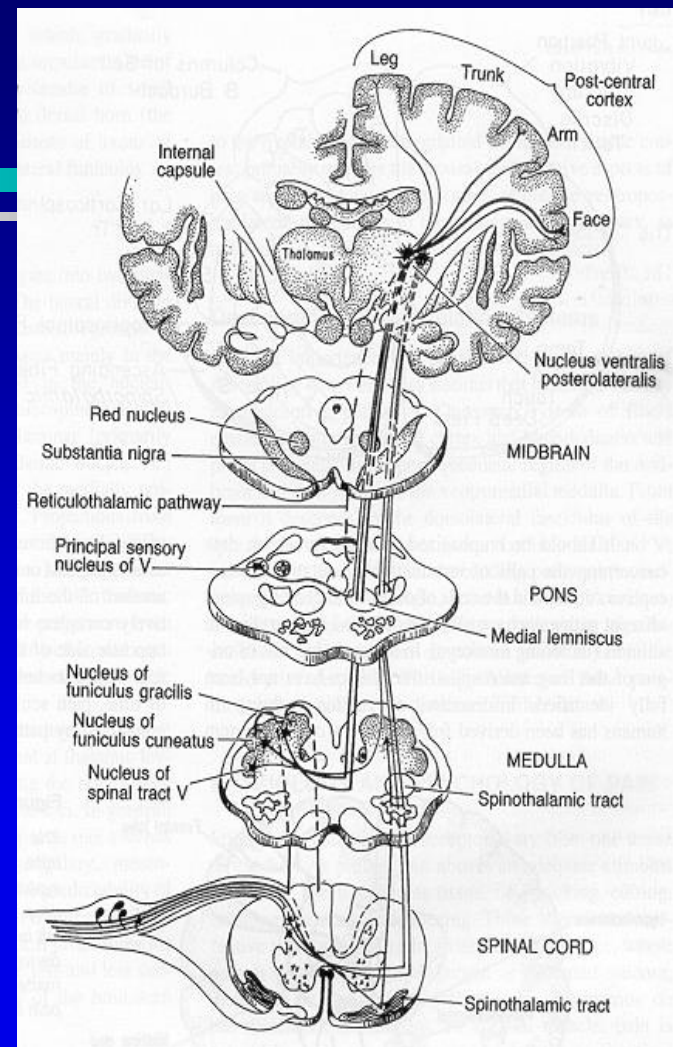
- 1. transdukcia
- 2. transmisia
- 3. percepcia
- 4. modulácia



# FYZIOLÓGIA BOLESTI

Vnímanie bolesti a reakcia na ňu pozostáva zo 4 fáz:

1. **transdukcia**: biochemické a fyzikálne podnety vedúce k vzniku bolestivého impulzu (neurogénny zápal)
2. **transmisia**: prenos bolestivého impulzu do mozgu
3. **percepcia**: spracovanie bolestivých impulzov a vznik komplexného vnemu bolesti v CNS
4. **modulácia**: regulačné mechanizmy prenosu bolestivých impulzov a procesu vnímania bolesti



# 1. TRANSDUKCIA - VZNIK BOLESTI

Illustration of pain pathway,  
from [René Descartes](#)'s  
*Treatise of Man*



**Transdukcia** = prevod vonkajšieho podnetu  
(informácie) na elektrickú aktivitu nervových buniek

Didakticky je **ukončená vznikom akčného potenciálu** a začatím transmisie bolestivého signálu, obidva schématicky oddelené **procesy však prebiehajú súčasne a kontinuálne**

- ide o komplex biochemických a bunkových dejov nazývaných „chemický“ – „sterilný“ – „neurogénny“ zápal
- výsledkom je zmena chemizmu postihnutého tkaniva – **tkanivová, lokálna acidóza** – ako podklad vzniku zmien na membráne nervových zakončení neurónov (zmena koncentrácie iónov)





# TRANSDUKCIA - PODNETY

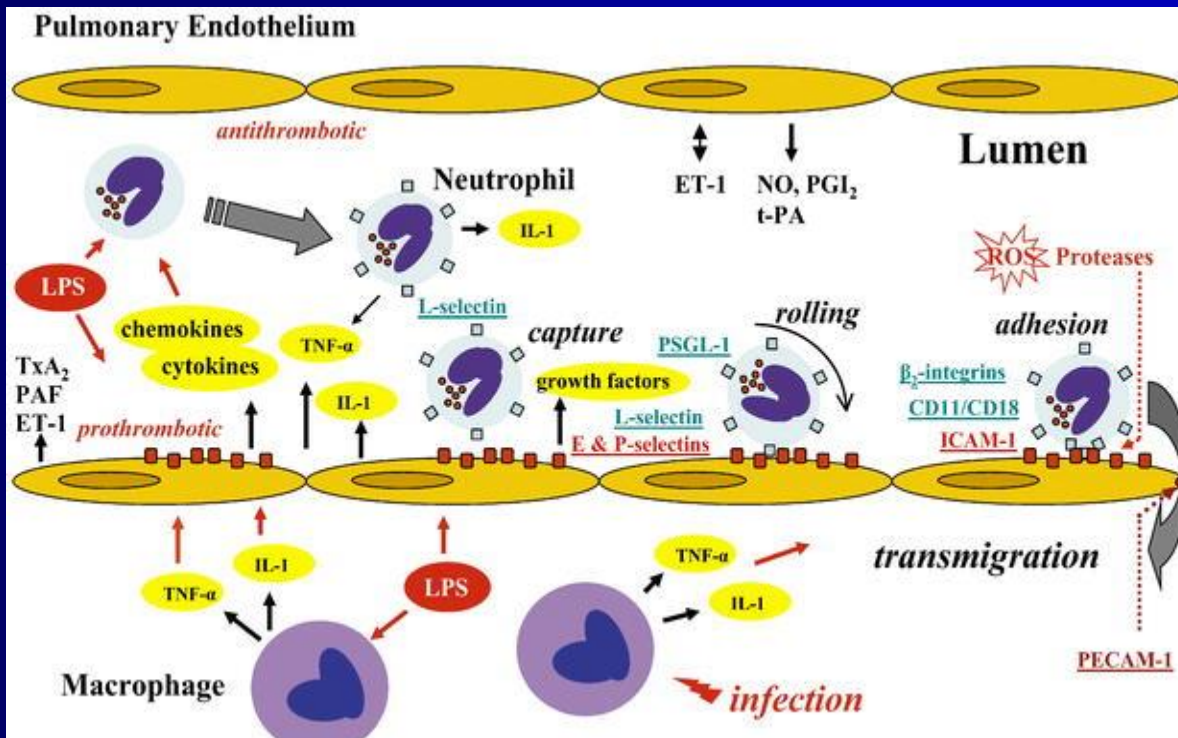
- **externé** : mechanické, termické, ...
- **interné** : chemické - „mediátory zápalu (bolesti)“

## Mediátory bolesti:

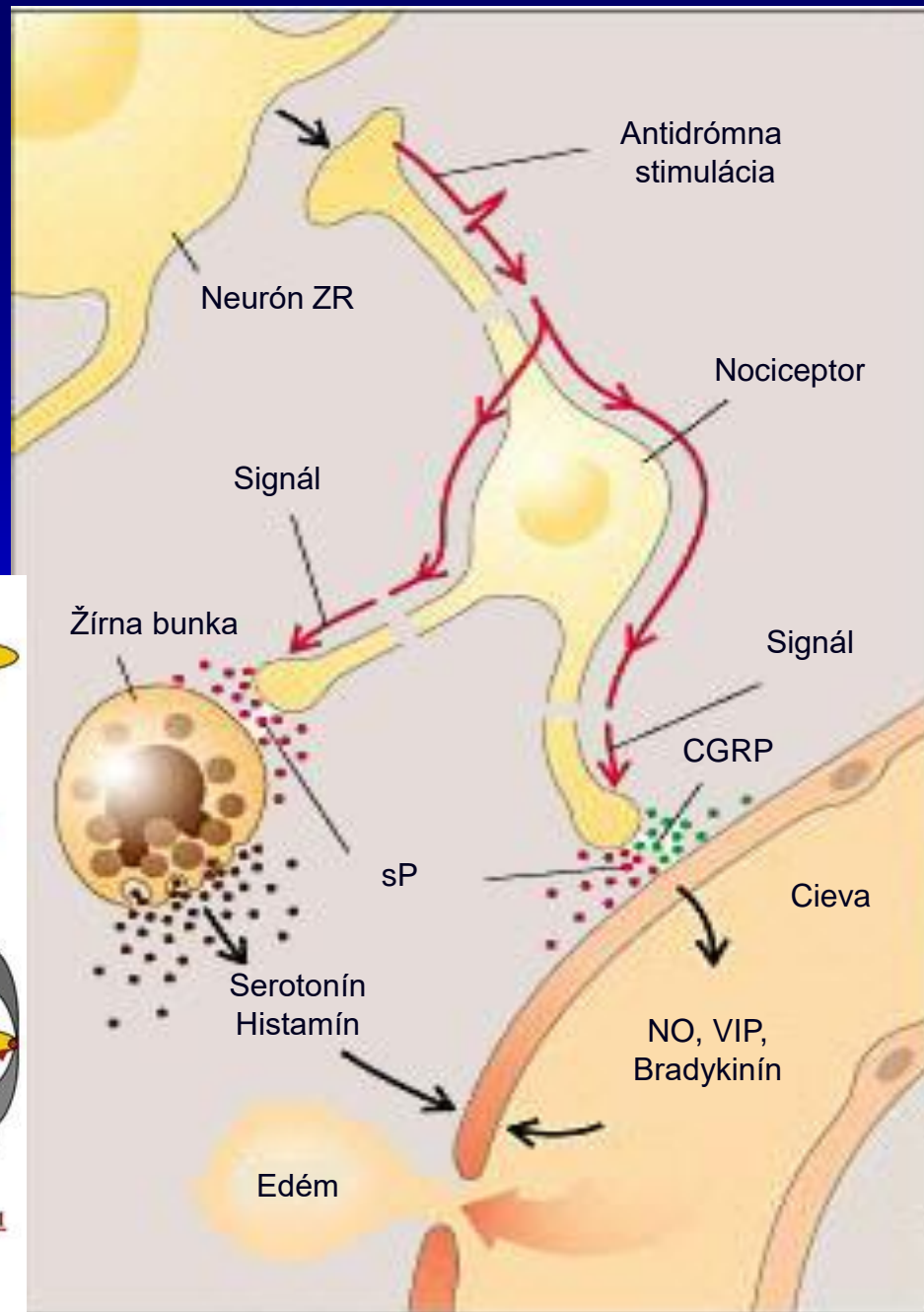
- kys.arachidonová, prostaglandíny (E2,...), NGF,
- draslík, sodík, kalcium, horčík, vodík,
- **excitačné**: histamin, bradykinin, substancia P, VIP, glutamát, aspartát, interleukíny, somatostatin, CGRP...
- **inhibičné**: GABA, glycín, serotonin, noradrenalin, endogénne opiáty, ...

# poškodenie tkaniva: **STERILNÝ ZÁPAL**

= všeobecná, univerzálna  
odpoveď organizmu na  
akékoľvek poškodenie



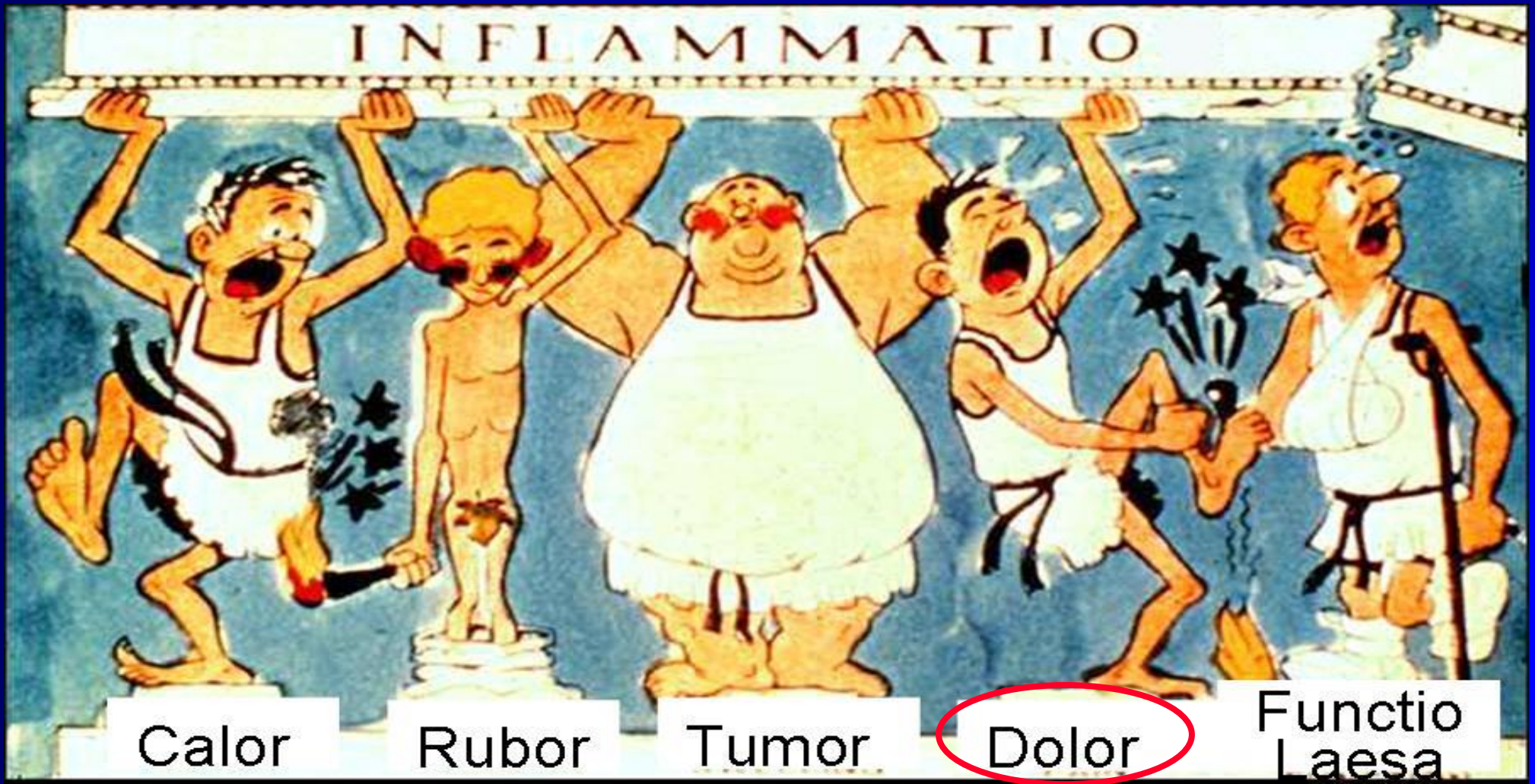
(Orfanos, Mavrommati et al. 2004)



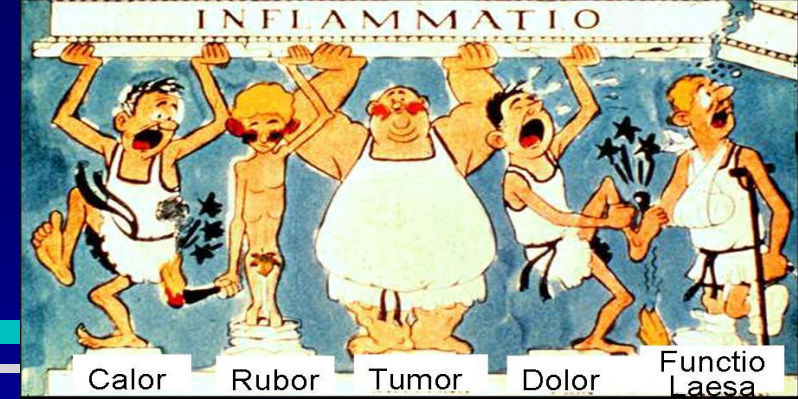


# STERILNÝ ZÁPÁL

4 „Celzove znaky“: Calor, Rubor, Tumor, Dolor, +  
Functio laesa



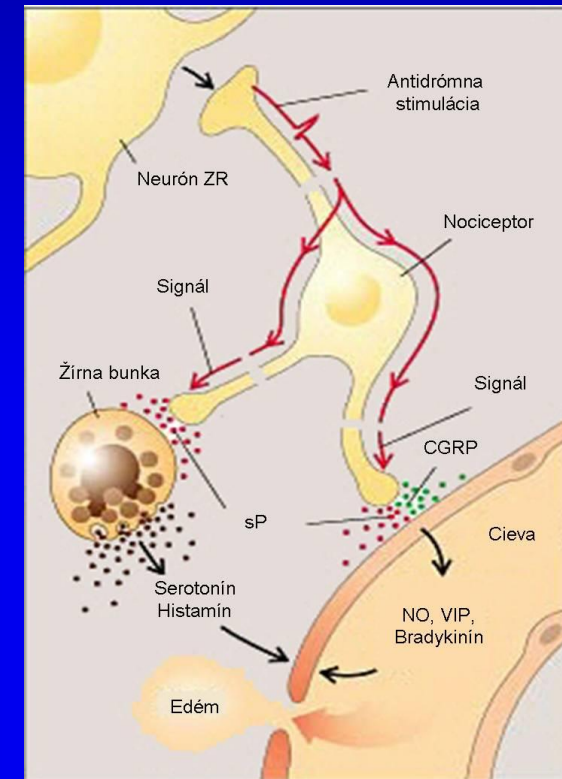
# STERILNÝ ZÁPAL



= kaskáda biochemických dejov uvoľňovania mediátorov

s klinickým efektom vzniku 5 celziových znakov:

- **rubor** – vazodilatácia, poruchy cirkulácie
- **tumor** – chemotaxia imunitných buniek a extravazácia tekutín
- **calor** – aktivácia TRPV1 receptorov
- **dolor** – dráždenie a scitlivenie nociceptorov
- **functio laesa** – výsledok predchádzajúcich dejov (poškodenie tkaniva)





# STERILNÝ ZÁPAL



= „zápalový guláš“ („inflammatory soup“):

**kaskáda uvoľňovania mediátorov**

- mediátory z poškodených tkanív
- mediátory z endotelu ciev
- mediátory z imunitných buniek
- mediátory z senzitívnych vlákien (vrátane sympatikových)

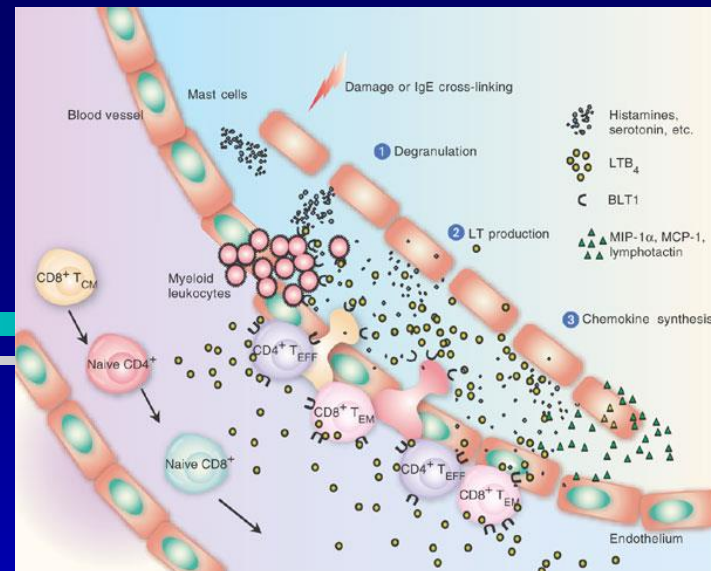
**Mediátory aktivujú, resp. senzitizedujú aferentné vlákna** a to prostredníctvom **zmien iónových kanálov**, ktoré aktivujú

- ❖ cez **kaskádu intracelulárneho druhého posla** (cAMP,...)
- ❖ **priamo ich obsadením** (menej často)

# STERILNÝ ZÁPAL

„zápalový guláš“ („inflammatory soup“):

- poškodenie buniek tkaniva
- uvoľnenie chemických látok (CGRP, SP, ...)
- zvýšená permeabilita endotelu kapilár
- exsudácia tekutín do perivaskulárneho priestoru
- zvýšenie tvorby metabolitov kys. arachidónovej – leukotriény uvoľňované zo zápalových buniek (LTB<sub>4</sub>, LTC<sub>4</sub>, LTD<sub>4</sub>, LTE<sub>4</sub>)
- zmeny v uvoľňovaní rastových a trofických faktorov
  - uvoľňované chemotaktické látky: iniciujú „zvolávanie“ imunitných buniek – prichádzajú **leukocyty**





# STERILNÝ ZÁPAL

## - zmeny na membráne nervových zakončení

### poškodenie tkaniva:

- zmeny v koncentrácii  $H^+$ , serotonínu, neuropeptidov, ...
- **tkanivová, lokálna acidóza** – ako podklad vzniku zmien na membráne nervových zakončení neurónov
- zmeny napätia a excitability na membráne neurónov
- **vzniká akčný potenciál**
- **aktivácia membránových receptorov** – influx  $Ca^{++}$  a aktivácia cAMP („second messenger“)
- i.c. **fosforylácia proteínov** kinázami
- **expresia génov a syntéza proteínov** – ako **stavebných látok** receptorov, mediátorov, synaptických štruktúr,...



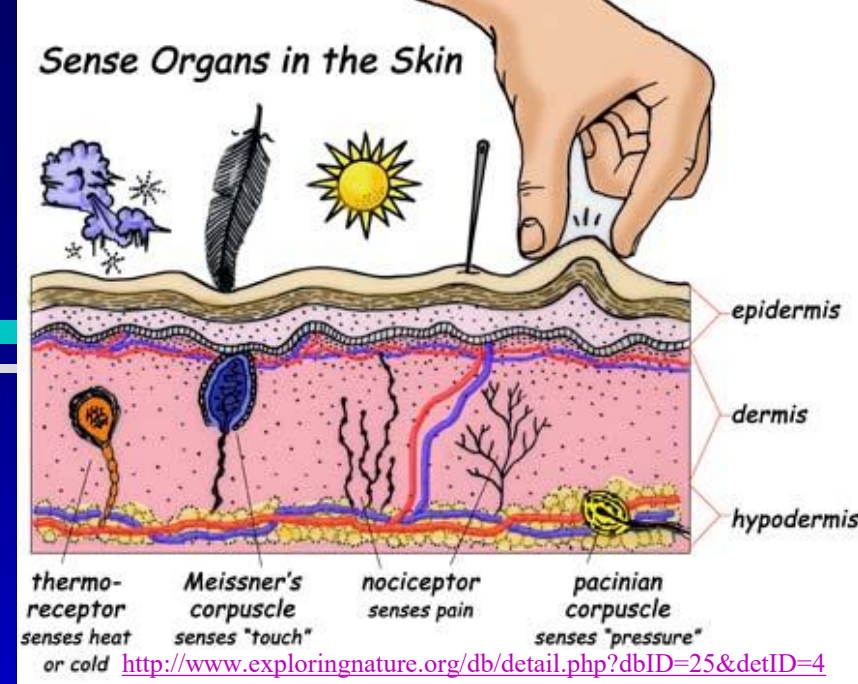
# TRANSDUKCIA - RECEPTORY

- mechanoreceptory

- polymodálne receptory

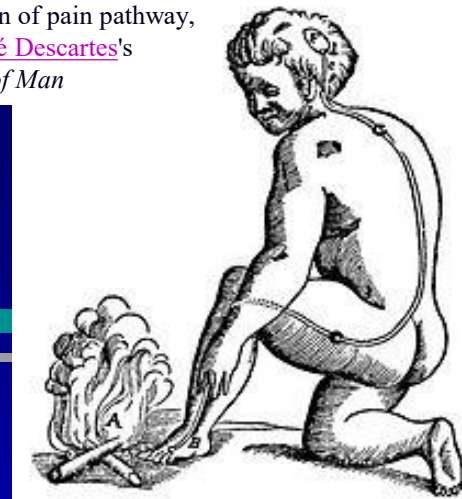
- **tlak, vibrácia** – Paciniho telieska
- **tlak, dotyk** – Meissnerove telieska a Merkelove disky
- **teplo** – Ruffiniho teliesko (termoreceptor)
- **chlad** – Krausovo teliesko
- **bolest'** – voľné nervové zakončenia (nociceptory)

**Tiché „Silent“ receptory:** bežne neaktívne, aktivizujú sa v patologických stavoch, (lézia, zápal...)



## 2. TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

Illustration of pain pathway,  
from [René Descartes](#)'s  
*Treatise of Man*



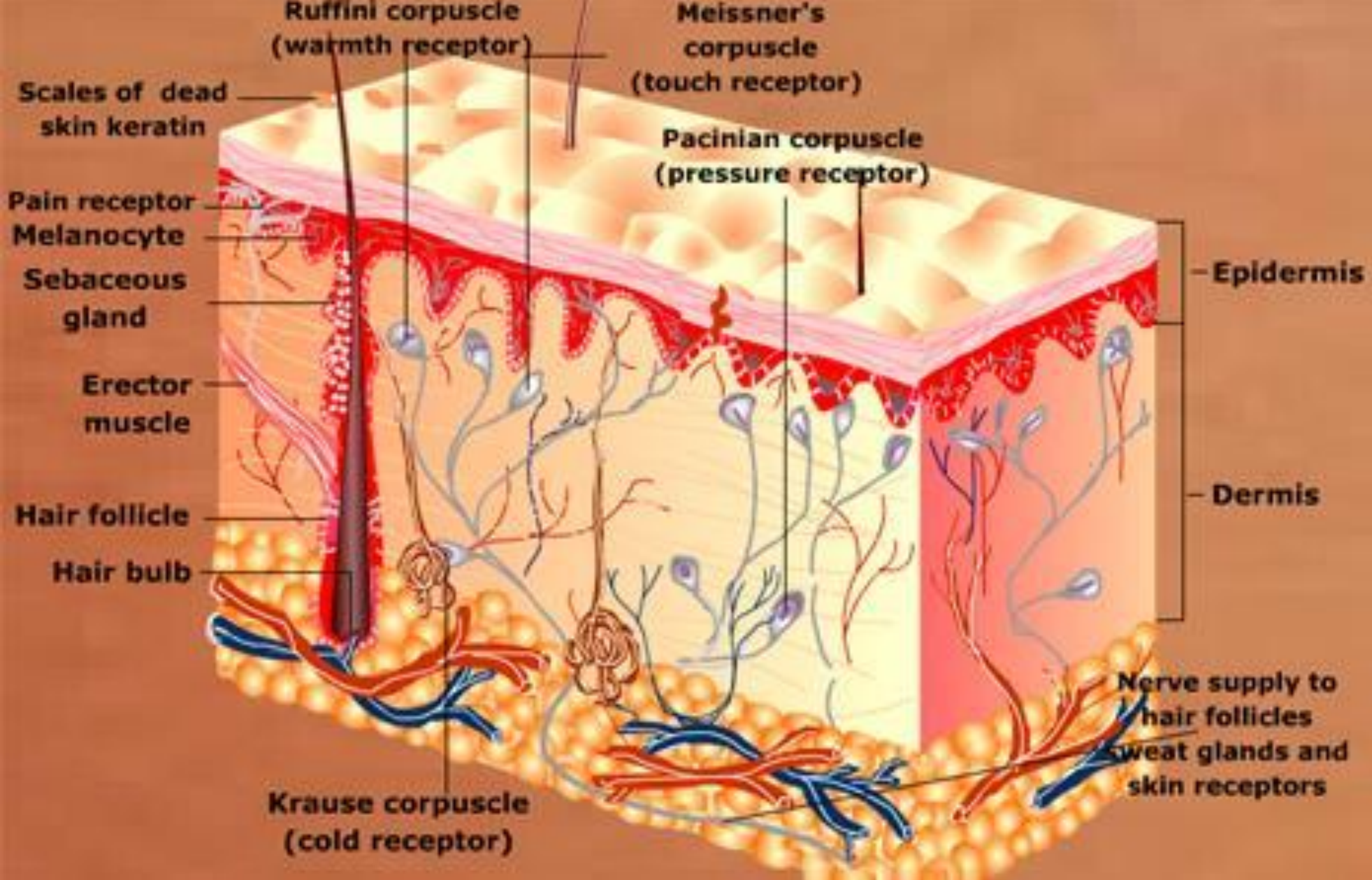
### Transmisia:

- plynulý a kontinuálny následok transdukčných dejov
- vznik elektrickej aktivity a jej prenos po nervovom tkanive

**Prevod** je zaistený funkciou proteínových **iónových kanálov**, ktoré sú aktivované len **určitým typom podnetu** nadprahovej intenzity

= **transdukčné iónové kanály na senzorických neurónoch** – napr. TRP (transient receptor potencial) kanály



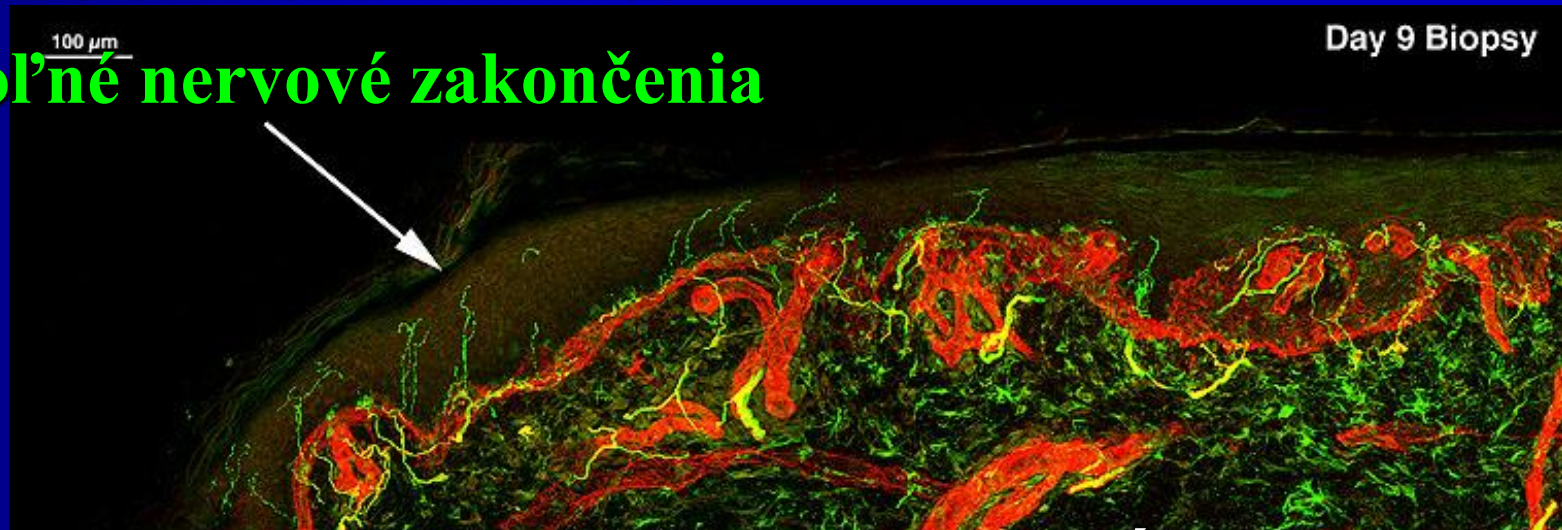


## 2. TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

### Receptory bolesti: NOCICEPTORY

= neuróny odpovedajúce na škodlivé (bolestivé) podnety s ich konverziou na elektrickú aktivitu.

anatomicky: **voľné nervové zakončenia**



- **kožné**
- **somatické** (svaly, šľachy, kosti, periost, fascie, kĺby...)
- **viscerálne** (orgány dutiny brušnej a hrudnej)

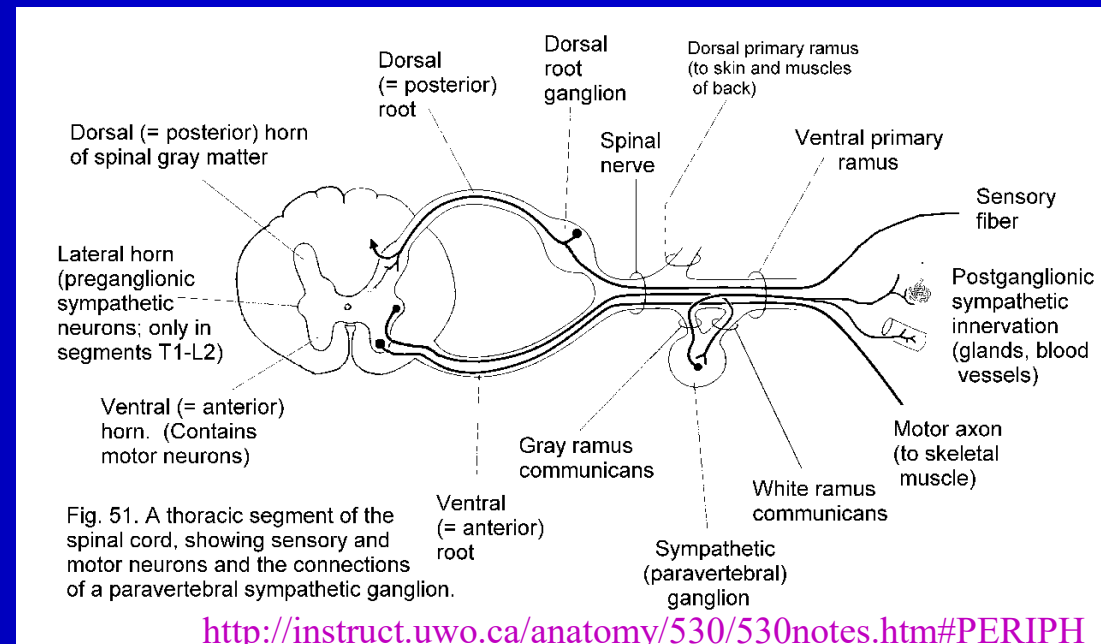
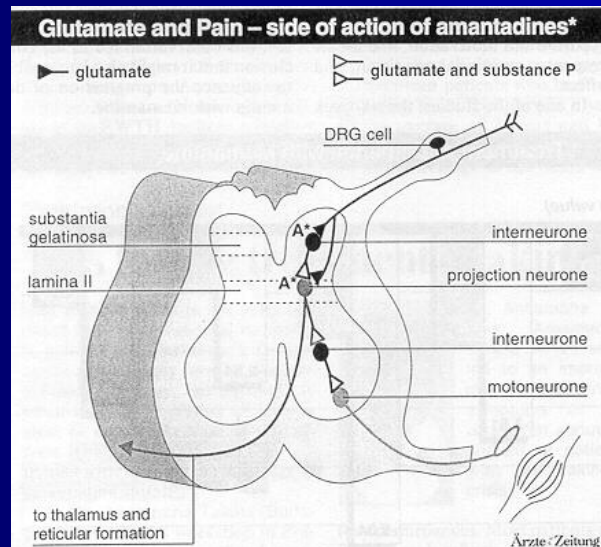


## 2. TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

**Dráha bolesti:** anatomicky definované vedenie nociceptívnych, neuropatických i zmiešaných impulzov

- pre rôzne typy vnemov sú rôzne druhy dráh

**Vlákná C a A-delta** sú špecifickými dráhami idúce z voľných nervových zakončení





## 2. TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

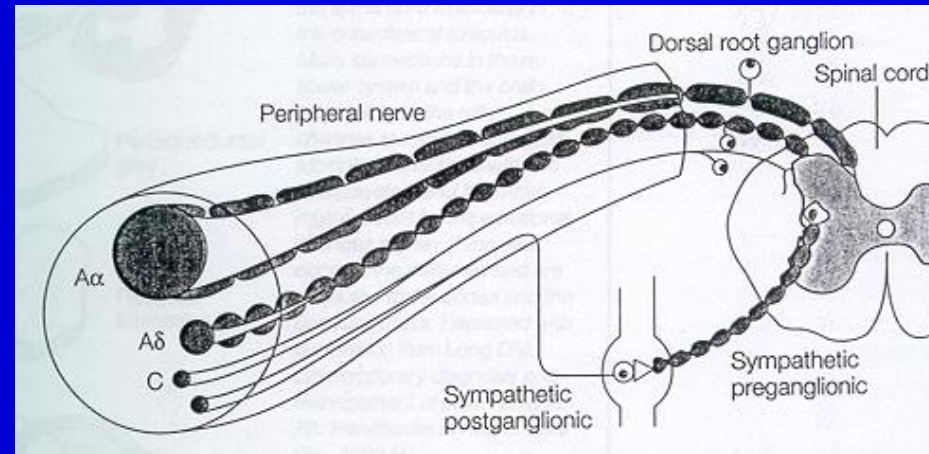
### Nervové vlákna:

**A - delta:** hrubé rýchle vlákna,  
myelinizované  
= 7-14 m/s

- rýchla ostrá zložka bolesti
- reflexná odpoveď

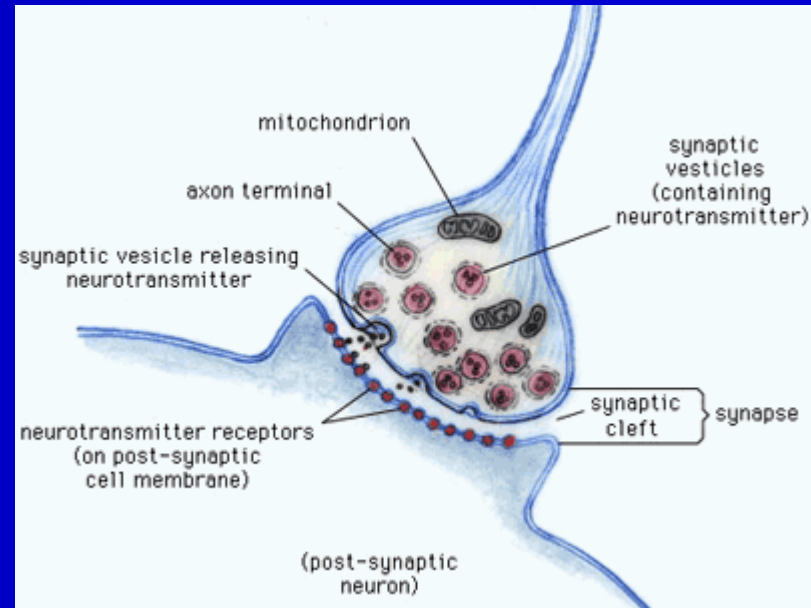
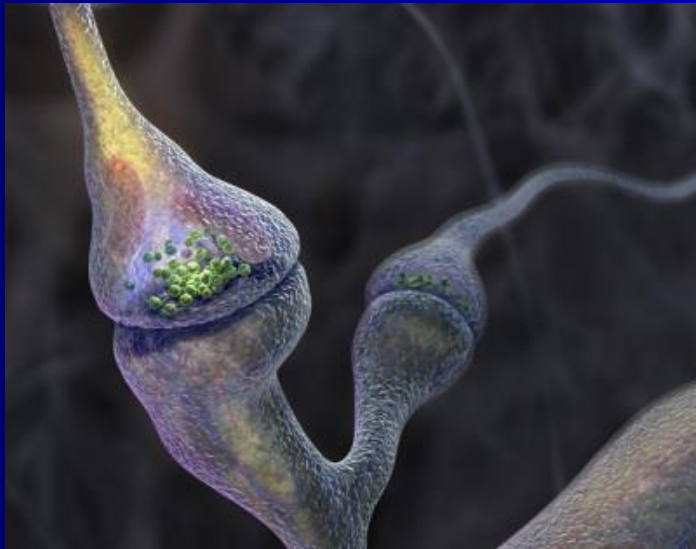
**C** - tenké, pomalé vlákna  
nemyelinizované  
= 0,5-3,5 m/s

- tupá pomalá zložka bolesti
- protopatická citlivosť

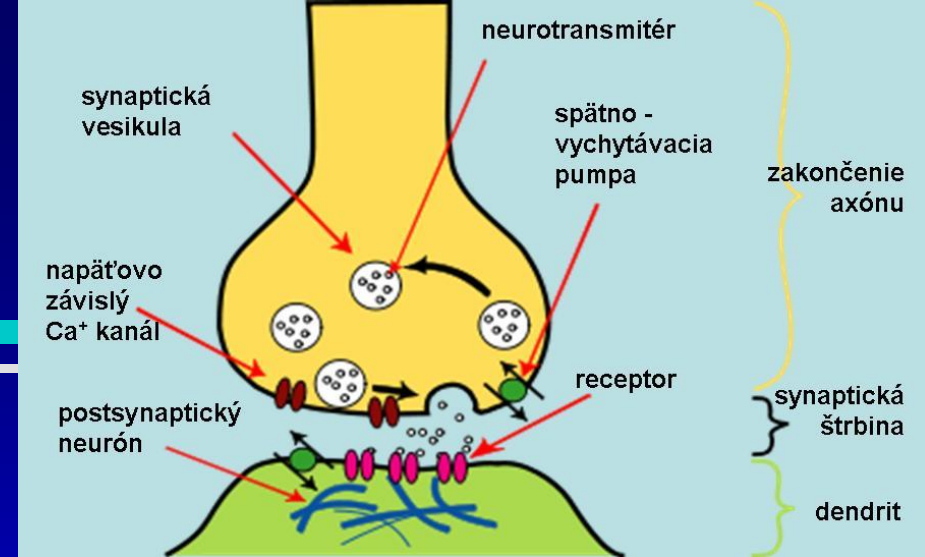


# SYNAPSY- DELENIE

- synapsy klasické - prenášajú informáciu s **krátkotrvajúcim efektom** z presynaptického neurónu na cieľovú bunku
- synapsy neuromodulačné – prenášajú informáciu s **dlhotrvajúcim efektom** na postsynaptickú metabolickú aktivitu neurónu



# SYNAPSY- DELENIE



## ➤ synapsy klasické - krátkotrvající efekt (10 - 100 ms)

- **excitačné synapsy** - prechod iónov vedie k vzniku depolarizácie a nárastu AP

- **inhibičné synapsy** - prechod jónov vedie k vzniku hyperpolarizácie a poklesu AP

## ➤ synapsy neuromodulačné - dlhotrvající efekt (stovky ms až hodiny)

- môžu byť v stave **excitácie alebo útľmu** podľa typu neuromediátora, ktorý sa na synapse uvoľní

- **výsledný postsynaptický AP** je obvykle **slabý a pomalý**

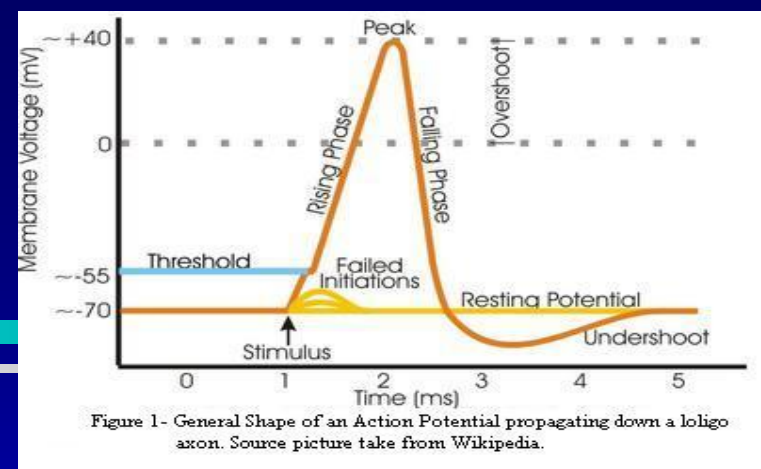


# NEUROTRANSMITÉRY - ÚČINKY

- **Glutamát** - na väčšine rýchlo **excitujúcich synáps** CNS, a na tzv. **modifikovateľných synapsách** (zvýšenie či zníženie koncentrácie) = hlavné **pamäť udržujúce prvky** v mozgu
- **GABA** - na väčšine rýchlo **inhibujúcich synáps** v mozgu. Sprostredkuje účinok mnohých sedatív. Recipročne je inhibičným transmitérom **v mieche glycín**.
- **Acetylcholín** – hlavný transmitér **na nervosvalovom spojení**, blokovaný kurare. Pôsobí aj v mozgu (cez iné receptory)
- **Dopamín** – veľa dôležitých funkcií v mozgu, kľúčová úloha v systéme regulácie **správania sa, radosti a odmeny**. Narušenie – podklad Parkinsonizmu a schizofrénie.
- **Serotonín** – syntetizovaný **väčšinou v čreve** (až 90%), zvyšok **v CNS**. Reguluje chuť do jedla, spánok, pamäť a učenie, náladu (depresia?), správanie, teplotu, svalové kontrakcie, činnosť KVS a endokrinného systému.
- **Substancia P** – **transmisia bolesti** z niektorých senzitívnych neurónov do CNS



# AKČNÝ POTENCIÁL



**Akčný potenciál (AP - „nervový impulz“)**

je **lokálna a prechodná zmena membránového potenciálu**, ku ktorej dochádza predovšetkým na bunkovej membráne neurónov a svalových buniek.

**Príčinou** tejto náhlej zmeny je **otvorenie sodíkových kanálov**, čo má za následok rýchle **vtekanie sodíkových jónov** ( $\text{Na}^+$ ) do bunky po koncentračnom spáde.

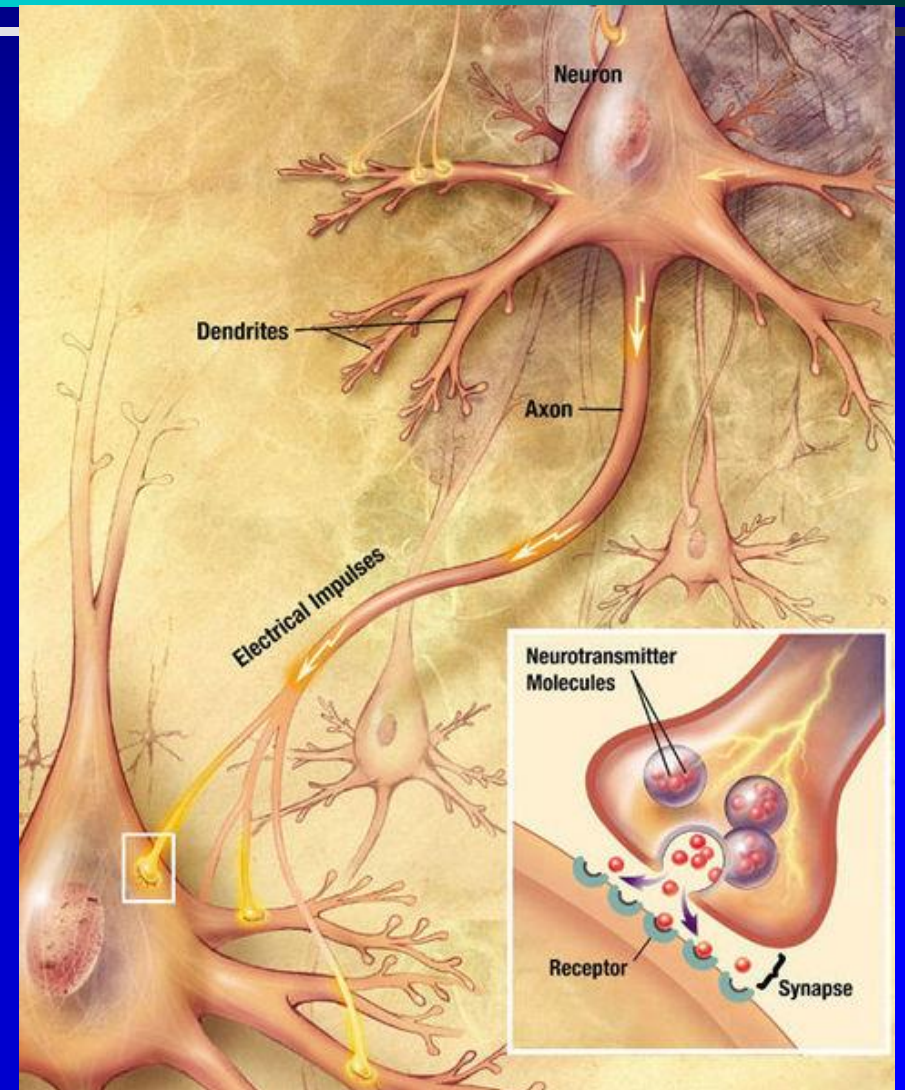
AP sa v axónoch nervov **prenáša na dlhé vzdialenosti** a vo svaloch spôsobuje **svalový st'ah**.



# TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI



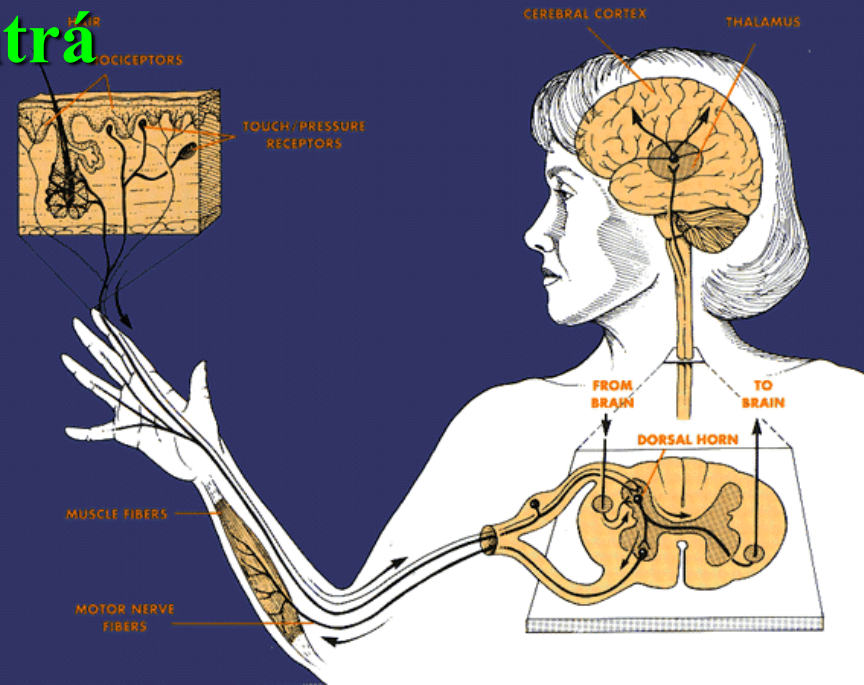
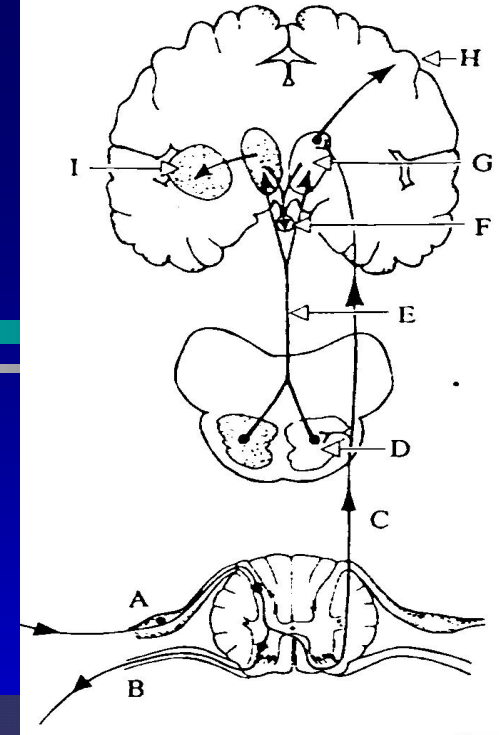
Illustration of pain pathway, from [René Descartes](#)'s *Treatise of Man*



# TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

## 3- neurónová dráha:

- 1. neurón: periférny nerv  
= z periférie do miechy  
= zadné rohy miechy, interneuróny
- 2. neurón: miecha → podkôrové centrá
- 3. neurón: prepojenie rôznych  
štruktúr mozgu vzájomne  
= podkôrové centrá  
= kôra (gyrus postcentralis,  
insula, cingulum, ...)  
+ descendentné inhibičné dráhy



# TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

## 3- NEURÓNOVÁ DRÁHA:

1. periférny nerv = z periférie do miechy

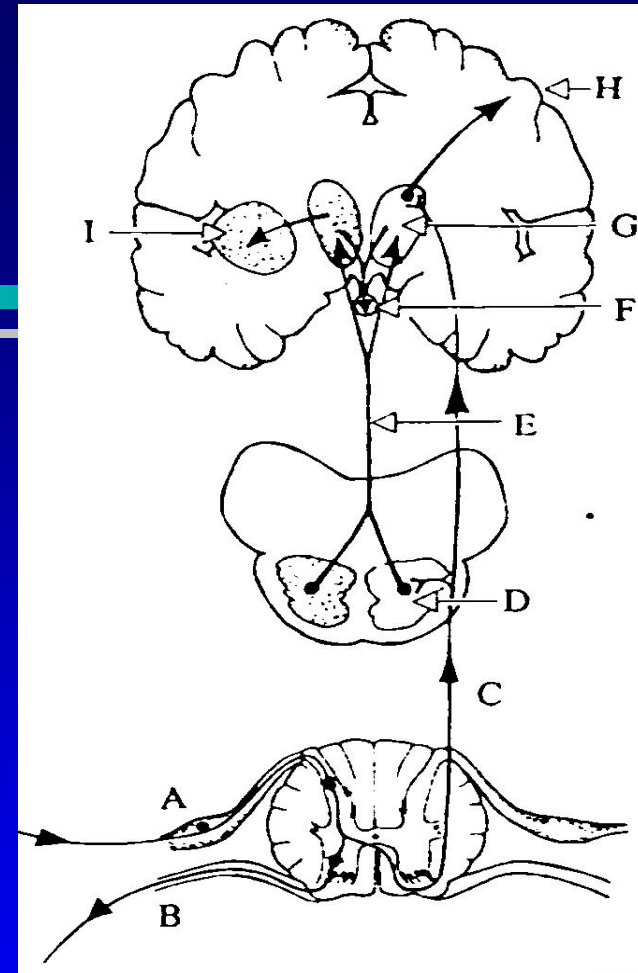
→ **zadné rohy miechy**

➤ synaptické prepojenia na ďalšie neuróny  
= na 2. miechový neurón dráhy bolesti (tzv.  
projekčný neurón)

- **priamo**

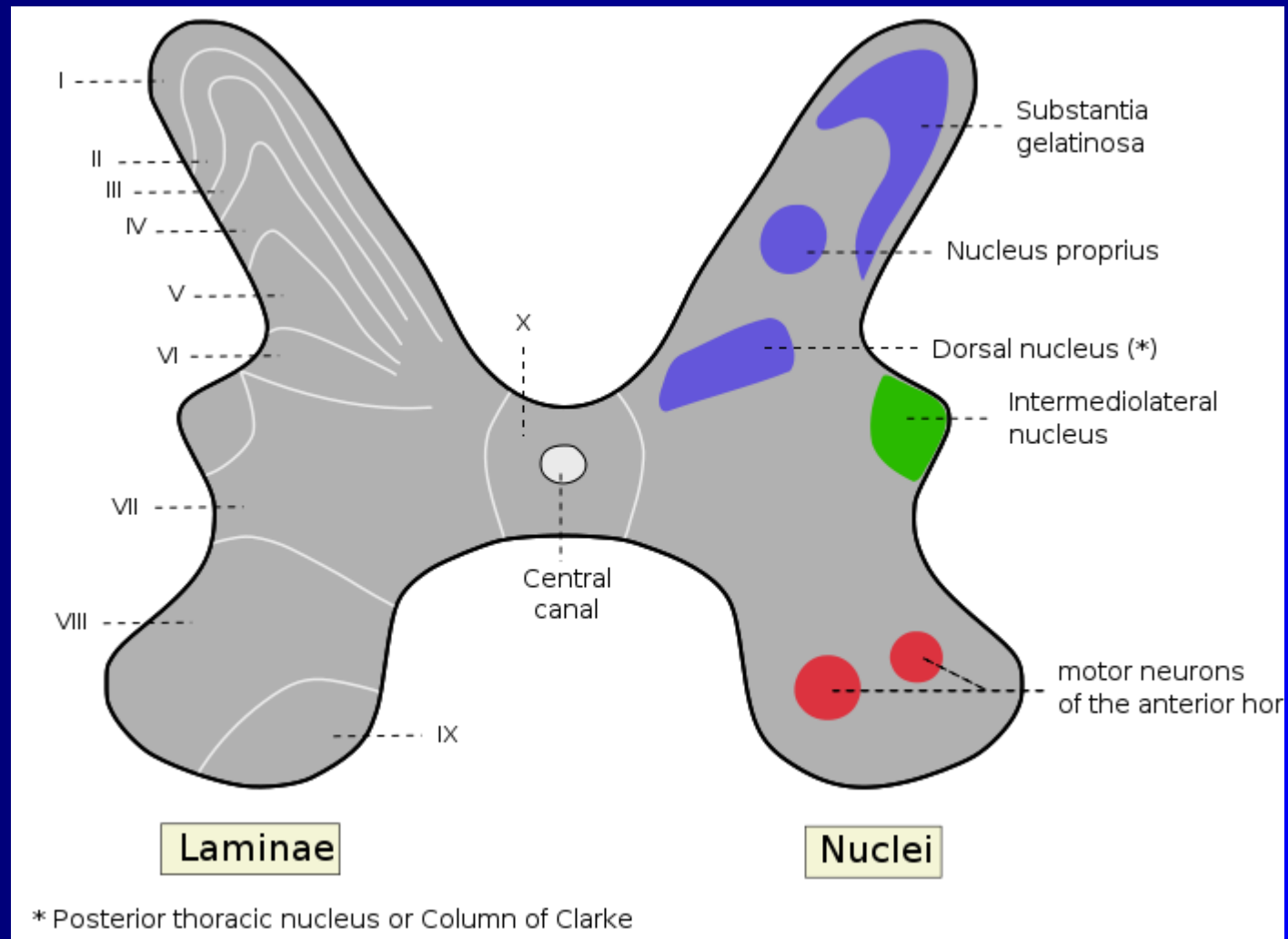
- **cez interneuróny** (inhibičné, excitačné)

= modulácia bolesti





# REZ MIECHOU



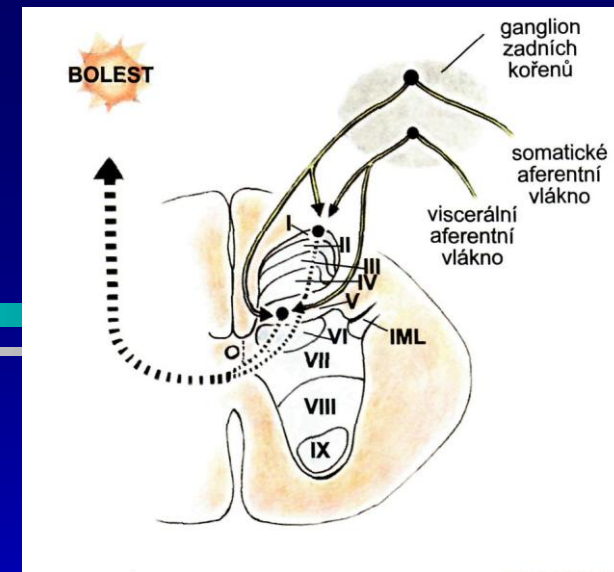
## 2. TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

Zadné rohy miechy:

Rexedove zóny:

- lamina I, II = substantia gelatinosa Rolandi
- lamina I, II, III = nucleus proprius - projekcia akútnej povrchovej bolesti
- lamina V, VII, VIII, X – projekcia hlbokkej viscerálnej bolesti (z proprioceptorov, interoceptorov)

**Z Rexedových zón sa vedie bolesť Lissauerovým traktom**  
zväčša na kontralaterálnu stranu miechy



# TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

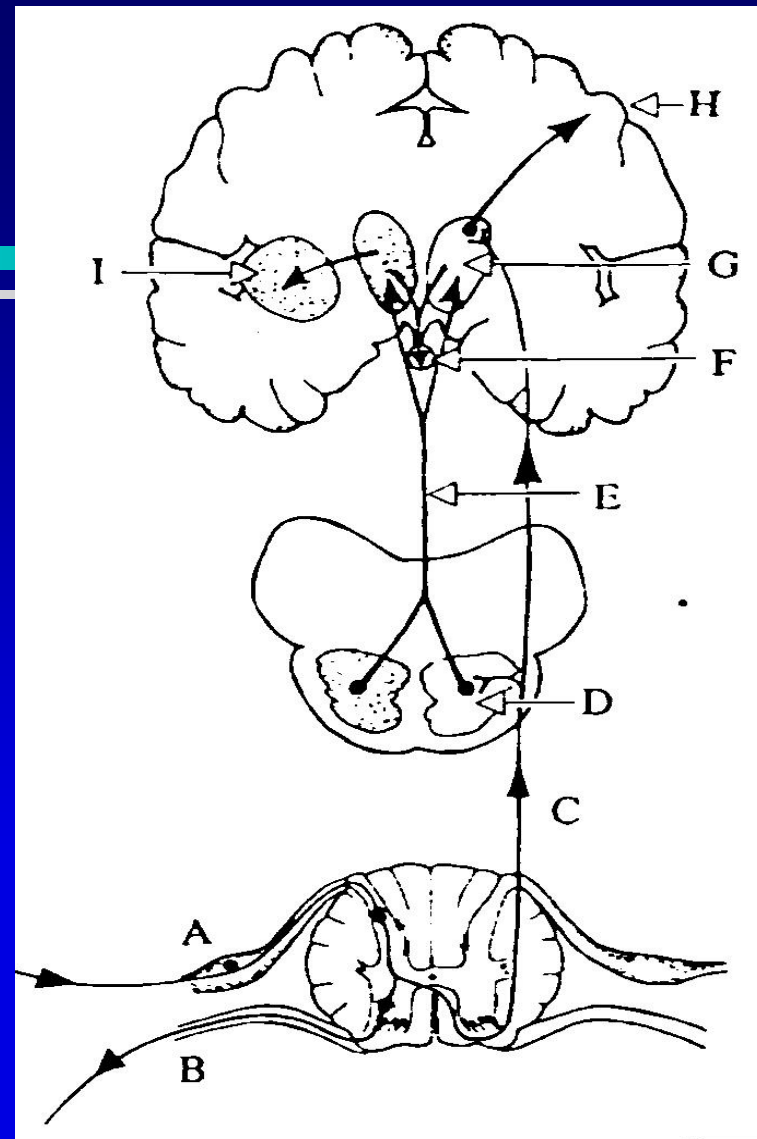
2. neurón: miecha → podkôrové centrá  
neuróny v anatomických a funkčných  
zväzkoch – **dráhy = trakty**

= anterolaterálny traktus

- tr. spino-thalamicus lateralis
- tr. spino-reticulo-talamicus

*novozistené :*

- zadné povrazce
- spino-hypotalamické dráhy
- spino-(trigemino)-parabrachio-amygdaloidné dráhy







# Neurofyziológia nocicepcie v mieche

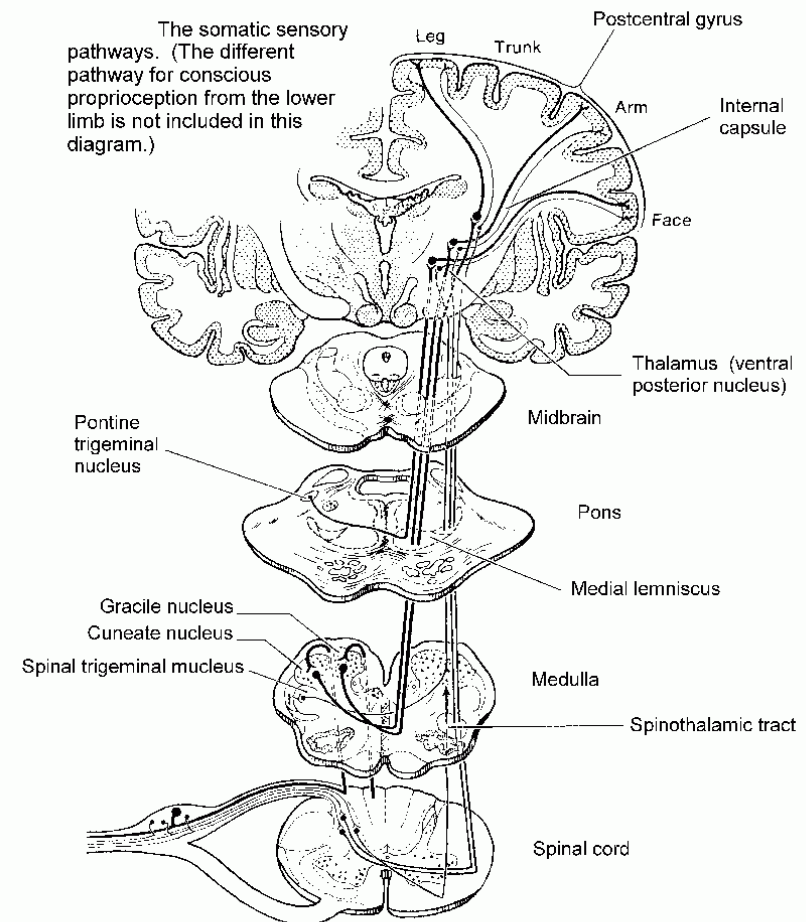
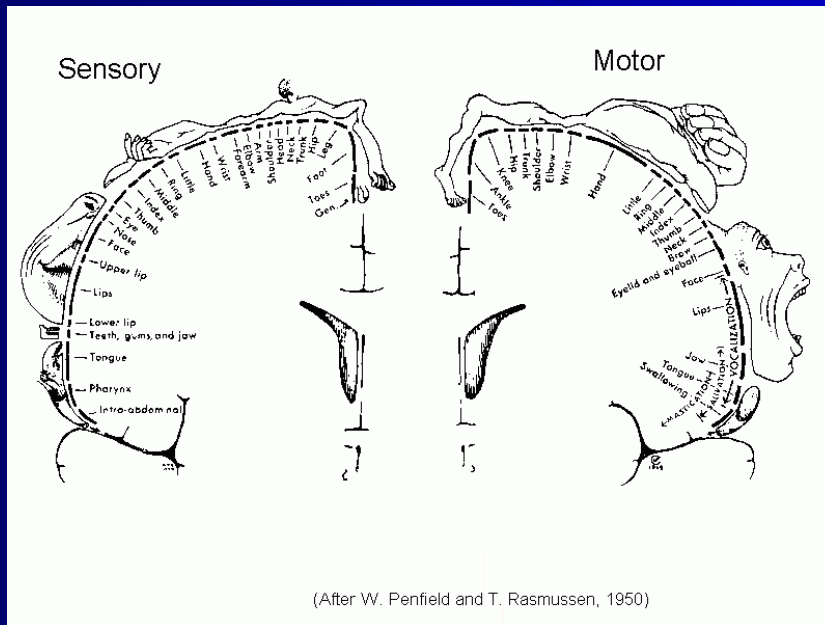
Spinotalamický trakt je u primátov **hlavná dráha zodpovedná za vnímanie bolesti.**

Minimálne dve rôzne skupiny buniek spinotalamického traktu sú zahrnuté do nocicepcie (hoci môžu hrať aj iné úlohy):

- **WDR („širokospektrálne“ - wide-dynamic-range) neuróny** prenášajú **intenzitu bolesti**, ale nie sú vhodné na prenos informácie o priestorovom rozprestretí bolesti, ale naopak, sú veľmi schopné informovať o tzv. **prenesenej bolesti a vyžarovaní bolesti.**
- **vysokoprahové (high-threshold) neuróny** sa zdajú byť veľmi vhodné na prenos **lokalizácie a intenzity** bolestivého stimulu

# TRANSMISIA - VEDENIE BOLESTI

**Spinotalamický trakt aj lemniscus medialis končia v nucleus ventro-posterior talami. Z tohoto jadra vychádzajú spojenia do primárneho somestetického kortexu v gyrus postcentralis, kde sa projikuje kontralaterálna polovica tela ako hore nohami obrátený homunkulus.**



# TRANSMISIA -VEDENIE BOLESTI

## ➤ 3. neurón: prepojenie rôznych štruktúr mozgu

### - podkôrové centrá

talamus

hypothalamus

formatio reticularis

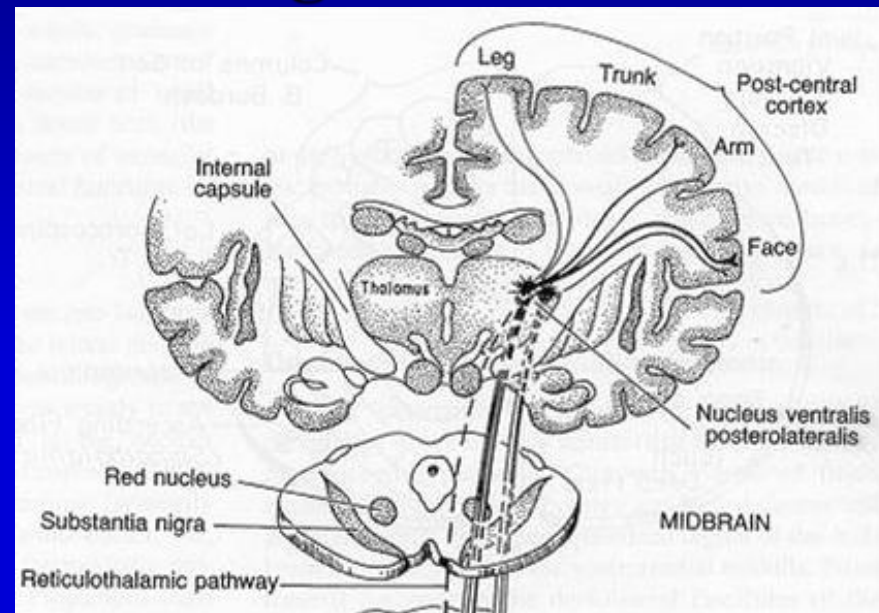
amygdala a limbický systém

### - kôra (= tr. **talamocorticalis**)

gyrus postcentralis (**ostrá zložka**)

gyrus cinguli (**viscerálna zložka**)

### + **descendentné inhibičné dráhy**





# 3. PERCEPCIA BOLESTI



**Vnímanie bolesti a reakcia na ňu = percepcia bolesti:**

- **prísun neutrálnych** (elektrických) **impulzov** (špecifickými dráhami do špecifických centier) **nesúcich informáciu o senzácii** (vneme) z receptora do ústredného spracovávateľa, vyhodnocovateľa (štruktúry CNS) a tým **do vedomia subjektu**
- **vnem** (podnet) môže byť **o bolesti, alebo o dotyku, tlaku, teple, chlade, vibrácii** (z kožných či hlbokých receptorov), ale aj **o zraku, sluchu, chuti** (zo zmyslových receptorov) a pod.
- akýkoľvek vnem je **spracovaný a vyhodnotený až v CNS** – v mozgu
- **proces percepcie je spojený so subjektívnou skúsenosťou** - s pamäťou, s emóciami, s polaritou (dobré – zlé), s odhadom následkov, s perspektívou,...



# PAIN MATRIX

**Bolest' je komplexná skúsenosť** pozostávajúca z dimenzie:

- **senzoricko-diskriminatívnej**
- **afektívno-motivačnej**
- **kognitívno-vyhodnocovacej**

Táto **informácia o bolesti** je **spracovávaná v mozgu** zložitou, široko distribuovanou, hierarchicky prepojenou **neurónovou sieťou**, tzv. “**neuromatrix**“.

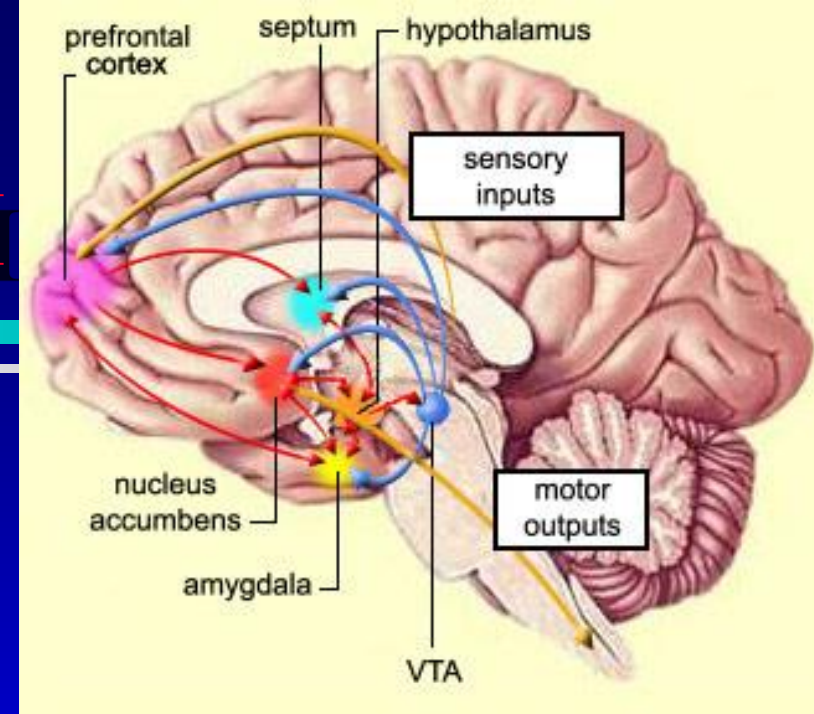
**neuronálna sieť**: **spojenia medzi ACC, inzulou a okruhom amygdala-hippokampus-prefrontálny kortex** vytvára neuronálnu sieť, v ktorej sú **integrované strach, pamäť a ďalšie informácie** spojené s bolesťou

# PERCEPCIA = VNÍMANIE BOLESTI

**Bolest'** ako komplexný nepríjemný  
vnem **vzniká v mozgu**

**Spolupráca viacerých centier:**

- **talamus (= brána bolesti)** – mediálny: **emočné aspekty** (utrpenie, úzkosť, strach, depresia,...)
  - laterálny a zadný: **lokalizácia, trvanie, intenzita**
- **senzorický kortex** – **intenzita a lokalizácia**
- **limbický systém** – vyjadrenie **emócií a pamäť** bolesti
- **d'alšie oblasti CNS...**







# PERCEPCIA – VNÍMANIE BOLESTI

[http://www.jfmed.uniba.sk/fileadmin/user\\_upload/editors/PatFyz\\_Files/  
Prednasky\\_v\\_anglictine/06Pain\\_-\\_08.ppt# 266,14,Snímka 14](http://www.jfmed.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/PatFyz_Files/Prednasky_v_anglictine/06Pain_-_08.ppt#266,14,Snímka14)

Hanáček 2008

➤ **talamus, senzitívny kortex:**

= popis a lokalizácia bolesti

➤ **mozgový kmeň, talamus a retikulárna formácia:**

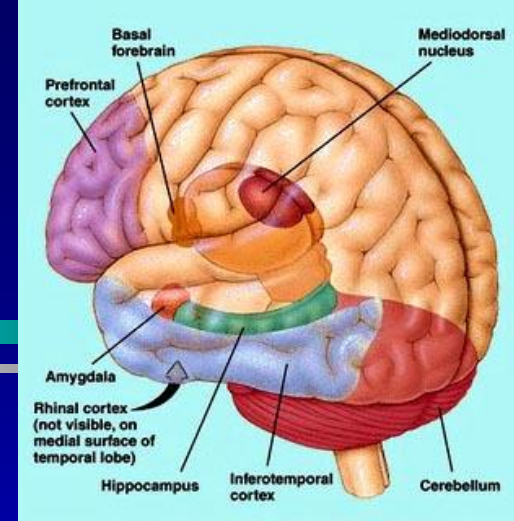
= pociťovanie tupej pomalej zložky bolesti a difúznej bolesti

➤ **retikulárna formácia a limbický systém:**

= kontrola emočnej a afektívnej odpovede na bolesť

Nakoľko je **kortex, talamus a mozgový kmeň prepojený s hypothalamom a autonómnym nervovým systémom, percepcia bolesti je spojená s autonómnou reakciou**

# PAIN MATRIX



- laterálny systém bolesti (VPL talamus, somatosenzorický kortex) je zahrnutý viac do senzitívne-diskriminatívnej časti vnímania bolesti, slúžiaci schopnosti analyzovať miesto, intenzitu a trvanie podnetu,
- mediálny systém bolesti (ACC, kôra inzuly a prefrontálny kortex) je viac zodpovedný za vnímanie afektívne-motivačnej časti umožňujúcej nárast nepríjemného charakteru bolesti

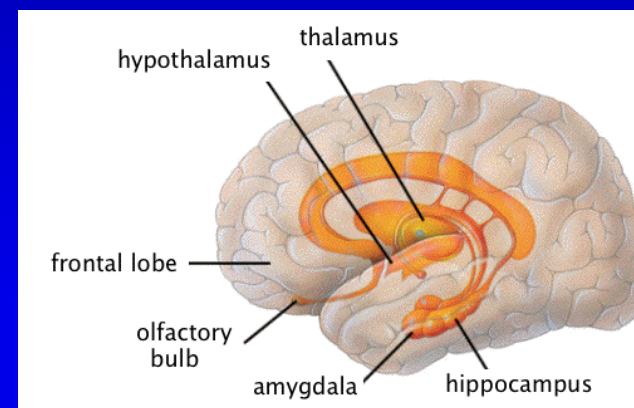
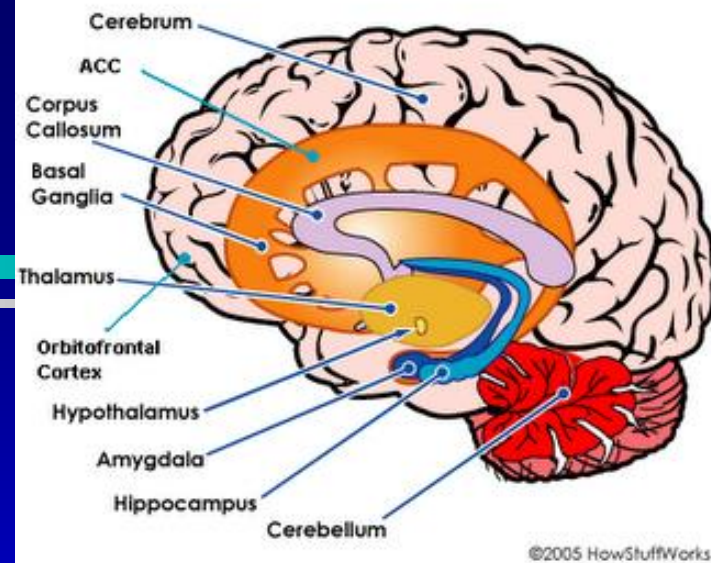
[http://www.sportsphysionorthsydney.com.au/chronic\\_low\\_back\\_pain.php#PainMotorControl](http://www.sportsphysionorthsydney.com.au/chronic_low_back_pain.php#PainMotorControl)

➤ Bushnell MC, Apkarian AV. Representation of pain in the brain. In: McMahon SB, Koltzenburg M Ed. Wall and Melzack's Textbook of Pain, 5th edition. China: Elsevier Ltd., Churchill Livingstone, 2006, 107-124. [4] Rainville P. Brain mechanisms of pain affect and pain modulation. Curr Opin Neurobiol 2002, 12: 195-204.

➤ Willis WD. Nociceptive pathways: anatomy and physiology of nociceptive ascending pathways. Philos Trans R Soc Lond B Bio Sci 1985, 308: 253-268.].

# Limbecký systém

Basal Ganglia and Limbic System



- limbický systém je **komplex štruktúr** ležiacich **po oboch stranách talamu** na spodnej časti mozgu
- **zahŕňa predovšetkým:**
  - ✓ **hypotalamus**
  - ✓ **hippocampus**
  - ✓ **amygdalu**
  - ✓ **d'alšie susedné oblasti**
- **zodpovedný predovšetkým za:**
  - ✓ **emocionálny život**
  - ✓ **formovanie pamäte**

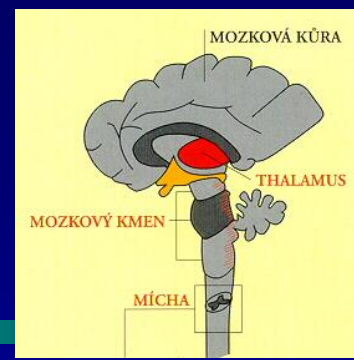
<http://webpace.ship.edu/cgboer/limbicsystem.html>

**„Život nie je to, čo prežívame, ale to čo si pamätáme a ako si to pamätáme!“**



# PAIN MATRIX

## - percepcia bolesti

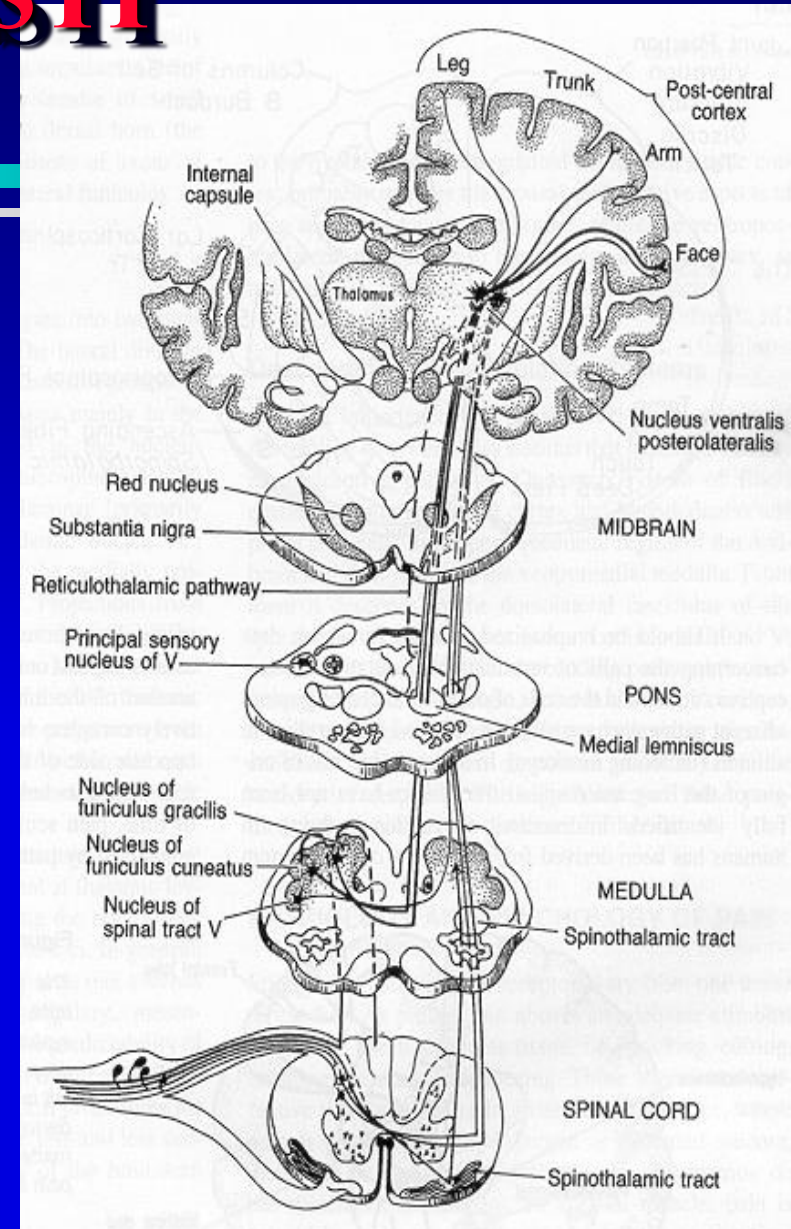


- **amygdala** – zmiernenie strachu, negatívne emócie
- **hippocampus** – integrálna súčasť limbického systému negatívne emočné aspekty bolesti
- **ACC (Anterior Cingulate Cortex)** - afektívno emočná zložku bolesti, prijíma impulzy z amygdaly
- **thalamus** – distribútor senzorických impulzov, špecifický pre pociťovanie bolesti a tepla
- **inzula** - sensoricko-diskriminatívny aspekt percepcie bolesti
- **somatosenzorický kortex:** pravdepodobne za zahrnutý do sensoricko-diskriminatívneho aspektu vnímania bolesti

# FYZIOLÓGIA BOLESTI

## MODULÁCIA BOLESTI fyziologické mechanizmy ovplyvňujúce prenos bolestivých impulzov po dráhe bolesti s cieľom

- využiť fyziologický význam bolesti a
- zabrániť jej patologickému pôsobeniu

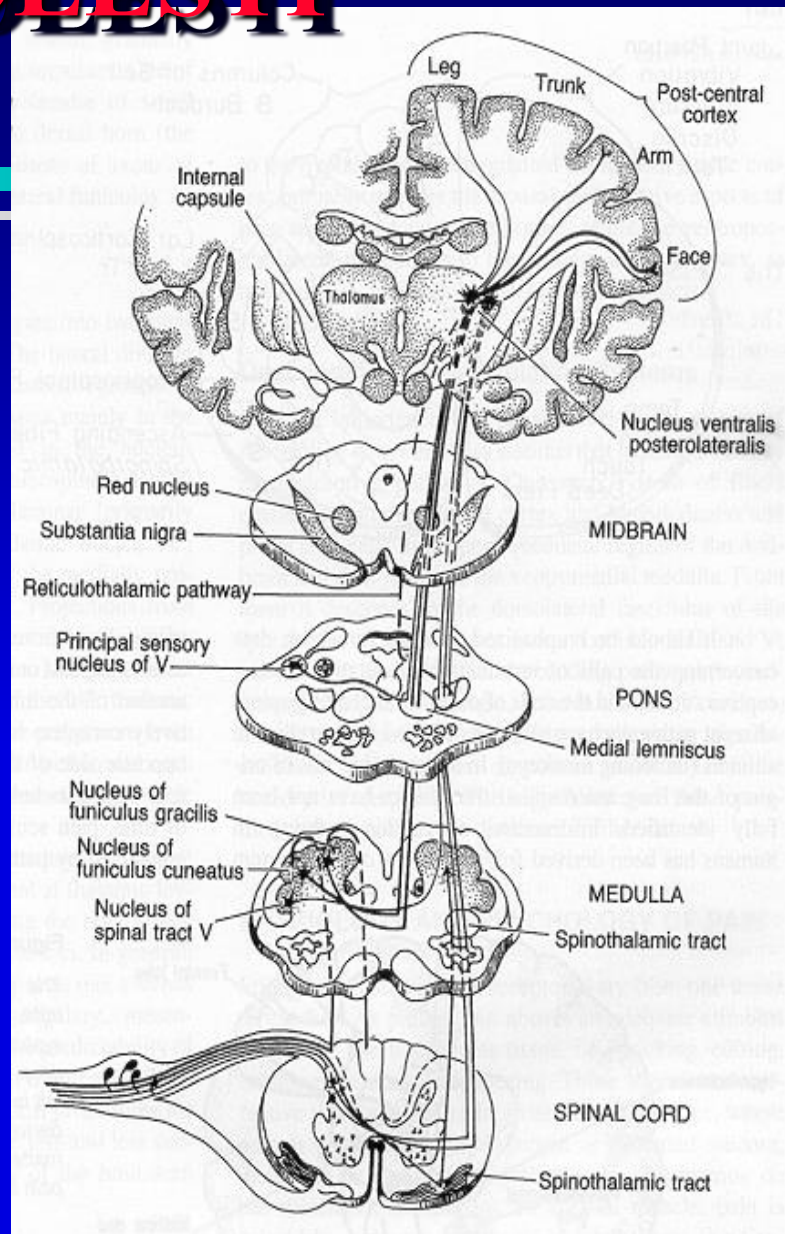


# MODULÁCIA BOLESTI

neoddielna súčasť procesu vzniku, prenosu a vnímania bolesti

- 1. transdukcia
- 2. transmisia
- 3. percepcia

- za fyziologických podmienok: reguluje vnímanie bolesti
- za patologických podmienok: zlyháva až neúčinkuje modulácia vnímania bolesti
- vzniká senzitivizácia NS, patologická neuroplasticita, chronická bolesť a utrpenie



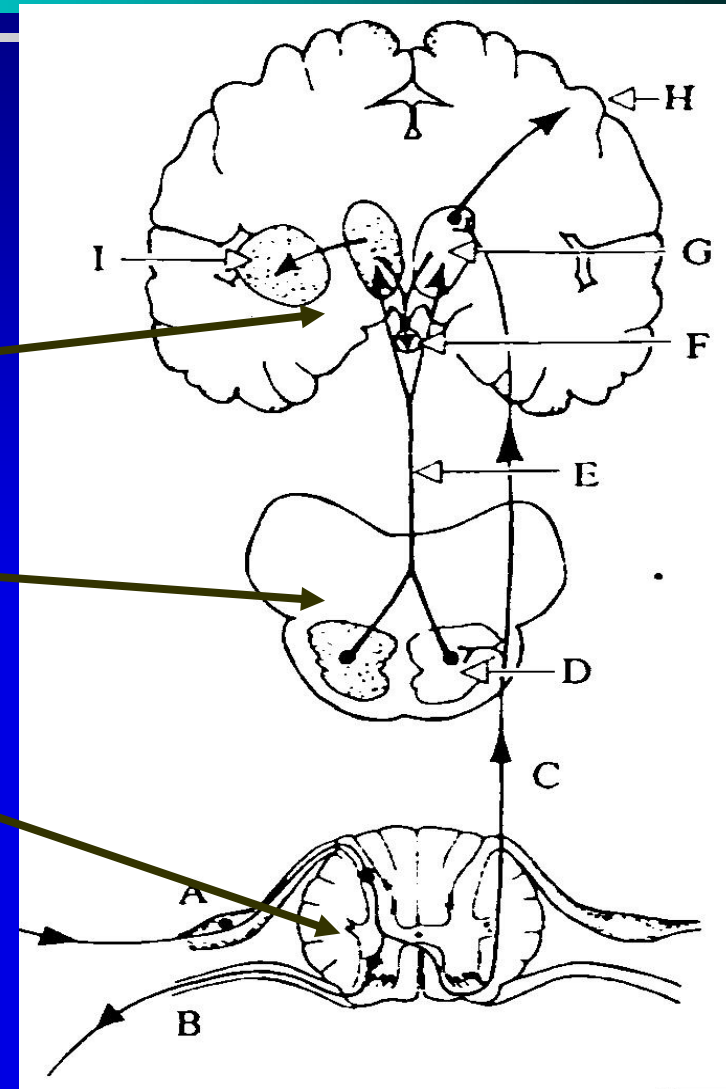


# MODULÁCIA BOLESTI

**Modulačné mechanizmy:**  
v mnohých častiach CNS  
(topograficky):

- **centrálna inhibícia**
- **descendentná inhibícia**
- **segmentálna inhibícia**
- **periférna inhibícia**

**Vrátková teória** – autori:  
**Wall a Melzack, 1965**

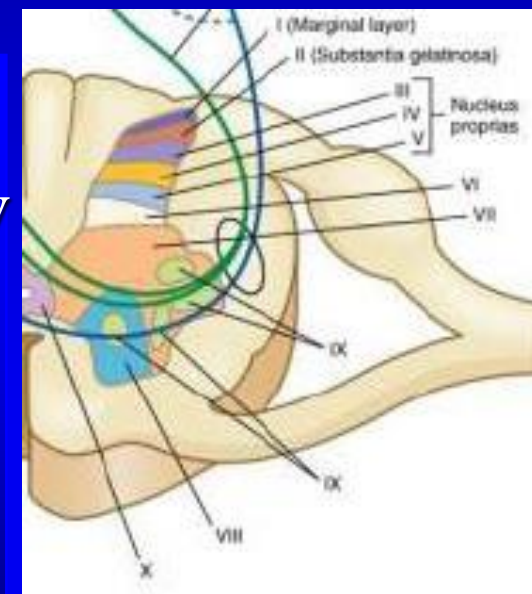
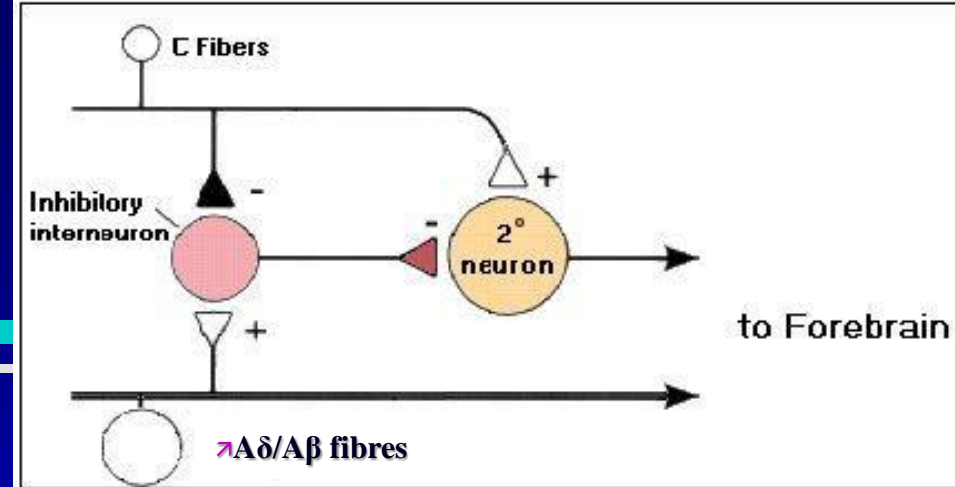


# MODULÁCIA BOLESTI

- **Inhibičné vrátka v ZRM**  
(lamina II všetkých segmentov):
- **konvergencia 5 neurónov**

= „Segmentálna modulačná jednotka“

1. zakončenia periférnych senzitívnych axónov
2. spinálne interneuróny
3. projekčné bunky (WDR, HT)
4. zakončenia neurónov descendntných inhibičných dráh (top-down control)
5. aferentné A-b taktilné vlákna



➤ <http://quizlet.com/3217006/ap4-pain-temp-sleep-sensory-flash-cards/>

# MODULÁCIA BOLESTI

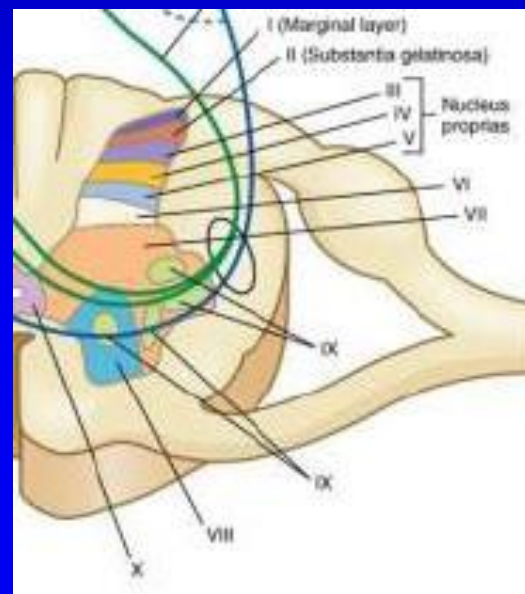
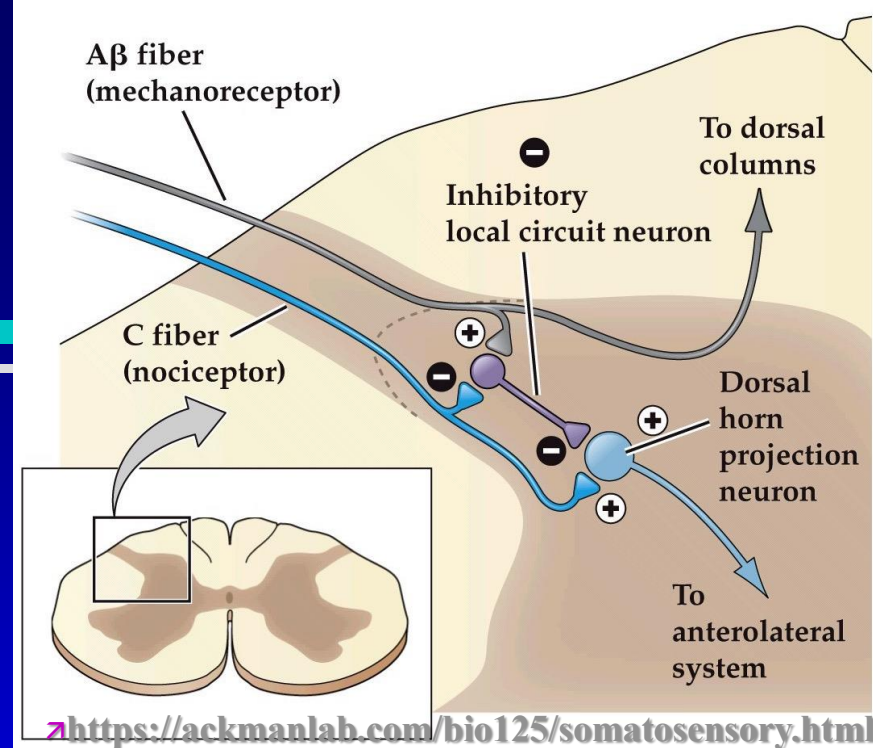
## Dve triedy sekundárnych neurónov:

**1. Projekčné bunky:** vedú informáciu do mozgu (súčasť spinálnych dráh  
3 typy: neurónov: WDR, LT, HT)

## 2. Interneuróny:

**a/ excitačné:** prenášajú informáciu na projekčné bunky, motoneuróny (reflexy)  
a na iné interneuróny

**b/ inhibičné:** modulujú nociceptívnu odpoveď

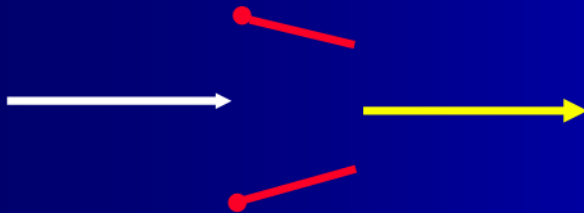




# MODULÁCIA BOLESTI

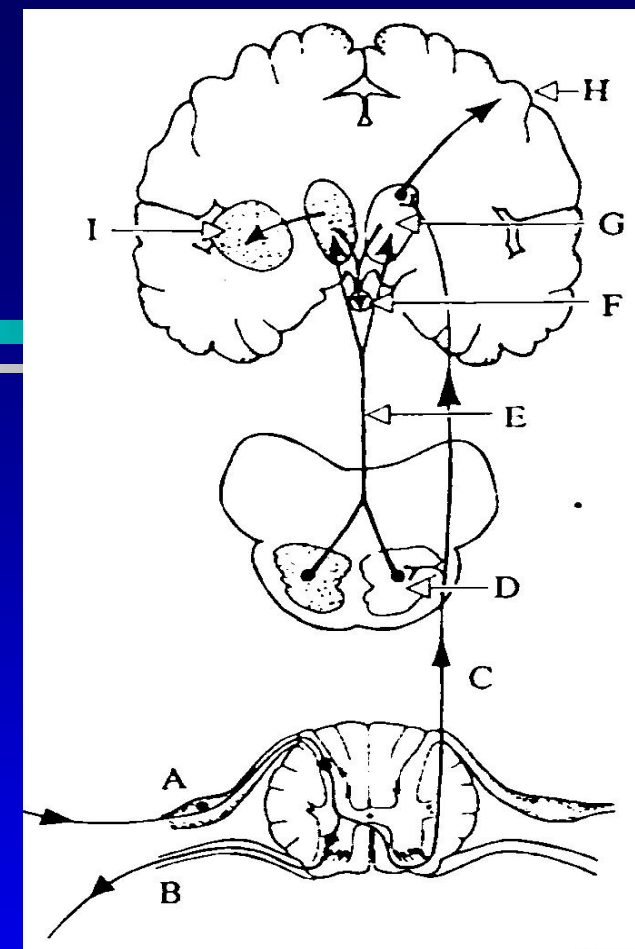
## Redukcia transmisie:

**vrátková teória** - čím je väčší prísun  
bolestivých stimulov, tým viac sa  
„vrátka“ zatvárajú



„Vrátko“: **synapsie** medzi

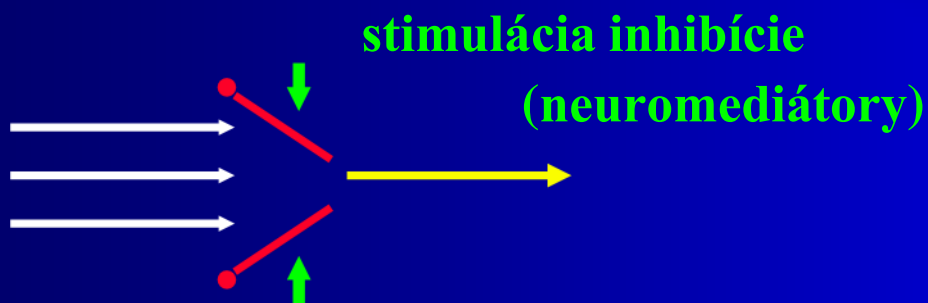
- aferentnými neurónmi
- ascendentnými vláknami spinálnych dráh
- descendentnými vláknami spinálnych dráh



# MODULÁCIA BOLESTI

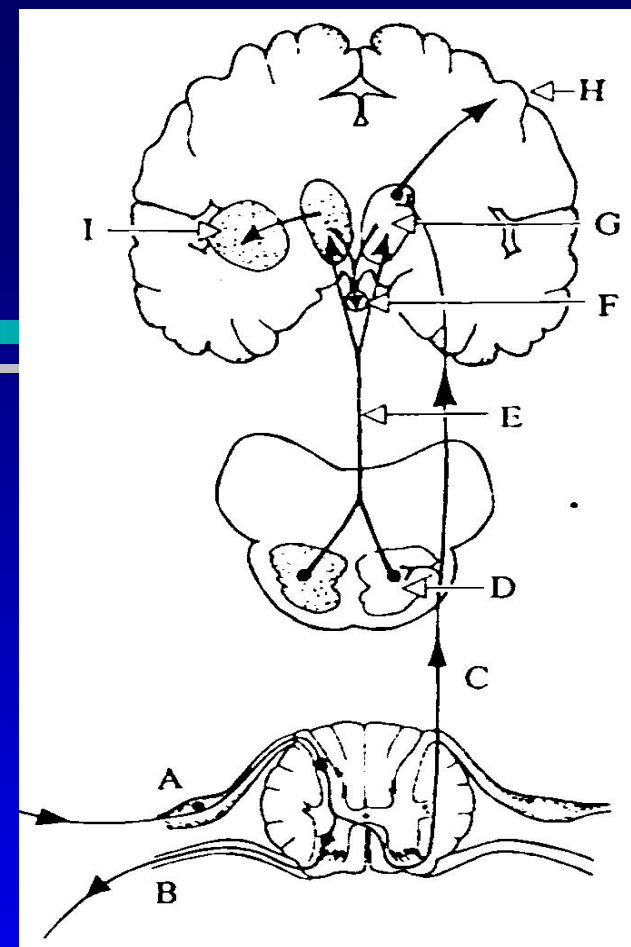
## Redukcia transmisie:

**vrátková teória** - čím je väčší prísun  
bolestivých stimulov, tým viac sa  
„vrátka“ zatvárajú

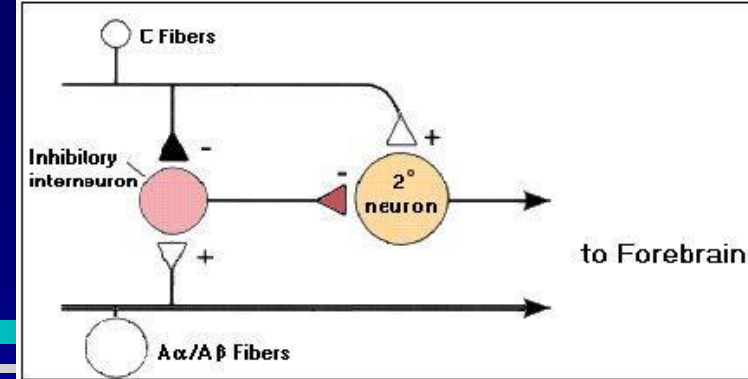


„Vrátko“: **synapsie** medzi

- aferentnými neurónmi
- ascendentnými vláknami spinálnych dráh
- descendentnými vláknami spinálnych dráh



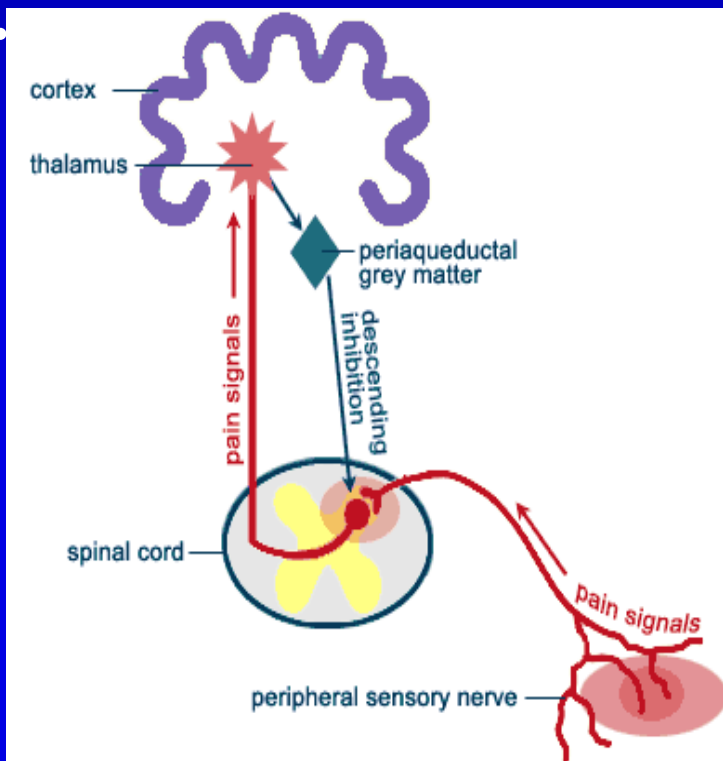
# MODULÁCIA BOLESTI



**Vrátková teória:** predpoklad, že **impulz prejde len ak sú „vrátka otvorené“**.

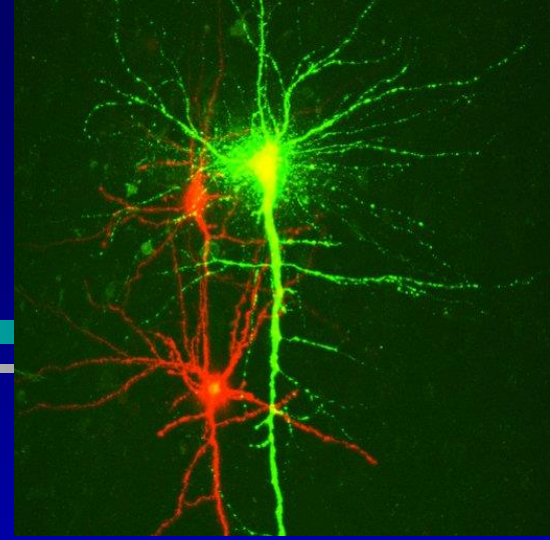
- **Aferentný impulz** vedený vláknami C (aj A- $\delta$ ) „**otvára vrátka**“ v snahe previesť bolesť.
- **Descendentné inhibičné dráhy** regulujú „**zatváranie vrátok**“ (vlákna A- $\beta$ ).

**Ak je aktivita A- $\beta$  väčšia ako C a A- $\delta$ , bolestivá transmisia je redukovaná (vrátka sa privreli).**  
**= fyziologický stav**





# MODULÁCIA BOLESTI



**Vrátková teória:** predpoklad, že **impulz** prejde len ak sú „**vrátka otvorené**“.

- **descendentné inhibičné dráhy** regulujú „**zatváranie vrátok**“ (vlákna A- $\beta$ )
- **segmentálne inhibičné interneuróny** regulujú „**zatváranie vrátok**“ (vlákna A-  $\delta$ ) a brzdia prevod bolesti
- **aferentný impulz** vedený vláknami C „**otvára vrátka**“ v snahe previesť bolesť

= ak je aktivita A- $\beta$  väčšia a A- $\delta$  ako C, bolestivá transmisia je redukovaná (vrátka sa privreli)

= **fyziologický stav**



# MODULÁCIA BOLESTI

## Descendentný inhibičný systém

Hanáček 2008

**úloha: inhibícia aferentných bolestivých signálov**

### Mechanizmus:

[http://www.jfmed.uniba.sk/fileadmin/user\\_upload/editors/PatFyz\\_Files/Prednasky\\_v\\_anglictine/06Pain\\_-\\_08.ppt# 266,14,Snímka 14](http://www.jfmed.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/PatFyz_Files/Prednasky_v_anglictine/06Pain_-_08.ppt# 266,14,Snímka 14)

- aferentné bolestivé impulzy **stimulujú neuróny v PAG**
- výsledkom je **aktivácia eferentných (descendentných) antinociceptívnych dráh**
- z oblasti PAG (mozgového kmeňa) sú **impulzy prenášané cez miechu do zadných rohov**
- **v ZRM inhibujú, resp. blokujú transmisiu nociceptívnych impulzov (A- $\beta$  vlákna) (stimulácia inhibície)**

**Descendentný inhibičný systém je aktivovaný podľa nálady a stavu mysle**

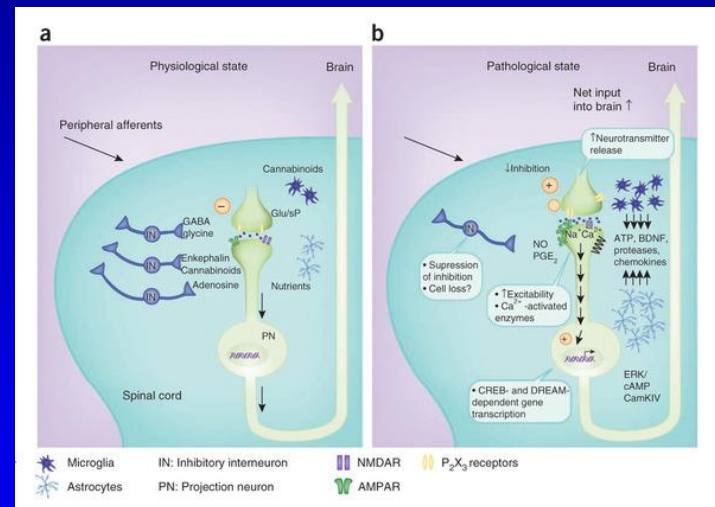
# MODULÁCIA BOLESTI

## Descendentný inhibičný systém

Descendentné inhibičné dráhy regulujú „zatváranie vrátok“ (vlákna A- $\beta$ ).

Descendentné modulátory bolesti (v ZRM):

- noradrenalín (alfa-2 receptory)
- Serotonín
- opioidy - endorfíny, enkefalíny, dynorfín
- GABA: hyperpolarizácia pre- i post-synaptickej membrány
- endokanabinoidy
- adenosín: uvoľňovaný aktiváciou NMDA rec.







---

➤ **Ďakujem za pozornosť**