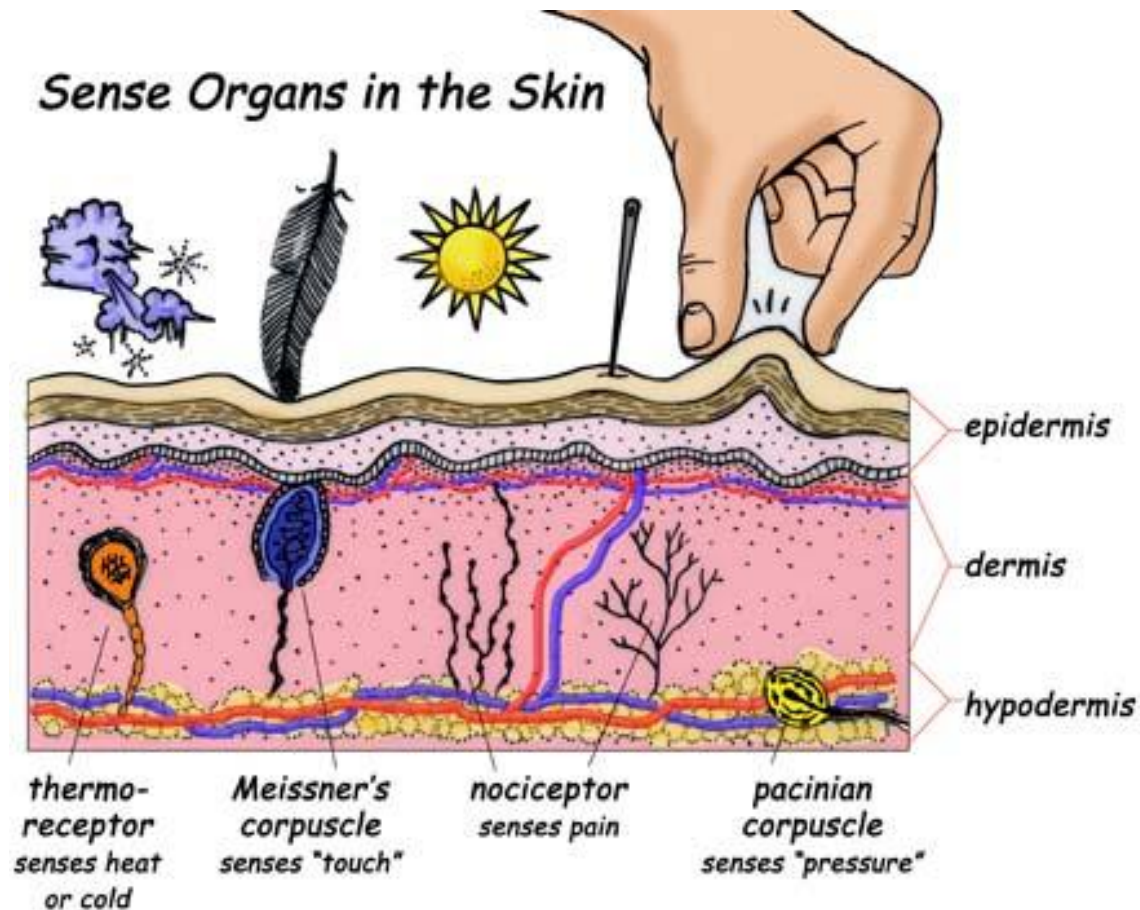


Tapintás és társai



Szomatikus érzékelés – 4 fő modalitás

- Megkülönböztető érintés: tárgy mérete, alakja, textúrája, valamint ezek mozgása a bőrön
- Propriocepció – álló helyzet, végtagok és test mozgása
- Nocicepció – szövetkárosodás, kémiai irritáció, fájdalom, viszketés
- Hőmérséklet érzékelése – melegség, hidegség

Szabály

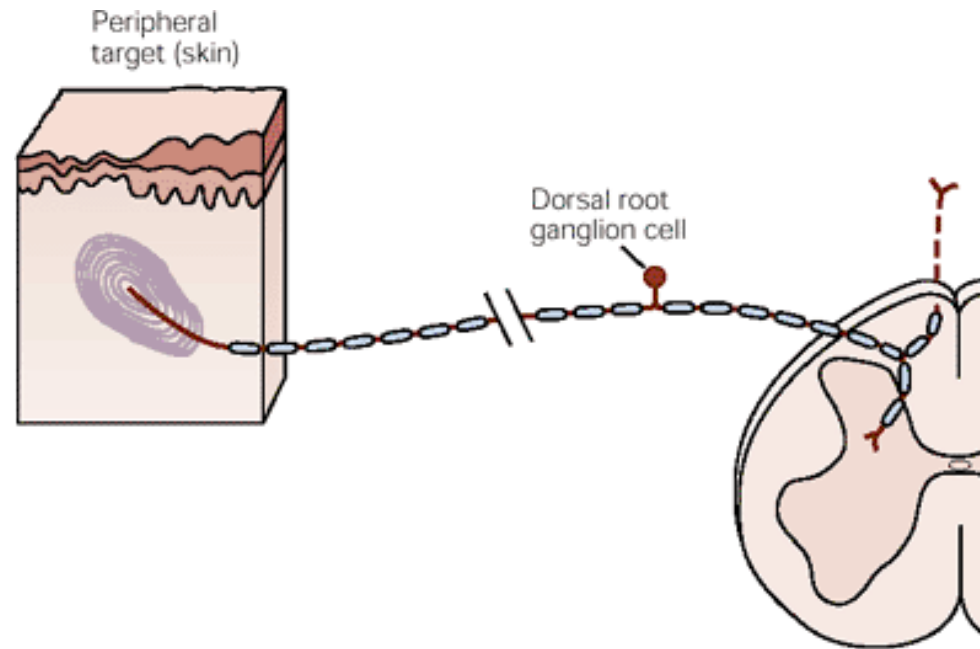
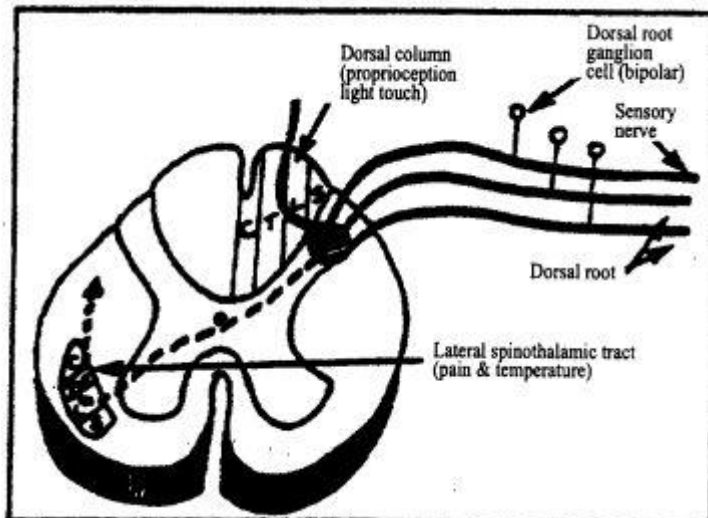
- A különböző modalitásokhoz külön receptorok és pályarendszerek tartoznak.
- Ennek ellenére a szenzoros neuronok a dorzális gyökér ganglion neuronok, perifériás termináljaik morfológiai és molekuláris specializációja miatt válaszolnak az egyes ingerekre szelektíven.

Közös még ...

- Modalitástól függetlenül az összes szomatoszenzoros infó a *végtagokból* és a *törzsből* a **dorzális gyökér ganglion** neuronjai által szállítódik, míg a craniális területekről jövő infót a **trigeminális szenzoros neuronok** szállítják

Dorzális gyökér ganglion neuronok

- Két fő funkció
 - Ingertranszdukció
 - A kódolt ingerinfó transzmissziója a KIR-be
- Sejttest: a dorzális gyökér ganglionokban
- Axon: 2 ága van, egyik a perifériára (terminál, ezek lesznek a receptorok), másik a KIR-be projektál



Szabály 😊

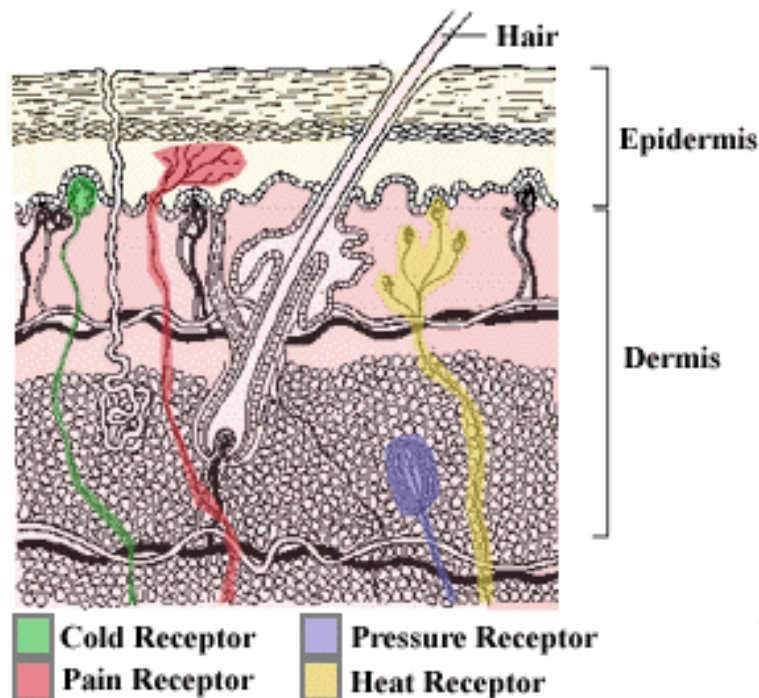
- Az axon perifériás ágának terminálja a dorzális gyökér ganglion sejt egyetlen olyan része, mely a természetes ingerre érzékeny!
- Ennek tulajdonságai határozzák meg az egyes dorzális gyökér ganglion neuronok szenzoros funkcióját.

A perifériás ág „folytatása”

- Ez az ún. központi (centrális) ág, az elsődleges afferens idegrost
- Funkciója: a kódolt ingerinformáció szállítása a gerincvelőbe és az agytörzsbe

Terminálok típusai

- Csupasz idegvégződések
- Nem-idegi struktúra által enkapszulált (tokos) idegvégződés



Jellemzőik

- Enkapszuláltak
 - a tapintás és a propiocepció szomatikus modalitását mediálják; azokat az ingereket érzékelik, melyek valamely módon fizikálisan deformálják a receptív felszínt
- Csupasz idegvégződéses
 - Fájdalom és hőérzékelésben érintettek

Beidegzésük

- A mechanoreceptorokat és proprioceptorokat a dorzális gyökér ganglion neuronok nagyobb átmérőjű, myelinizált axonjai idegzik be (→ AP gyorsabb továbbvitele)
- A thermoreceptorokat és nociceptorokat a kisebb átmérőjű csupasz vagy gyengén myelinizált axonok idegzik be (lassabb)

Neurológiai nomenklatúra

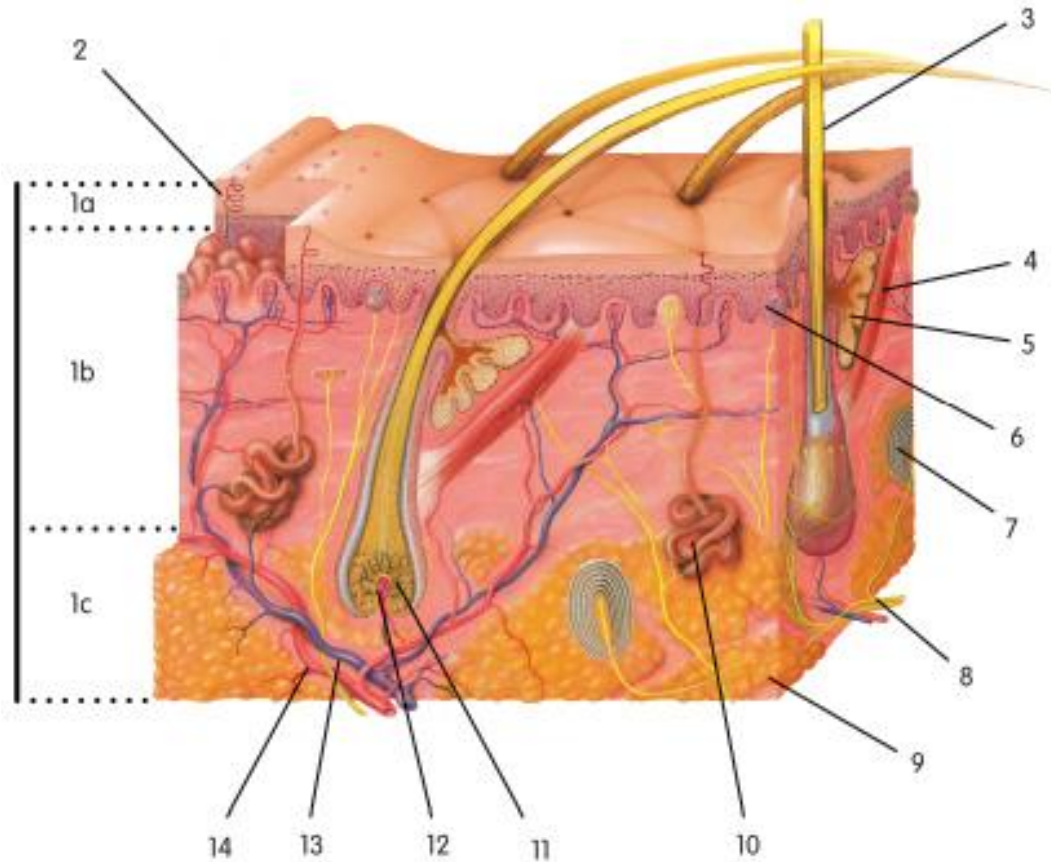
- Szomatikus érzékelés két osztálya
 - Epikritikus: tapintás finom aspektusai, melyet enkapszulált receptorok mediálnak
 - Képesek: topognosis = bőr enyhe kontaktusának detektálása, pozíció-lokalizálás
 - Vibráció, illetve annak frekvenciája és amplitúdójának meghatározása
 - Tapintás térbeli részletei – textúra, két-pont diszkrimináció
 - Stereognosis = tárgy alakjának kitapintása
 - Protopatikus: fájdalom és hőérzékelés, csupasz idegvégződésű receptorok mediálják

Tapintás – bőrben lévő mechanoreceptorok

- Érzékenység változó, legnagyobb az ujjak csupasz bőrén, tenyér, talp, ajkak – epidermis, melyen barázdák vannak
 - Körkörös barázdák = ujjlenyomat = mechanoreceptor-mátrixok
 - Emelt aktivitást mutatnak: bőr bemélyedése, felszínén való mozgás
 - Morfológiájukban és bőrben való elhelyezkedésükben különböznek
 - Általános szabály: ingerlés hatására deformitás → szenzoros ideg ingerlése

4 fő mechanoreceptor

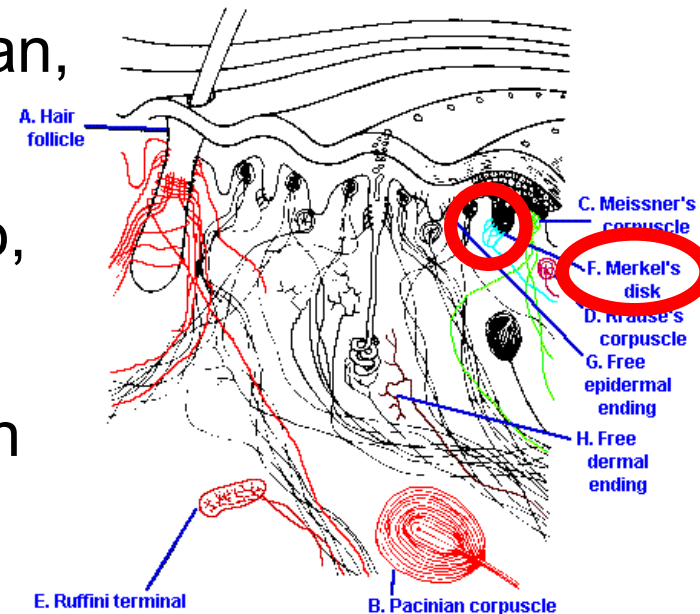
- 2 a bőr legfelső, felszíni rétegében
- 2 alsóbb, bőr alatti rétegben
- Méretük: felül kisebbek, alul nagyobbak
- Kisebbek: papilláris domborulat deformációját érzékelik
- Nagyobbak: több domborulatot magában foglaló szélesebb bőrterület deformációját érzékelik



- 1. Layers of the skin**
 - a Epidermis**
 - b Dermis**
 - c Subcutaneous tissue**
- 2. Sweat gland duct**
- 3. Hair shaft**
- 4. Arrector pili m.**
- 5. Sebaceous gland**
- 6. Meissner's corpuscle**
- 7. Pacinian corpuscle**
- 8. Sensory nerve fibers**
- 9. Subcutaneous fatty tissue**
- 10. Sweat gland**
- 11. Hair bulb**
- 12. Hair papilla**
- 13. Vein**
- 14. Artery**

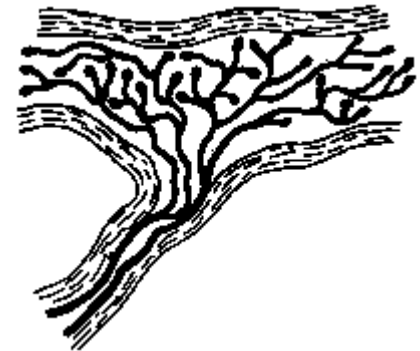
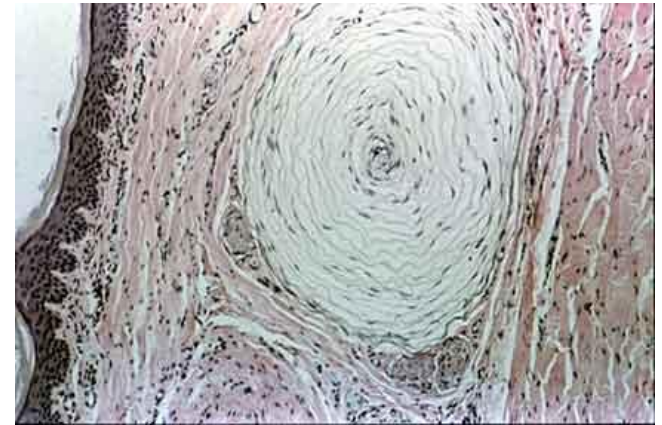
A felsők ...

- Meissner – testecske
 - Gyorsan adaptálódó
 - Tok veszi körül, melyben folyadék van
- Merkel – korong
 - Lassan adaptálódó
 - Egy semirigid struktúrát zár magában, mely a bőrtől a szenzoros idegvégződésig szállít szorító feszítést, ezzel váltja ki az elhúzódó, lassan adaptálódó választ
 - Normál esetben a papilláris domborulatok közepén clusterekben találhatók

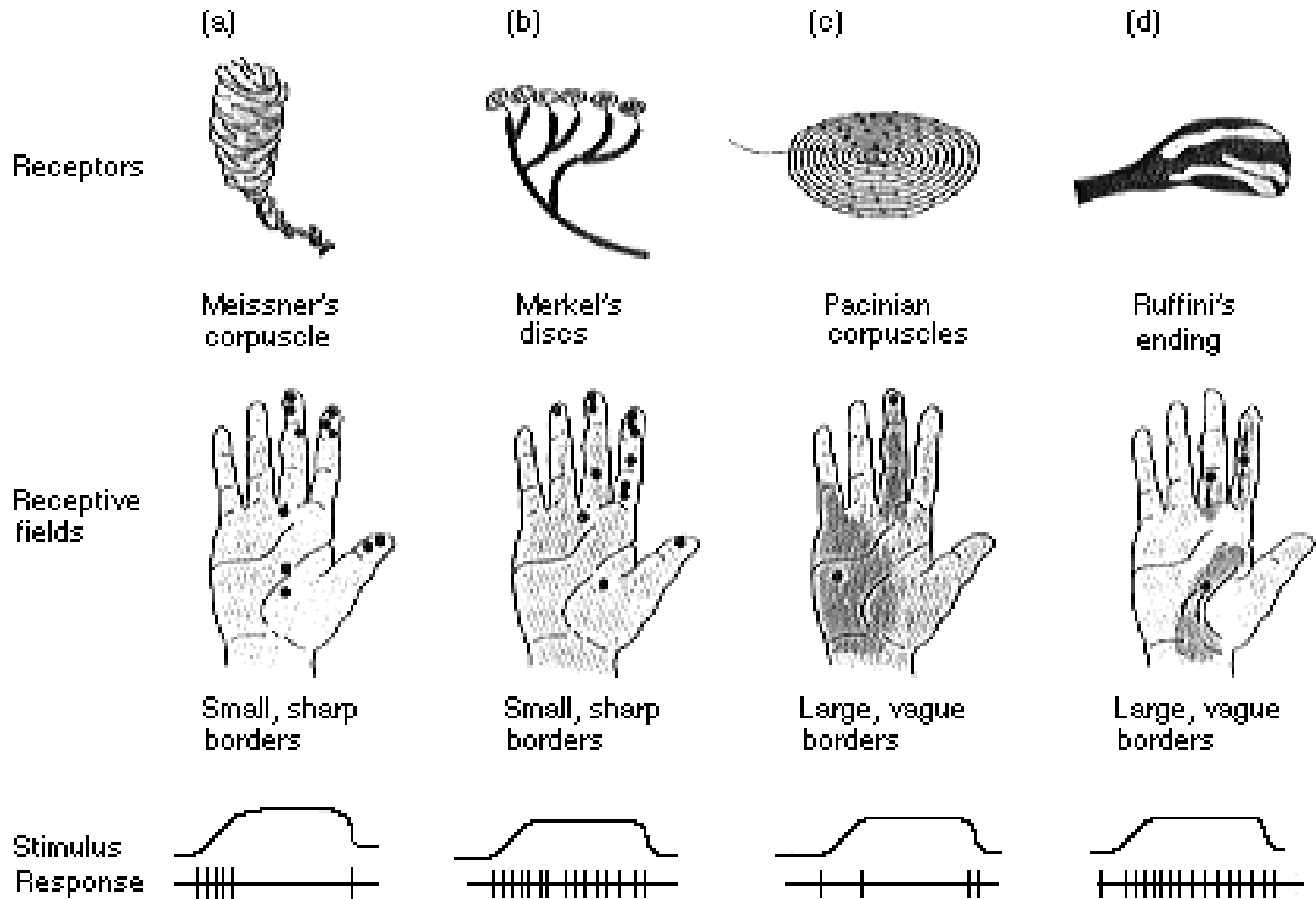


Az alsók ...

- Nagyobbak, de kevesebben vannak
- Két fajtájuk van
- Pacini – testecske
 - Fiziológiásan a Meissner analógja, a bőr gyors bemélyedésére válaszol, DE az állandó nyomásra nem; nagy kapszulája flexibilisen kapcsolódik a bőrhöz → több cm mélyről is érzi a vibrációt
- Ruffini – végződés
 - Lassan adaptálódó
 - Bőr megnyúlására, körmök hajlítására érzékeny



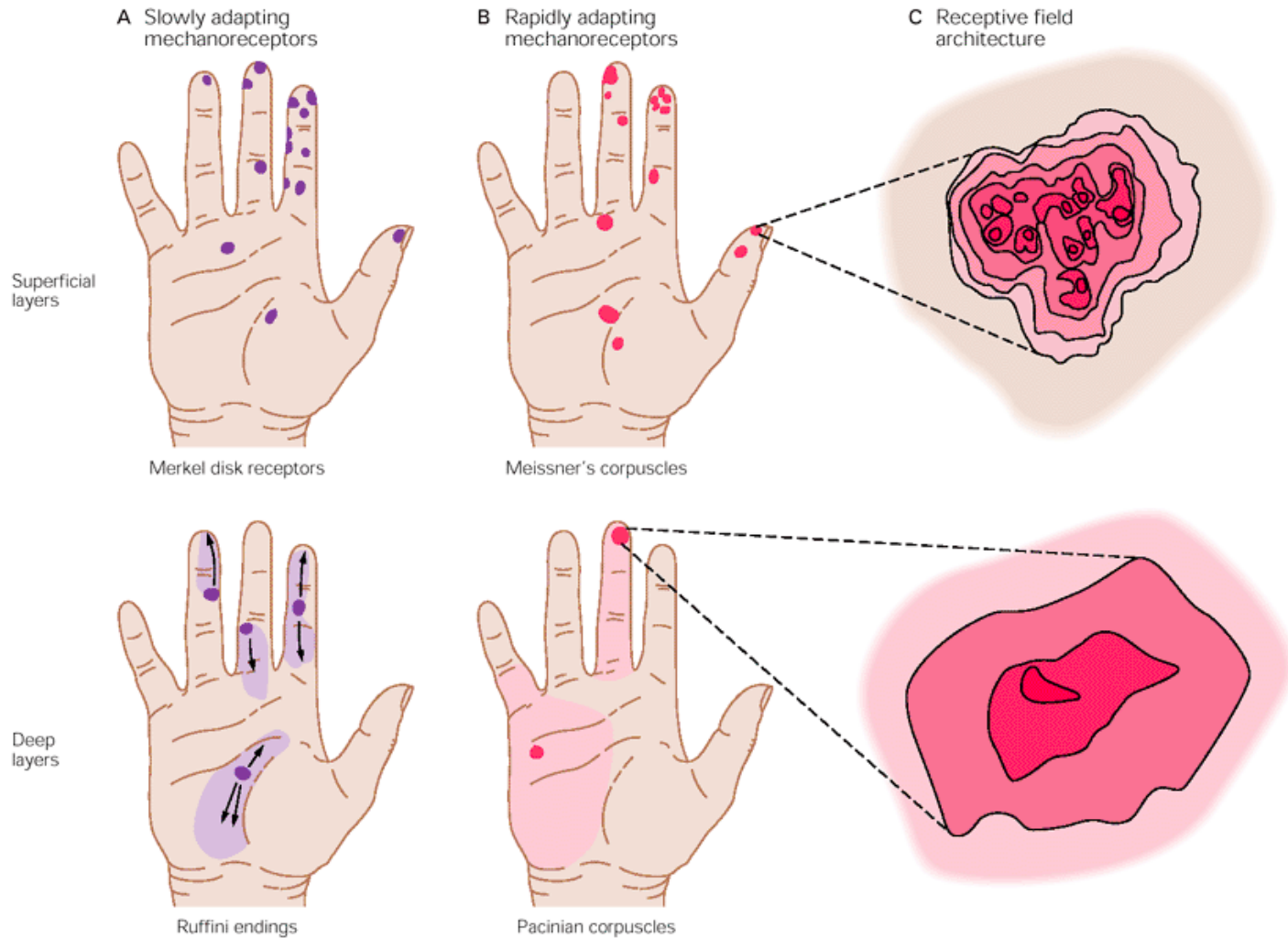
Összefoglalva



Hajas/szőrös bőr

- Hasonló, mint a csupaszon
- Pl.: Gyorsan adaptálódó mechanoreceptorai
 - Szőrfolliculus receptorok
 - A szőr elmozdulására válaszolnak
 - 3 csoportjuk van
 - Down, guard, tylotrich – eltérő szenzitivitás a szőr mozgására és annak sebességére
 - Mezőreceptorok
 - Elsősorban ujjak, csukló, illetve könyök ízületeinél; bőr nyúlására válaszol, amikor az ízület megfeszül vagy a bőr kidörzsölt

A receptorok receptív mezeje különböző



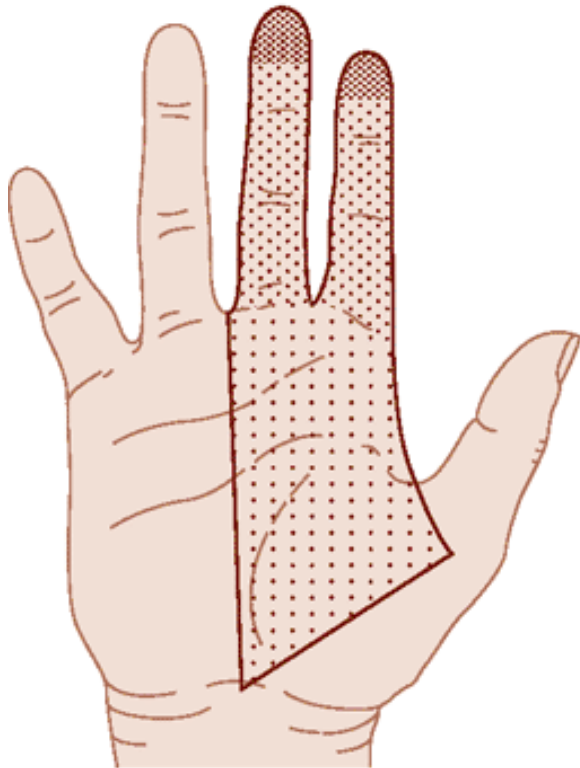
- Minden dorzális gyökér ganglion neuron egy limitált bőrterületről szállít infót, ezt a receptorok végződéseinek elhelyezkedése határozza meg
- Amiben különböznek
 - RM mérete és felépítése, szerveződése
 - Felső rétegből dorzális gyökér ganglion neuronhoz érkező ideg inputot hoz: 10-25 Meissner-testecske vagy Merkel-korong clusterből. A RM 2-10 mm, kör alakú
 - Alsó rétegből: bármely idegrosthoz 1 Pacini vagy 1 Ruffini kapcsolódik; tehát: nagyobb RM, elmosódó határokkal. 1 „hot spot”-juk van, itt a legnagyobb a szenzitivitás. Ez a pont pontosan a receptor felett helyezkedik el.

- Fontos a méretbeli különbség
- Meissner és Merkel: finom térbeli differenciák, a felszín minimális ingerlésével ingerületbe hozhatók
- Pacini és Ruffini: durva téri differenciák → lokalizációban, felbontásban rossz; ehelyett globálisabb tárgytulajdonságok feldolgozása, illetve szélesebb bőrterületet detektál

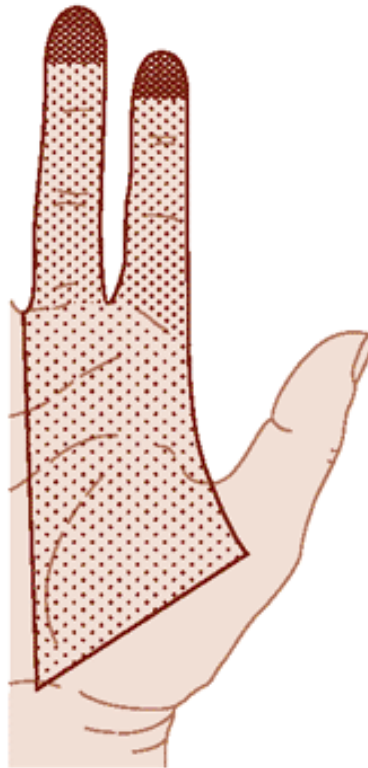
- Az inger téri felbontása a bőrön változik, mivel a mechanoreceptorok sűrűsége változik
- Legkisebb: ujjhegyek, majd: proximális ujjpercek, tenyér, szőrös/hajas bőr
- Bár nagyjából ugyanannyi beidegzés, de más eloszlás
- Két-pont küszöb

A receptorok elhelyezkedése

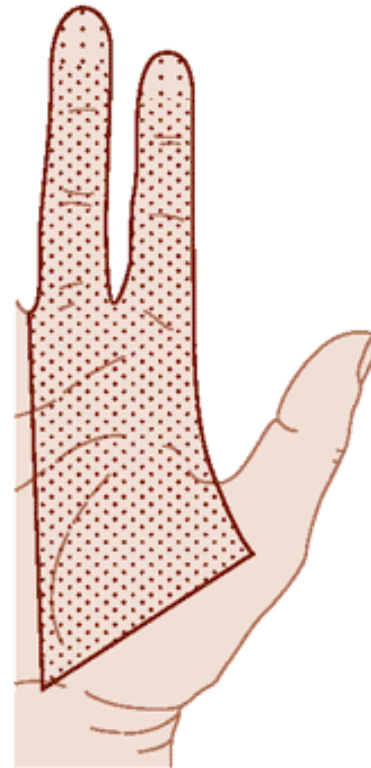
SA I (Merkel)



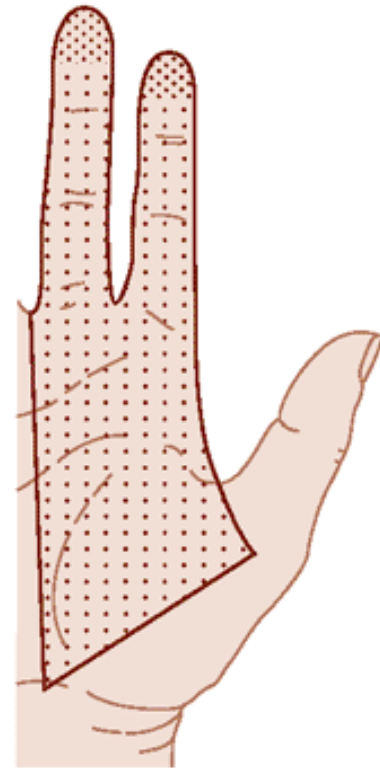
RA (Meissner's)



SA II (Ruffini)



PC (Pacinian)

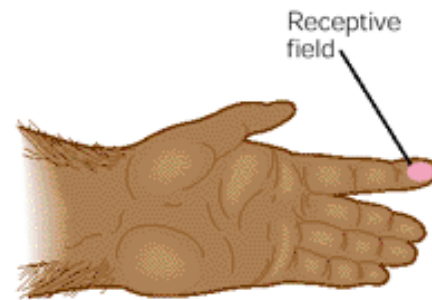


- A mechanoreceptorok különböznek adaptációs tulajdonságukban és a szenzoros küszöbeikben
- Bár mind a felső, mind az alsó rétegben van 2-2 receptor, ezek egymástól az adaptációs jellegzetességükben térnek el (gyors versus lassú)
- Gyors: csak a kontaktus elején és végén – pl.: tárgy mozgása a bőrön, sebesség kód = tüzelési ráta, mozgás időtartama = tüzelés időtartama
- Lassú: végig emelkedett aktivitás
- Küszöbbeli eltérés: gyors – alacsonyabb küszöbértékek, legérzékenyebb: Pacini

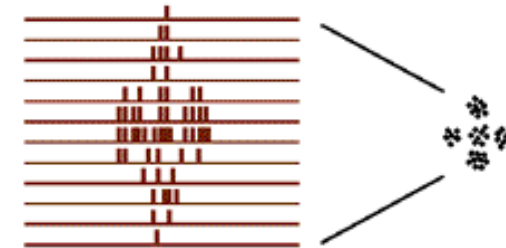
- A tárgyak téri karakterisztikáját mechanoreceptor populációk jelzik
- Egy tárgy – sok tulajdonság (méret, alak, textúra) → nem elég egy kódoló receptor
- Aktív/inaktív idegrostok – elhelyezkedés és mintázat szerveződés; azaz összességében kiadják a mintázatot
- Ehhez adja a Pacini az időzítési információkat
- Ez már mutatja, hogy egy valós cselekvés esetén minden receptor ad az összinfóhoz

Értsd ...

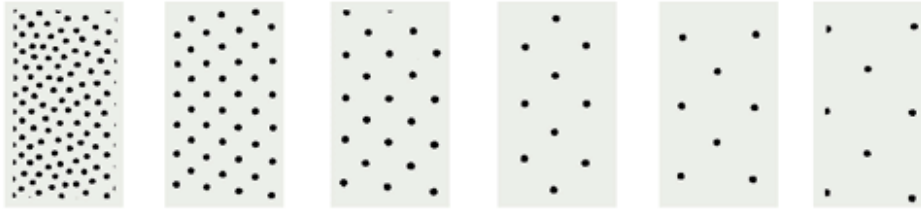
A₁



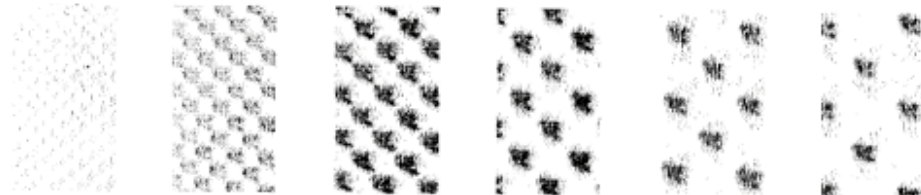
A₂



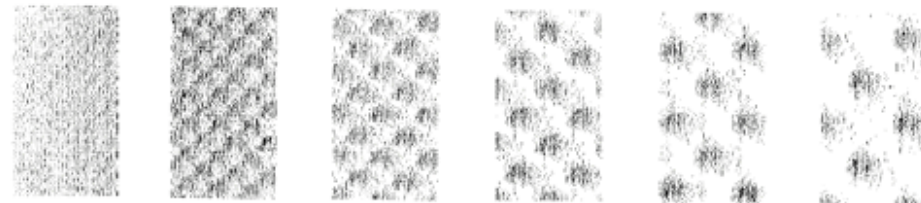
Braille dot
patterns
on drum



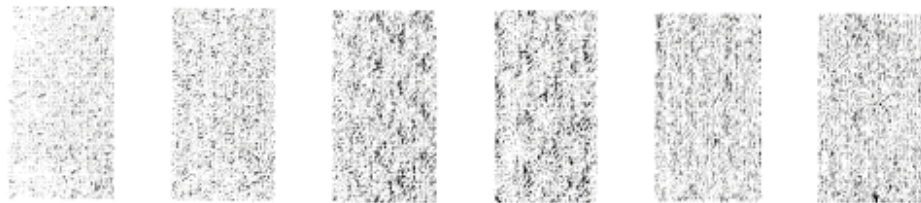
SA
(Merkel)



RA
(Meissner's)



PC
(Pacinian)



Dot spacing
(mm)

1.3

2.4

3.2

4.3

5.2

6.2

Más szomatoszenzóriumot speciális receptorok szélesebb köre mediálja

- Melegség/hidegség: thermoreceptorok
 - Hőinformáció csak szomatoszenzorosan dolgozható fel (4: cold, cool, warm, hot)
 - A hő függvényében változó tüzelés
 - Rájuk igaz, hogy a normál 34°C-os alapállapotban is 2-4 spike/sec. Csúcs tüzelés a preferált hőmérsékletnél.
 - Cold: 25°C, warmth: 45°C, ha ettől eltér (akármelyik irányban), akkor csökkent válasz

- Tárgy hőmérsékletének kódolása és feldolgozása v.ö. színlátás
- Receptor-populációk, melyek energia tartománya csak egy limitált intervallumra érzékeny
- Minden ilyen populációnak van egy csúcs érzékenysége
- Gyors hőmérséklet-változás – dinamikus válasz, DE: sokáig fennmaradó érintkezés: válasz elhal
- Túl meleg – nincs válasz, helyette fájdalom

Fájdalom

- Részletesebben következő óra eleje
- Itt: receptorai a nociceptorok
- Rengeteg kémiai közvetítő, melyek stimulálják a receptorokat, égő érzést keltenek
- Inger alapján: mechanikus, termikus, polymodális
 - Mechanikus: erős, fájdalmas taktilis inger, éles tárgy, minél destruktívabb, annál nagyobb tüzelési ráta; afferens szálak: csupasz idegvégződések – myelinizált – gyors
 - Termikus: extrém hő vagy erős mechanikus inger
 - Polymodális: mechano, thermo, kémiai – lassú, égető fájdalom; fő szenzoros beidegzése: fogbél

Propriocepció

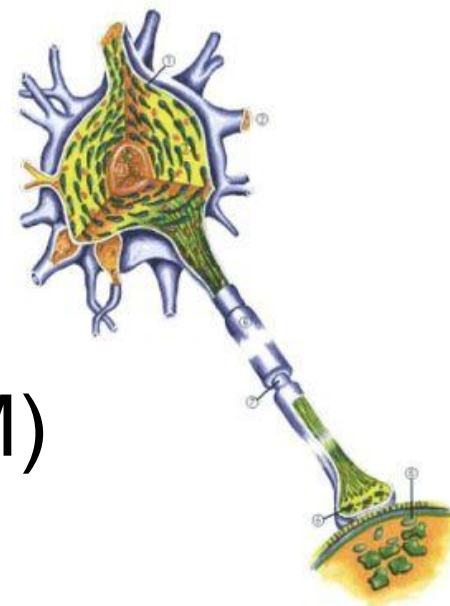
- Mechanoreceptorok mediálják
- Vázizomzatban, ízületi kapszulákban
- Látásinfó nélkül pozíció és saját végtag- és test-mozgás
- Két almodalitás: limb-position sense, kynesthesia
- Három mechanoreceptor jelzi az izmokban és ízületekben a végtagpozíciót és a végtagok mozgását, s ennek sebességét
 - Izomorsó receptorok (feszülésre)
 - Golgi ínorsó receptorok
 - Ízületek kapszuláiban (feszülés, elernyedés)

Zsigerek mechano- és kemoszenzoros receptorai

- Dorzális gyökér ganglion neuronok szabad idegvégződése
- Morfológiai analógjuk: mechanikus nociceptorok
- Zsigeri izmok feszülése/ernyedése
- Kemoszenzoros: zsigeri funkciók monitorozása – autonóm reflexek

Vezetés

- A különböző afferens rostok az AP-kat különböző gyorsasággal vezetik
- Ranvier-befűződés, szaltatórikus terjedés
- Mechano- és proprio
 - Myelinizált
- Hő, nocicepció
 - Enyhén myelinizált vagy csupasz
- Klinikai jelzőérték! (diabetes, SM)

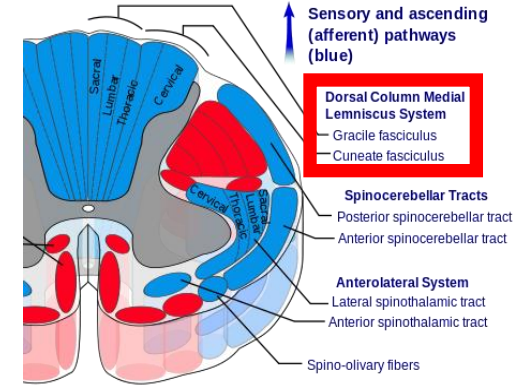


- Más szomatoszenzoros modalitás – afferens rostok is másak (más a terminál) – más mintázat a gerincvelőben és a nyúltvelőben
- Bőrben topográfia – megmarad; dorzális gyökér ganglion neuron – gerincvelő dorzális szarv
- A d.gy.g.n. centrális axonja elágazik – gv sz.á., illetve agytörzsi nucleusok
- Gv sz.á. 3 rész: 2 szarv, illetve a középső zóna
- Minden funkcióhoz külön nucleus-típus (10 layer) – külön projekciós mintázatot eredményez

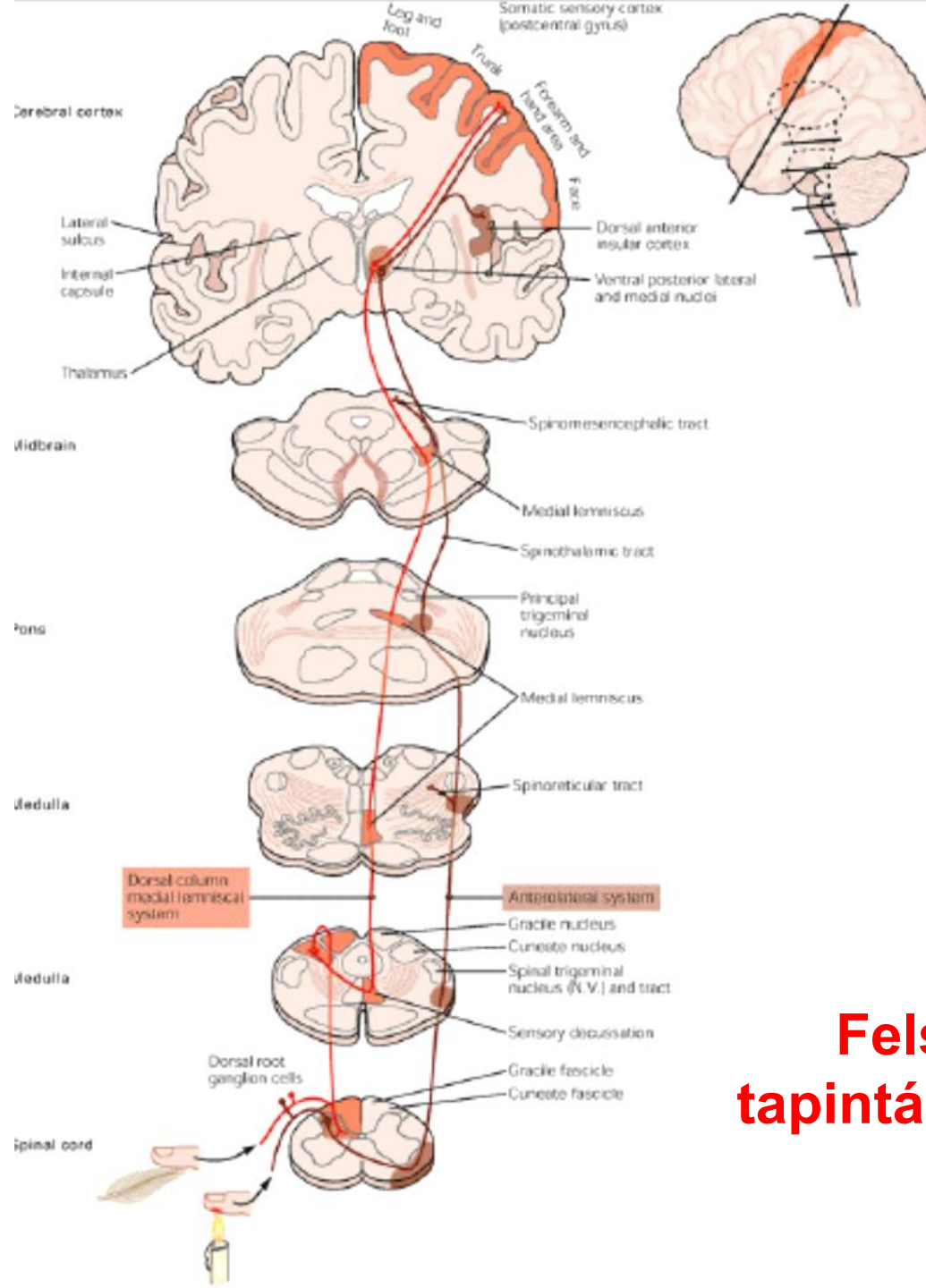
És most a halál ...

Felszálló pályarendszerek

Felszálló pályák tapintás, propiocepció

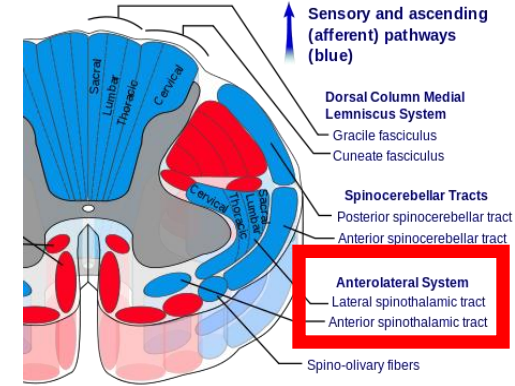


- Direkten nyúltvelő ipsilateralis dorzális kolumnákon keresztül – lemniscus medialis rendszer
 - Sacralis – medialis, magasabb – lateralis
 - Felsőbb gvi szintek: dorz. kolumnák – fasciculus gracilis, fasciculus cuneatis
 - Gracilis: rostok mediálisan – ipsilaterálisan sacralis, lumbalis és alacsonyabb thoracalis szegmensekből
 - Cuneatis: rostok laterálisan – felső thoracális, cervikális – nyúltvelő alacsonyabb régiói – mechanoszenzoros infó arcról és skalpról – elsődleges nucleus trigeminalis (híd)
 - Onnan Thalamus
 - G és C: átkereszteződés – agytörzs – Thal ventr.post.lat.nucl. A lemniscus medialis on keresztül
 - Trig.: lemniscus trigeminalis – Thal ventr.post.med.nucl.
 - Közben a szomatotópia megmarad, de változik
 - Másodlagos ágak a dorzális szarvban érnek véget

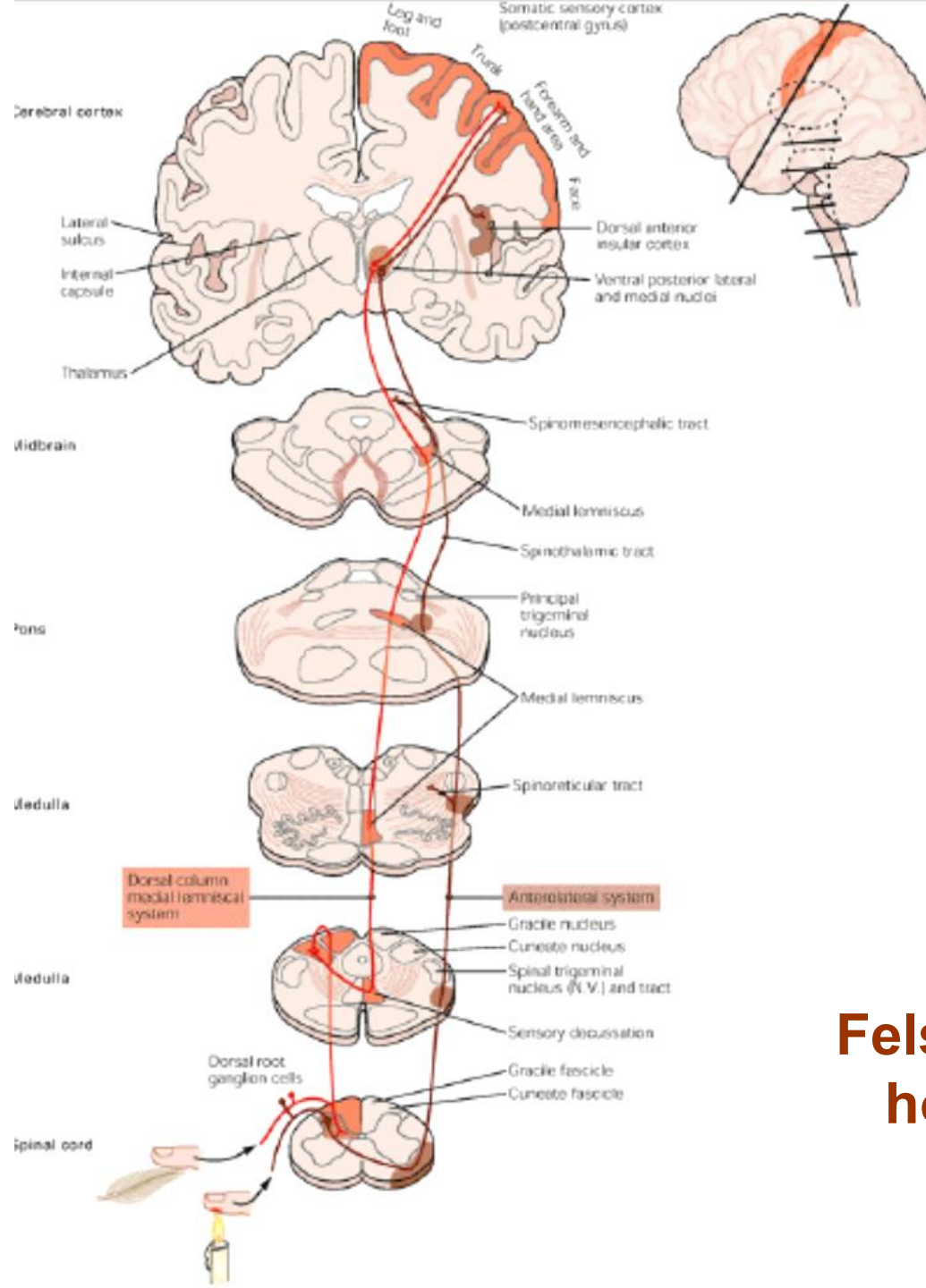


**Felszálló pályák
tapintás, propiocepció**

Felszálló pályák hő, fájdalom



- Gerincvelő – kontralateralis anterolateralis quadrans, ahol a dorzális szarv axonjai felszállnak az agytörzsbe és a Thalamusba
- Anterolaterális rendszer
 - Gerincvelő ipsilateralis dorzális szarv – Lissauer tractus – dorzális szarv legfelső/szélső része, leginkább felső 2 lamina (marginális + substantia gelatinosa)
 - Emellett trigeminális szenzoros afferensek (fej, arc) – leszáll a gvi trigem. tractuson – gvi trigem. nucl. – nucl. proprius – Thalamus anterolaterális kolumnán keresztül – átkereszteződik – agytörzs
 - Direkt és indirekt projekció a Thalamusba
 - Spinothalamikus (ventr-post.lat.), spinoretikuláris (nyúltvelő, híd formatio reticularis ... hipothalamus), spinomesencephalik



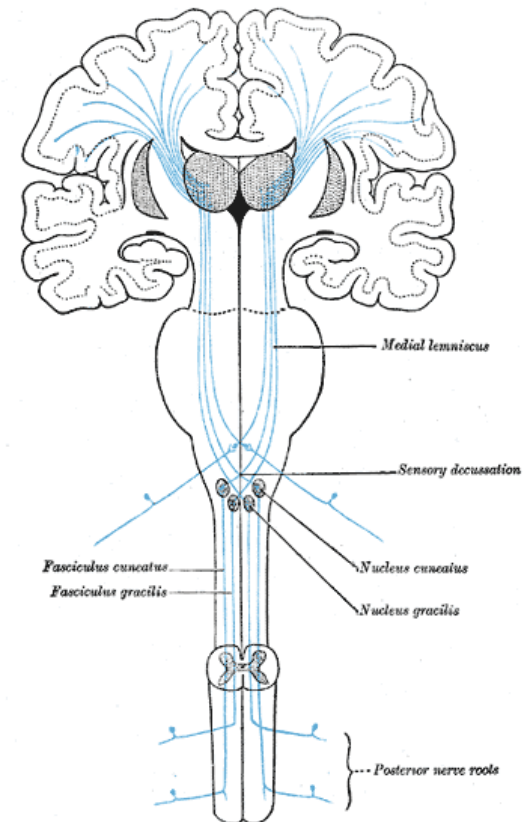
**Felszálló pályák
hő, fájdalom**

Kérgi feldolgozás

- Egyik legfontosabb és legkomplexebb szomatoszenzoros feladat: tapintott tárgyról infó
 - Méret, alak, textúra, összenyomhatóság, hőmérséklet – stereognosis
 - Eddig már 1-2 dolgot tudunk, de a tényleges feldolgozáshoz kellenek kognitív funkciók is!
 - Legtöbb tárgy mérete nagyobb, mint egy tapintási RM → az agy rekonstruálja a mintázatot
 - Pl.: Merkel – felszín görbülete, Meissner – élek, pozitúra → sok párhuzamos pálya

Q: Hogy lesz ebből perceptum?

- Szomatoszenzórium – 3 köztes relay állomás
 1. Mechanoreceptorok → caudális nyúltvelő (nucleus gracilis és nucleus cuneatus)
 - 2.a kontralaterális Thalamus (nucleus ventralis posterior lateralis)
 - 2.b párhuzamos pályákon nucleus trigeminalis (arc) → ventralis posterior medialis Thalamus
 3. Thalamus → SI.



SI. és SII.

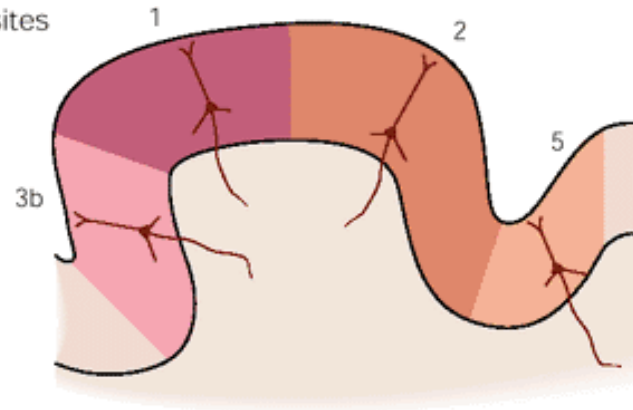
- SI.: 4 terület (3a,3b,1,2) – legtöbb Thalamus-rost 3a-ba, illetve 3b-be, ezekből 1-be és 2-be (van 1-2 direkt Thalamicus kapcsolat is ide)
- 3b és 1: bőrreceptorok, 3a és 2: propiocepció
- SII.: SI.-ből beidegezve → insula (taktilis emlékezet) és PP asszociációs kéreg (Br5,7);
input - SI. és pulvinar
 - Br5: bőr mechanoreceptorok tapintási infó integrálása és propiocepció, 2 kéz összehozása
 - Br7: stereognosiás és vizuális infó integrálása
 - PP asszoc.: frontális motoros kéreg felé - mozgástervezés

SI. Sejtek - RM

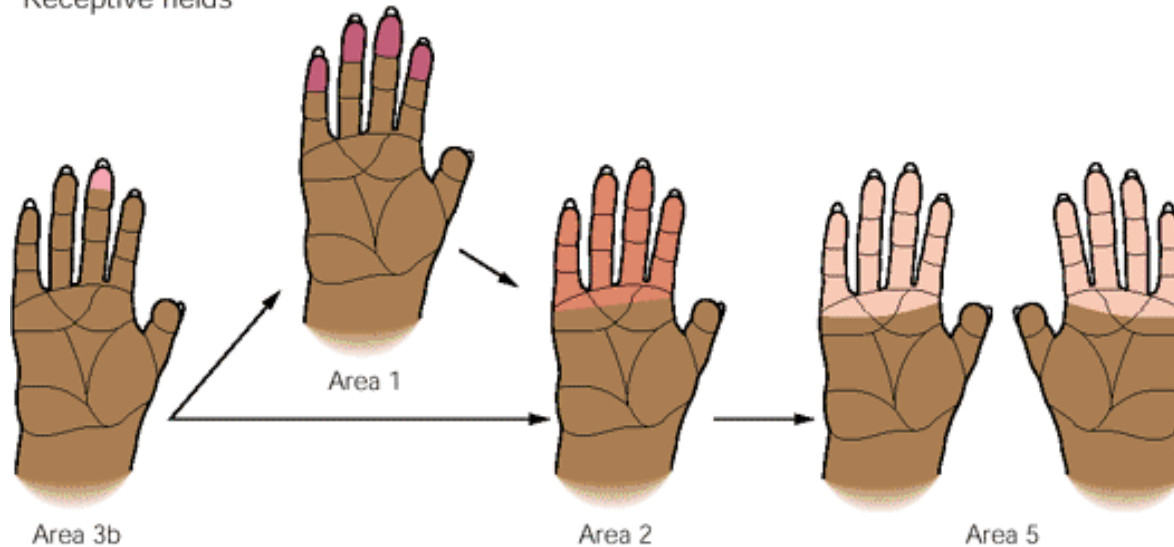
- 3 helyről átkapcsolódás
 - Dorzális kolumnák
 - Thalamus
 - Kéreg
- Ezekre a sejtekre is igaz:
 - Gyorsan vagy lassan adaptálódó, van RM-jük
- Bármely bőrpont reprezentálódik a kéregben
- RM-jük lényegesen nagyobb, mint a dorzális gyökér ganglion sejteké
- PP: bilaterális, szimmetrikus, reprezentáció funkcionális és nem topografikus!! (gyakorlás, fejlődés)
- Legerősebb választ akkor, ha a RM-jük közepét ingerlik
- Finom megkülönböztetésre nem képesek, válaszmintázat, illetve annak eloszlása alapján kódolnak
- A RM méretének növekedése a relay nucleusokon belüli anatómiai hálózatot tükrözi
 - Relay nucleusok – dorzális kolumna/Thalamus – axonok következő állomásra megy vagy helyi interneuronokon végződik
 - Konvergencia és divergencia
 - Bármely szenzoros afferens – elágazik – postsynapticus neuronok, de ezek más axonokból is kapnak infót → divergencia is!

RM-k méretének alakulása

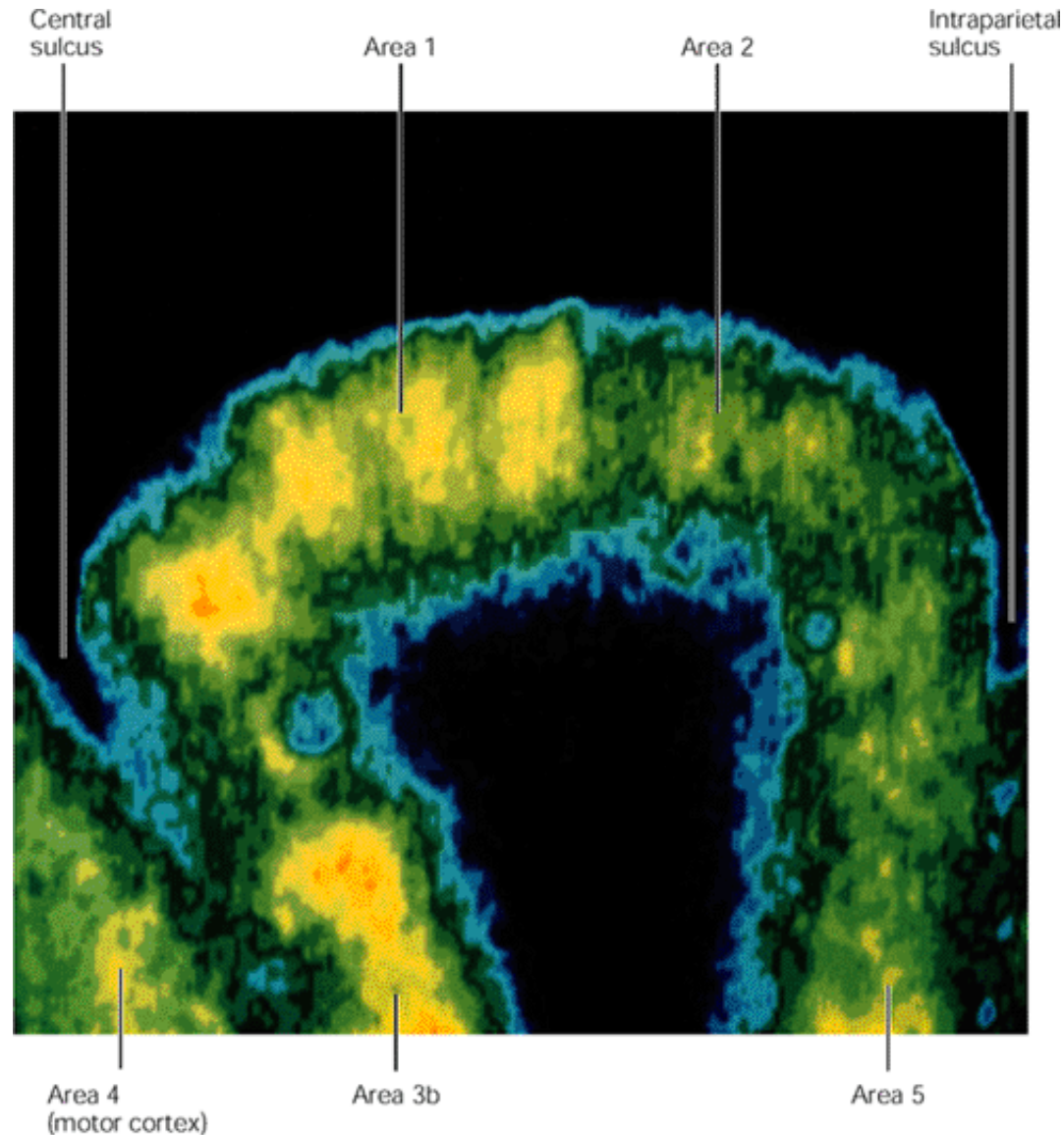
Cortical recording sites



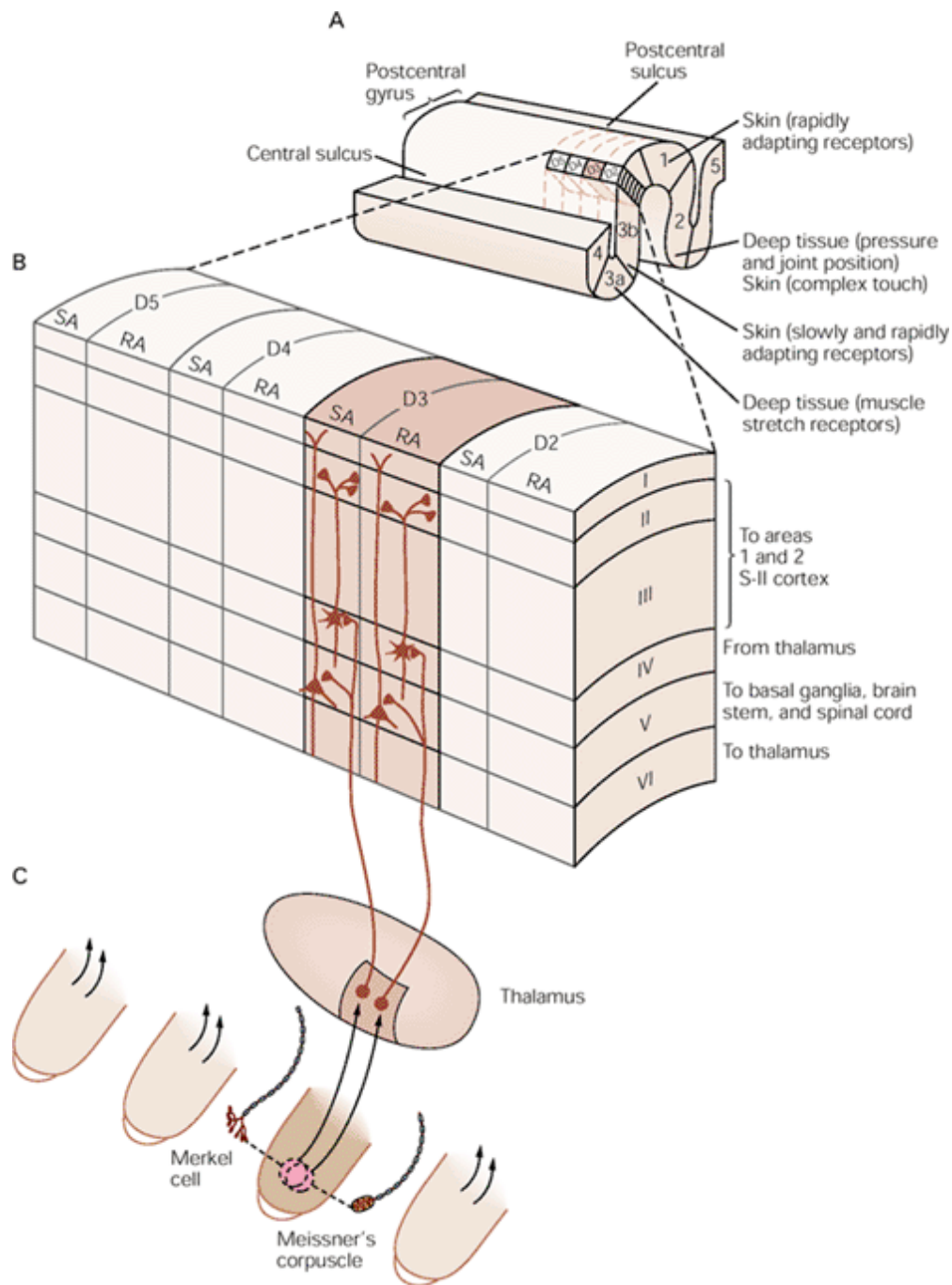
Receptive fields



- A szomatoszenzoros kéregbe jövő input kolumnákba szerveződik a RM-k és a modalitás alapján

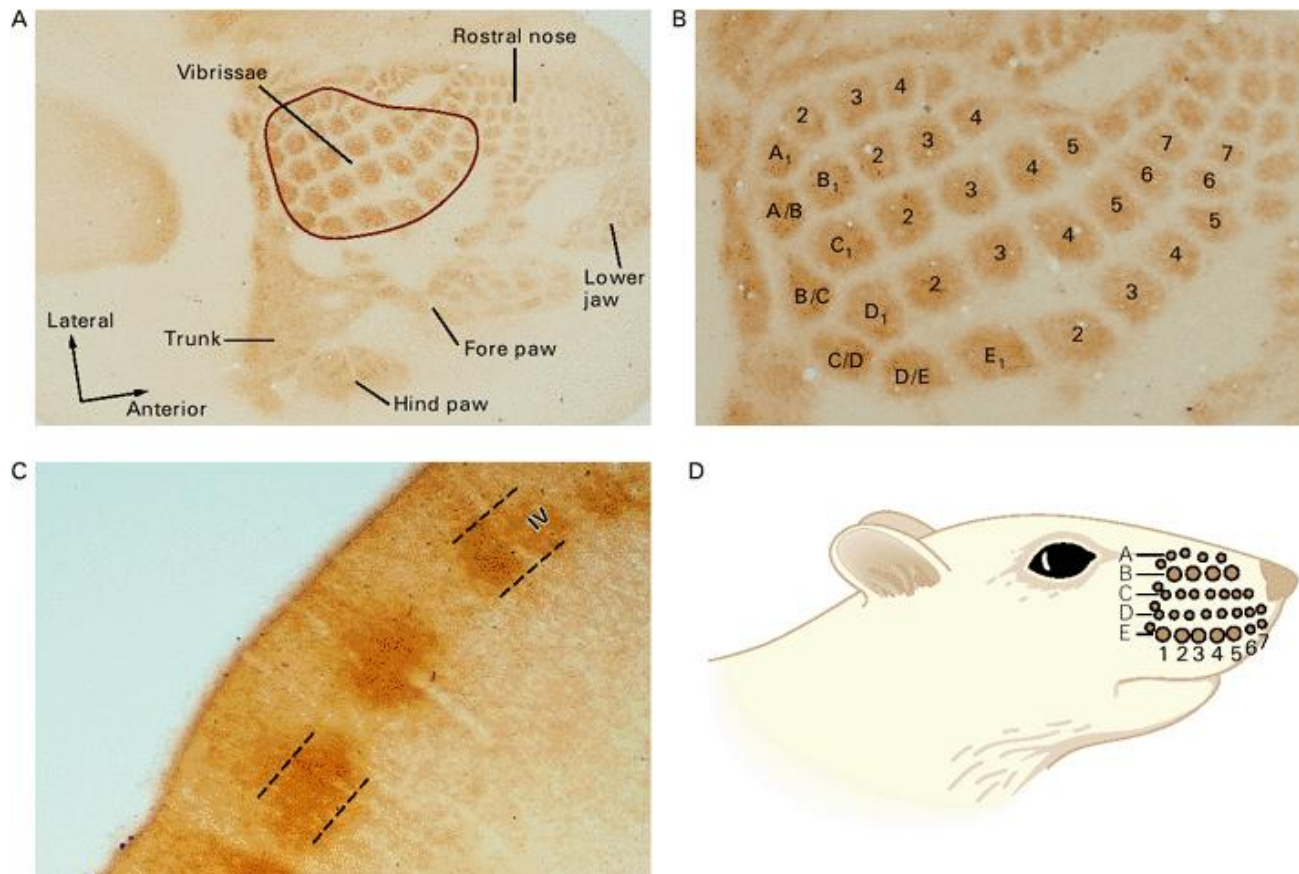


- Bár a konvergencia változtat a reprezentáción, de a topográfia ezen a szinten még megmarad
- Mountcastle: kéreg kolumnáris szerveződése
 - 6 réteg
 - 1 kolumna: ugyanazon bőrterületről egy adott ingertípusra
 - Fő központ a 4. réteg – modul
 - 4. rétegben csillagsejtek, ide futnak be a Thalamus afferensei – innen: kéreg felszíne
 - Axonjaikhoz kapcsolódnak a piramis sejtek apikális dendritjei
 - Modalitás-specifititás (nem meglepő, már a pálya is más!)
 - Minden egyes területen van egy domináns modalitás
 - 3a: izomnyújtás, propiocepció
 - 3b: bőrmechanoreceptorokból (külön kolumna adaptációs tulajdonságuk alapján)
 - 1: gyorsan adaptáló bőrreceptorok, de 3b-nél nagyobb RM, ujjak
 - 2 és magasabb: szűkebb, komplexebb – lassan és gyorsan adaptálódó bőrreceptorok és izom/ízület propiocepció



Téri felbontás a kéregben

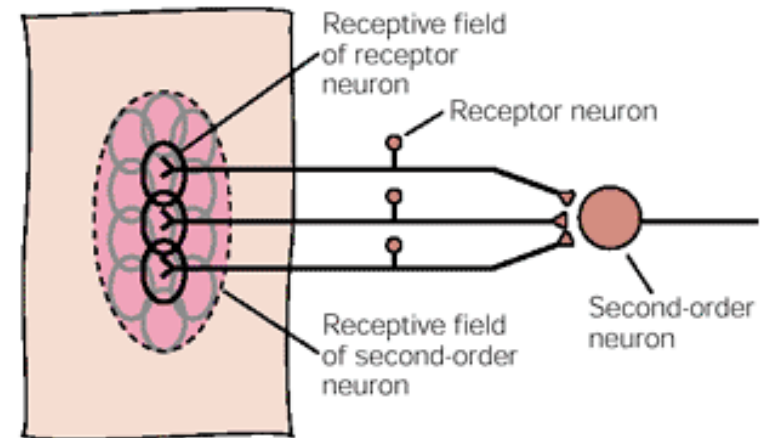
- A bőr beidegződésének sűrűségével korrelál
- Más élőlények – más kérgi reprezentáció



Serkentés - gátlás

- Komplexebb területek aktivitása növekszik, ha több pontot egyszerre érintünk
- A gátló hálózatok árnyalják a téri felbontást azáltal, hogy korlátozzák a serkentés szórását

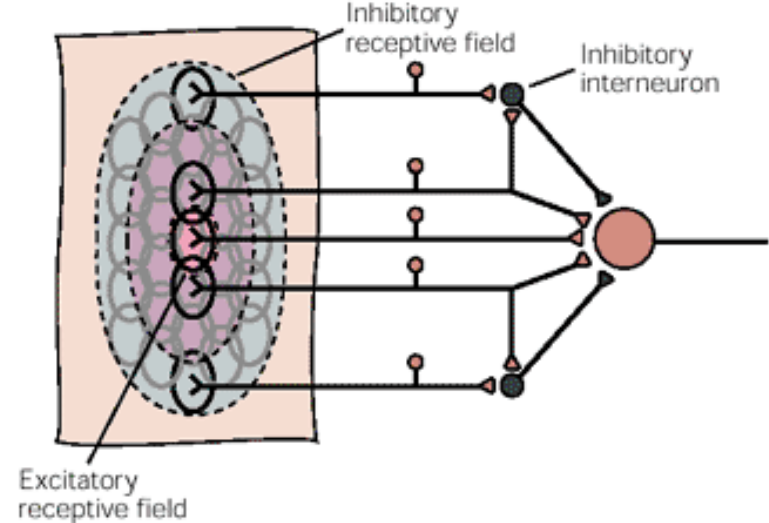
A Convergent excitation



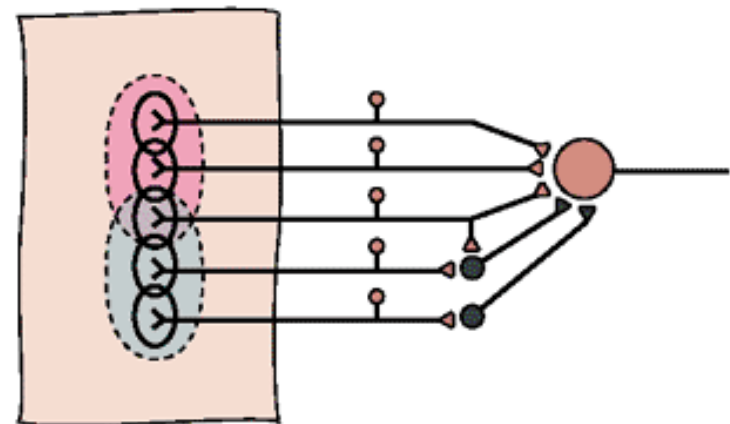
Gátlás

- Széli gátlás – serkentő központ, gátló környezet/szél
- Gátló válaszok jöhetnek: dorzális kolumnák nucleusainak interneuronjai, Thalamus
ventr.post.lat.nucl., kéreg
- Winner-take-all: legerősebb neuron legátolja a többit

B Surround inhibition



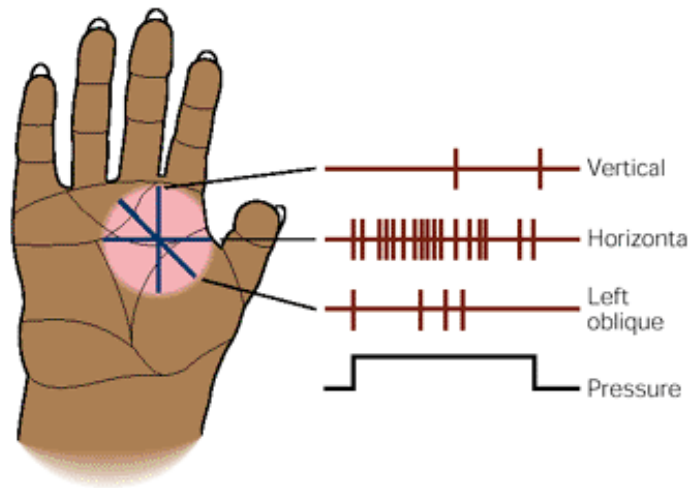
C Lateral inhibition



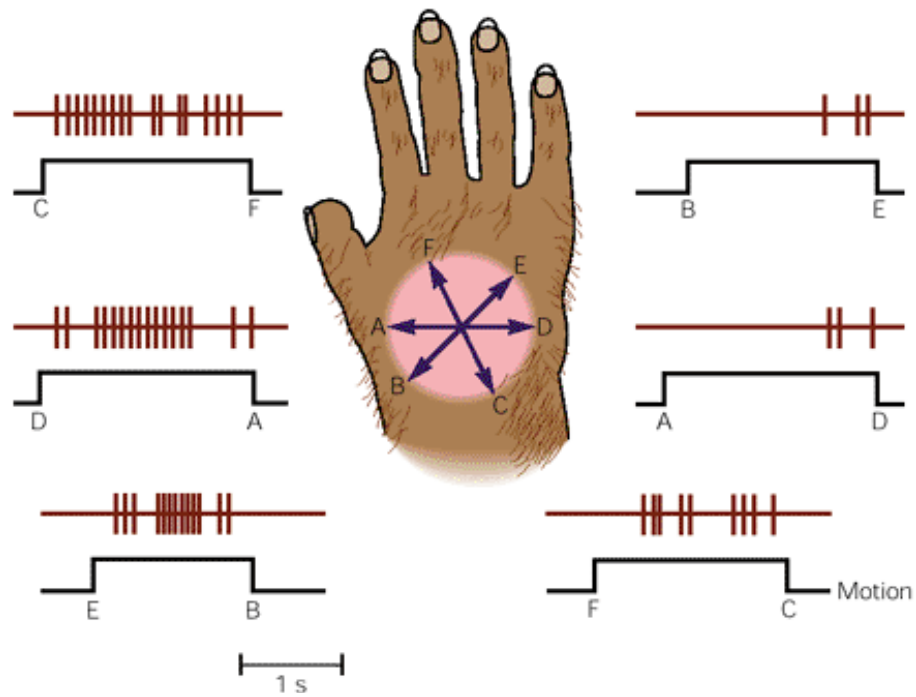
Magasabb kérgi területek

- Komplex vonás-detektáló tulajdonság
- Lehet, mert
 - Egyre nagyobb RM
 - Gátlás miatt állandó változás
 - Komplexebb ingerekre válaszol
 - Almodalitások – PP asszociációs kéreg
 - Pl. Br2: orientáció és irány-szenzitív, komplexebb viselkedés: értenyúlás
 - PP asszoc: más modalitásokat is beleintegrál
 - Ezek párhuzamosan dolgozódnak fel

A Orientation-sensitive neuron



B Direction-sensitive neuron



Szelektív figyelem

- Módosíthatja a tüzelési mintázatot a kérgi feldolgozás magasabb szintjein

Léziók

- Tabes dorsalis – a dorzális gyökér ganglionok nagy átmérőjű neuronjait pusztítja el, ezáltal a myelinizált rostok degenerációját okozza
- Deficitek, ha a dorzális kolumnát átvágjuk: bőrön mozgásirány detektálása, vibráció frekvenciájának megállapítása, 2 inger közötti relatív pozíció meghatározása, 2pont diszkrimináció sérül/tűnik el
- Kéregben: SI. teljesen: pozíció-érzékelés, méret-, textúra- és alakdiszkriminációs képesség, DE: fájdalom és hőérzékelést ugyan befolyásolja, de nincs teljes kiesés
 - 3b: textúra diszkrimináció, méret, alak
 - 1: textúra kiértékelése
 - 2: alak, méret megkülönböztetési képesség
- SII.: alak, textúra, tárgy alakján alapuló új taktilis diszkrimináció elsajátítása
- PP asszoc.: komplex szenzorimotoros abnormalitások

Br2 – GABA agonista fecskendezése

Ipsilateral hand



Contralateral hand



Irodalom

- Kandel – Schwartz – Jessell: Principles of neural science
– 22. – 23. fejezet

