

43. Zrakový systém – fyziologická optika, morfológická a funkčná charakteristika sietnice, dráhy, spoje

Zrak je pre nás najvýznamnejším zmyslom, čo sa týka získavania informácií o našom okolí. Uvádza sa, že približne 80% informácií získavame práve zrakom. Zrak môžeme definovať ako schopnosť získavať prijímať a spracovávať informácie z okolia prostredníctvom viditeľného svetla, ktoré dopadá na sietnicu. Naše oko je schopné vnímať elektromagnetické žiarenie o vlnových dĺžkach **400-750 nm**.

(oči sú zložené zmyslové orgány, ktoré sa vyvinuli z primitívnych svetločivných škvŕn na povrchu tela bezobratlých)

STAVBA OKA

Vonkajšia ochranná vrstva **bulbu (skléra)** prechádza vpredu v priehľadnú **rohovku (cornea)**.

Pod sklérou je pigmentovaná vrstva **cievnatka (choroidea)**, jej zadné 2/3 vystiela **nervová tkáň – sietnica (retina)** obsahujúca receptorové bunky. **Čočka (lens)** je zavesená na vláknach závesného aparátu, ten sa upína na časť cievnatky – **riasnaté teliesko (corpus ciliare)**. Jeho hlavnou súčasťou je hladký sval zvaný m.ciliaris.

Pred čočkou je nepriehľadná pigmentovaná **dúhovka (iris)**, obsahuje 2 hladké svaly → m.sphincter pupillae a m.dilatator pupillae, ktoré zužujú a rozširujú **zornicu (pupilla)**. Zornica je kruhovitý otvor v centre dúhovky.

Priestor medzi čočkou a sietnicou vyplňuje **skliviec (corpus vitreum)**. **Komorová voda (humor aqueus)** je tvorená riasnatým telesom do zadnej očnej komory, odtiaľ následne prechádza do prednej očnej komory a odtieká do Schlemmovho kanáliku a následne do venózneho systému oka. Komorová voda vytvára určitý tlak na skliviec a stenu bulbu a tým vytvára správny tonus očnej gule. Tlak komorovej vody sa označuje ako vnútroočný tlak (okolo 15 mmHg), pokiaľ dôjde k vzrastu tlaku komorovej vody, tak toto ochorenie nazývame **glaukoma (zelený očný zákal)**.

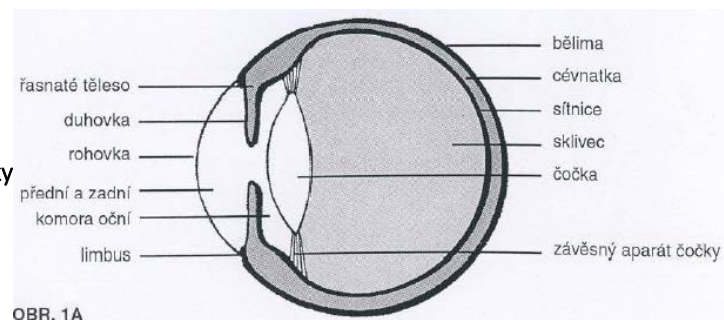
SIETNICA

Sietnica zasahuje do prednej časti oka takmer k riasnatému telesu. Je tvorená 10 vrstvami a obsahuje svetločivé elementy – **tyčinky** a **čípky** a 4 typy neurónov – **bipolárne bunky**, **gangliové bunky**, **horizontálne bunky** a **amakrinné bunky**.

Tyčinky a čípky, ktoré sú najbližšie cievnatke tvoria synaptické spojenia s bipolárnymi bunkami, ktoré sa ďalej napojujú na bunky gangliové. Axony gangliových buniek opúšťajú oko ako zrakový nerv. **Horizontálne bunky** spájajú navzájom receptorové bunky vo vonkajšej plexiformnej vrstve.

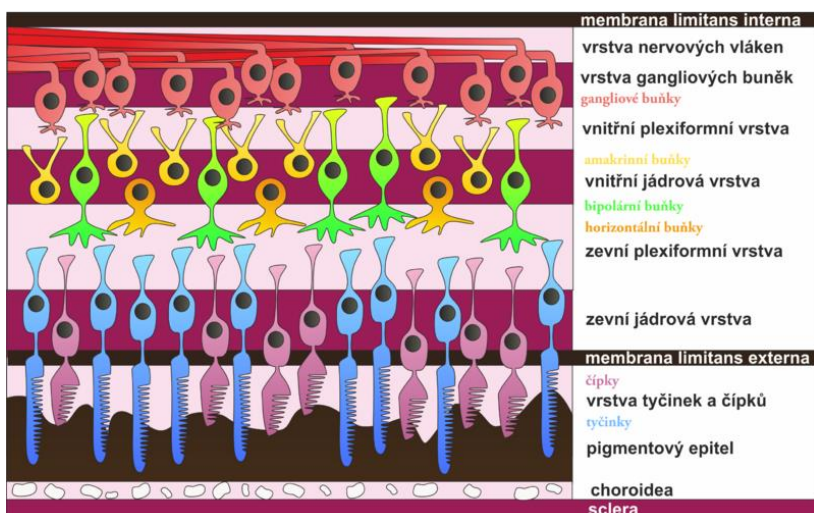
Amakrinné bunky spájajú navzájom gangliové bunky vo vnútornej plexiformnej vrstve. Svetelné lúče prechádzajú vrstvou gangliových a bipolárných buniek, dostanú sa k tyčinkám a čípkom. **Pigmentová vrstva** pohlcuje svetelné paprsky a bráni ich spätnému odrazu (pôsobí by rozmazané videnie). Nervové elementy sietnice sú navzájom spojené gliovými bunkami, ktoré sa nazývajú **Mullerove bunky**. Výbežky týchto buniek tvoria vonkajšiu a vnútornú limitujúcu membránu sietnice. Zrakový nerv opúšťa oko v oblasti **papily (ductus opticus)**

tu vystupujú aj cievy. V tomto mieste nie sú žiadne zrakové receptory – **slepá škvrna**. Na zadnom poli oka je ešte **macula lutea**, označuje polohu **foveola centralis** (stenčené miesto, kde sú len čípky). Miesto najvyššej zrakovej ostrosti.

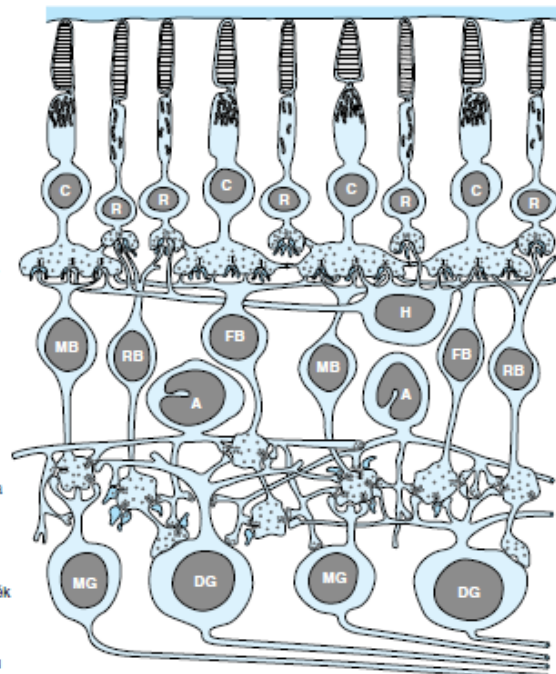


OBR. 1A

10 vrstiev sietnice



pigmentový epitel
tyčinky a čípky
zvoní segmenty
vnútorné segmenty
zvoní jadrová vrstva
zvoní plexiformná vrstva
vnútorná jadrová vrstva
vnútorná plexiformná vrstva
vrstva gangliových buniek
vlákna zrakového nervu



Prídatné štruktúry oka :

-očné viečka, očné riasy a obočie, slzný aparát, spojivka, 6 okohybných svalov (4 priame a 2 šikmé) :
M.rectus inferior, superior, medialis (n.oculomotorius) a lateralis (n.abducens)
M.obliquus superior a inferior (n.trochlearis)

MECHANIZMUS VZNIKU OBRAZU

Oči premieňajú svetelnú energiu viditeľného spektra (397-723nm) na akčné potenciály vlákien zrakového nervu. Obrazy predmetu okolného prostredia sa premietajú na sietnici. Svetelné lúče dopadajúce na sietnicu vyvolávajú receptorové potenciály v tyčinkách a čípkoch. Vrzuchy vzniknuté v sietnici sa prenášajú do mozgovnej kôry, kde vyvolávajú zrakový vnem.

OPTICKÝ APARÁT OKA je tvorený **ROHOVKOU, ČOČKOU, KOMOROVOU VODOU A SKLIVCOM** (sú to 4 prostredia, ktorými musí prejsť lúč svetla). Na sietnici vzniká obraz **skutočný, zmenšený a prevrátený**. CNS si ho sám transformuje do skutočnej podoby. Aby mohol vzniknúť na sietnici čo najpresnejší obraz, musí byť zachovaná priehľadnosť, tvarová stálosť a hladký povrch optického aparátu. Na rohovke to zaisťujú **slzy**. Vyrovnávajú nerovnosti, odplavujú prach, chránia rohovku pred vyschnutím a infekciami (obsahujú lyzozým). Ďalej slúžia ako film, po ktorom kľúzu viečka.

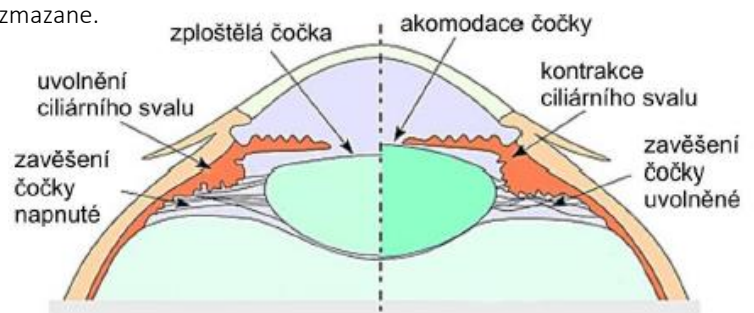
Svetelné lúče sa lámu pri prechode čočkou (uzlovým bodom = leží na prechode strednej a zadnej tretiny čočky) do **ohniska**, ktoré sa nachádza **na sietnici**. Vzdialenosť medzi čočkou a sietnicou (ohniskom) nazývame **ohnisková vzdialenosť**. **Optická mohutnosť oka** je veličina, ktorá vyjadruje lámavú schopnosť čočky. Jednotkou optickej mohutnosti je **dioptria D**, čo je prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti udávaná v metroch (napr. 2D znamená ohnisková vzdialenosť 0,5 -1/2m, prevrátená hodnota 2/1). **Celková optická mohutnosť oka** je približne **59 D** (rohovka má 43 D a čočka 16 D). Svetelné lúče vychádzajúce z predmetu, ktorý sa nachádza ďalej ako 6m, prichádzajú **rovnoobežne** a pretínajú sa v ohniskovej rovine, vtedy je očná šošovka oploštená a má najmenšiu optickú mohutnosť 19D. Pokiaľ by sa však objekt priblížil bližšie ako na 6m, tak by lúče prichádzali ako **rozbiehavé**. Na základe tohto musí dôjsť k zmene v oku, inak by sa lúče pretínali až za sietnicou, preto vzrastá optická mohutnosť oka pri pohľade na blízke predmety, ktorá sa nazýva ako **akomodácia** (napomáha k zaostreniu predmetov). Z riasnatého telesa vychádzajú **vlákna = zonula Zinni**, na ktorých je zavesená čočka (tzv. závesný aparát čočky). Súčasťou riasnatého telesa je aj **m.ciliaris**, ktorý je parasympticky inervovaný z n.oculomotorius (n.III). **Pri akomodácii** sa tento sval **kontrahuje**, čo spôsobí **uvoľnenie ťahu** závesného aparátu čočky. Čočka sa potom vyklenie (hlavne na prednej ploche), čím sa zvýši jej optická mohutnosť a teda lomivosť.

Blízky bod (punctum proximum) – stanovujeme pri maximálnej akomodácii. Jedná sa o najbližší bod, ktorý ešte vidíme ostro. Pokiaľ by sme predmet v blízkom bode posunuli ešte bližšie k oku, naša čočka už nebude schopná zvýšiť svoju optickú mohutnosť a predmet tak uvidíme rozmazaný.

Ďaleký bod (punctum remotum) – stanovujeme pri najmenšej akomodácii. Je to miesto najďalej od oka, kde ešte predmet vidíme ostro a pre dobre vidiace oko leží ďaleký bod v nekonečnu.

Akomodačná šírka – rozdiel vzdialeností blízkeho a vzdialeného bodu, vyjadruje sa v dioptriách.

Akomodácia vedie ku konvergencii bulbov, a zúženiu zorníc. (Taktiež platí, že konvergencia bulbov vedie k akomodácii a zúženiu zorníc).



akomodace zdravého oka

Zaujímavosť – cykloplegika sú látky, ktoré blokujú sťah m.ciliaris, a tým aj akomodáciu (napr. atropin). Napr. taký eserín blokuje acetylcholinesterázu a sťah m.ciliaris tak stupňuje.

ZORNICA – je otvor v dúhovke, ktorá je

nepriepustná pre svetlo vďaka pigmentu. V dúhovke sa nachádzajú dva svaly :

-**m.sphincter pupillae** – ktorý je inervovaný **parasymptikom** (n.oculomotorius)

-**m.dilatator pupillae** – ktorý je inervovaný **sympatikom** (plexus ophthalmicus – pokračovanie plexus caroticus internus)

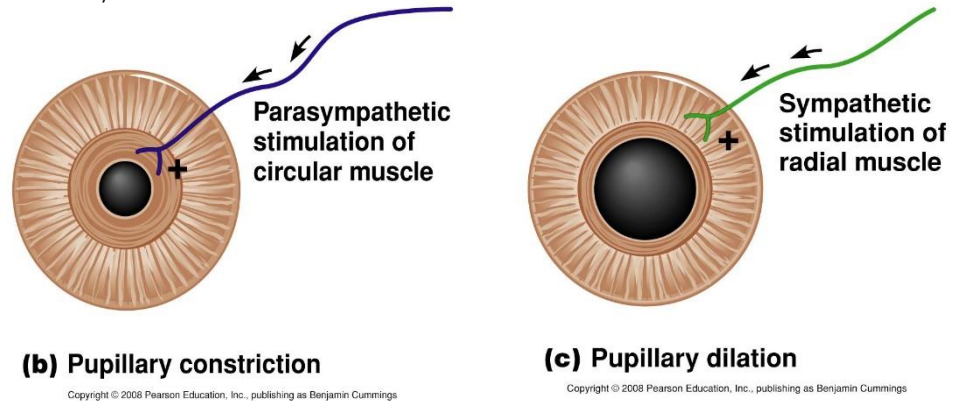
Pri osvetlení sa **kontrahuje m.sphincter pupillae** a dôjde k **zúženiu zornice = mióza**.

Zornicový reflex = pupilárny reflex, pri osvetlení jedného oka pozorujeme miózu v osvetlenom oku (priama reakcia) a v neosvetlenom oku (nepriama reakcia, konsenzuálna reakcia). Pri osvetlení jedného oka ide informácia do area pretectalis (obsahuje nuclei pretectales, prepojovacie centrum pupilárneho reflexu)

a odtiaľ do **Edinger- Westphalových jadier** pravého aj ľavého oka (parasympatické jadro n.III). Z nich idú následne informácie do oboch očí, a teda dôjde k zúženiu zornice na osvetlenom i neosvetlenom oku.

V tme sa naopak kontrahuje **m.dilatator pupillae** (a relaxuje m. sphincter pupillae), čím dôjde k **rozšíreniu zornice = mydriáza**. Centrum sympatiku pre tento reflex je v mieche - segmenty C8 –Th1. Mydriázu navodia okrem nedostatku svetla aj bolestivé podnety (psychosenzorický reflex) a pozorujeme ju taktiež pri prebudení (navodené z retikulárnej formácie).

Zaujímavosť – šírka pupily sa používa ako ukazovateľ hĺbky narkózy. Farmaka, ktoré ovplyvňujú šírku zornice, označujeme ako tzv. miotika a mydriatika.



FAREBNÉ VIDENIE

Už dávne existovala tzv. Young-Helmholtzova teória farebného videnia, ktorá tvrdila, že v našej sietnici sú 3 druhy čípkov s 3 rôznymi fotopigmentami. Máme 3 základné farby – červená, zelená a modrá. Z týchto troch farieb dokážeme namiešať všetky ostatné farby. Čípky sú maximálne citlivé na jednu vlnovú dĺžku, reagujú taktiež aj na iné vlnové dĺžky. Jak veľký bude receptorový potenciál vyvolaný svetlom, závisí jak na farbe svetla, tak na jeho intenzite.

Čípky – máme približne **6 miliónov**. Umožňujú nám vnímať odtieň (zelená, červená) a sýtosť (intenzita farby). V sietnici nachádzame 3 druhy čípkov, ktoré sa líšia svojou citlivosťou k rôznym vlnovým dĺžkam. Jedny sú maximálne citlivé ku krátkovlnnej časti spektra (420nm, modrá), druhé ku stredovlnnej (530 nm, zelená) a tretie k dlhovlnnej (560nm, červená). Na podráždenie čípkov je potreba minimálne 100 fotónov.

Tyčinky – máme asi 120 miliónov a sme vďaka nim schopní vnímať kontrast (dôležité u adaptácie na tmu). Sú najcitlivejšie na vlnovú dĺžku 500 nm. Tyčinku podráždi 1 fotón (tyčinky sú teda 100x citlivejšie na svetlo, než čípky).

Vonkajšie segmenty fotoreceptorov obsahujú **doštičky** s fotopigmentom. V čípkoch sú tieto doštičky súčasťou invaginácií bunecnej membrány, zatiaľ čo v tyčinkách sú od membrány oddelené.

Normálne videnie je **trichromatické**. Pokiaľ je niektorý z farebných mechanizmov oslabený, hovoríme o **anomáliach**:

- protanomália – oslabené vnímanie červenej farby
- deuteroanomália – oslabené vnímanie zelenej farby
- tritanoanomália – oslabené vnímanie modrej farby

V okamihu, kedy jedincom chýba z celého jeden druh čípkov (toxické látky, geneticky dané), hovoríme o **dichromatickom videní**:

- protanopia – osoba nevníma červenú farbu (vníma ju ako žltú)
- deutanopia – osoba nevníma zelenú farbu (vníma ju ako žltú)
- tritanopia – osoba nevníma modrú farbu (vníma ju ako žltú)

Monochromát (achromát) nerozoznáva farby vôbec.

VADY PROJEKČNÉHO MECHANIZMU :

Myopia – krátkozrakosť, lúče sa lámu do ohniska pred sietnicou. Korekcia – robí sa okuliarmi s **čočkou rozptylkou**
Hypermetropia (hyperopia) – ďalekozrakosť, lúče sa lámu do ohniska za sietnicou. Korekcia – vada sa koriguje **čočkou spojkou**.

Astigmatizmus – nerovnomerné zakrivenie rohovky, svetelné lúče sa lámu do iného ohniska – neostrý obraz.

Presbyopia – bod sa v priebehu života neustále vziaľuje (strata pružnosti čočky), je možno korigovať bikonvexnými čočkami

Šerosleposť – vážny nedostatok vitamínu A, nedostatok rhodopsinu prejavujúci sa hlavne za šera zhoršeným videním, nastáva rovnako degenerácia čipkov. Normálna zásoba vitamínu A vydrží mesiace, dôležité sú aj ďalšie vitamíny – napr. komplex B.

Mechanizmus fotorecepcie

Zmeny potenciálov vedúcich k vzniku AP v sietnici sú vyvolané pôsobením svetla na fotosenzitívne zlúčeniny v tyčinkách (ČB videnie) a čípkoch (farebné videnie). Pri absorpcii svetla týmito látkami sa mení ich štruktúra – deje vedúce k vzniku neuronálnej aktivity.

Tyčinky a čípky, tzv. **fotoreceptory** (receptory reagujúce na svetlo, primárne zmyslové bunky), obsahujú fotopigment **rhodopsin** (membránový glykoproteín, zrakový purpur). **Rhodopsin** je zložený z **retinalu** (aldehyd vitamínu A) a proteínovej zložky **opsinu** (=skotopsinu). **Citlivosť fotoreceptorov** na rôzne vlnové dĺžky je daná odlišnou štruktúrou opsinu (retinal je pre všetky fotoreceptory rovnaký).

Rozklad rhodopsinu a transdukčný proces :

Rhodopsin prechádza na svetle konformačnými zmenami. Prvou zmenou je izomerácia z **11 cis-retinalu** na **all-trans retinal**. Následuje jeho (už bez nutného účinku svetla) rozpad cez radu medziproduktov na **metarhodopsin II**. Ten je fosforylovaný (rhodopsin kináza) a po naviazaní **arrestinu** sa od opsinu odpojí all-trans retinal. Po odpojení naopak dochádza k strate arrestinu, spätnej defosforylácii opsinu a naviazaniu ďalšieho 11-cis retinalu. All-trans retinal sa dostáva do pigmentového epitelu, kde dochádza k jeho izomerácii späť na 11-cis retinal a následne je transportovaný späť do vonkajšieho segmentu fotoreceptoru, kde sa naviaže na opsin za vzniku nového rhodopsinu.

Pre transdukčný proces je dôležitá interakcia metarhodopsinu II s G proteínom - **transducinom**. Pri tejto interakcii dôjde k výmene GDP za GTP. Tým sa aktivuje **fosfodiesteráza**, ktorá štiepi cGMP. Úloha cGMP – udržiava otvorené iónové kanály, cez ktoré prúdi Na^+ a Ca^{2+} do vonkajšieho segmentu fotoreceptorov. To pre nás znamená, že za tmy sú tieto kanály otvorené, fotoreceptor je **depolarizovaný** (na -40mV) a na synapsiách s bipolárnymi bunkami tak dochádza k vyplavovaniu **glutamátu** (excitačný neurotransmitter). Pokiaľ dôjde k hydrolýze cGMP, tieto kanály sa uzatvoria a vznikne **hyperpolarizačný receptorový potenciál** (-70mV), ktorý blokuje vyplavovanie ďalšieho glutamátu. Na **bipolárnych neurónoch** dochádza následne k zmene membránového potenciálu, čo spôsobí **depolarizáciu gangliových buniek a vznik ATP**.

Významnú úlohu pri transdukcii zastávajú **Ca^{2+} ióny**. Za tmy je ich stála koncentrácia vo vnútri vonkajšieho segmentu udržiavaná pomocou **$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ výmenníku** (1Ca^{2+} ide von za 3Na^+ dnu). Za svetla dochádza k zníženiu koncentrácie vápenatých iónov (výmenník stále funguje). Po dosiahnutí koncentrácie asi 100 nmol/l dochádza k aktivácii membránovej **guanylátcykasy**, čím začne **vznikať nové cGMP** (z GTP), otvoria sa iónové kanály a fotoreceptor tak bude pripravený prijať ďalší svetelný podnet.

Inaktivácia transdukčného procesu je daná tým, že alfa podjednotka transducinu má GTPázovú aktivitu, a teda štiepi naviazané GTP na GDP. Na inaktivácii sa taktiež podieľa fosforylácia metarhodopsinu II a naviazane arrestinu, ktorý zabráni väzbe metarhodopsinu II na transducin.

Gangliové bunky sú prostredníctvom bipolárnych neurónov napojené na skupinu fotoreceptorov z približne kruhovej oblasti – **tzv. receptívne pole**. Zatiaľ čo fotoreceptory a horizontálne bunky reagujú na dopadajúce svetlo vždy hyperpolarizáciou, u **bipolárnych neurónov čipkov** závisí, či sú na periférii alebo v centre receptívneho poľa. Pokiaľ sú pri dopade svetla **depolarizované bipolárne neuróny centra** (tzv. on bunky, zapínacie bunky), **tak bipolárne neuróny periférie sú hyperpolarizované** (tzv. off bunky, vypínacie bipolárne neuróny).

Pokiaľ sú naopak pri dopade svetla **hyperpolarizované bipolárne neuróny centra** (off bunky), tak **bipolárne neuróny na periférii** sú **depolarizované** (on bunky).

U **bipolárnych neurónov tyčín** dochádza v celom rozsahu receptívneho poľa k **hyperpolarizácií**.

Gangliové bunky pracujú na rovnakom princípe :

On centrum gangliovej bunky **zvyší počet AP pri osvite centra** receptorového poľa, **zatiaľ čo pri osvite periférie dochádza k zníženiu vznikajúcich AP.**

Off centrum gangliovej bunky **naopak zníži počet AP pri osvite centra**, **zatiaľ čo pri osvite periférie dôjde k zvýšeniu frekvencie AP.** Platí to len pri informácii vedené čípkami.

Pre informácie vedené **tyčkami** dochádza k aktivácii jak on tak off-centrum gangliových buniek.

ADAPTÁCIA NA SVETLO A NA TMU

Pokiaľ trávime dlhšiu dobu v jasne osvetlenom prostredí a prideme do šera, naša sietnica je citlivejšia na svetlo a zvyká si na tmu = zníženie zrakového prahu = **adaptácia na tmu** (max cca 20min).

Čas nutný pre adaptáciu na tmu je čiastočne daný dobou, ktorá je za potreby pre obnovenie zásob rhodopsinu. Za jasného svetla sa veľké množstvo tohto pigmentu neustále štiepi a preto je nevyhnutná určitá doba pobytu v šere, aby sa nahromadilo množstvo nevyhnutné pre optimálnu činnosť tyčín.

Keď niekto náhle príde zo šera do jasného svetla, svetlo sa zdá byť silné a dokonca až nepríjemné do tej doby, než sa oči zadaptujú, to je dokým nestúpne zrakový prah.

Táto adaptácia na svetlo nastane asi za 5 min.

Zrakový prah = najmenšie množstvo svetla, ktoré vyvolá zrakový vnem.

ZRAKOVÁ OSTROST' (skopirovala som to z prezentácie)

Označuje presnosť, s jakou lze vnímat detaily a obrysy pozorovaného předmětu.

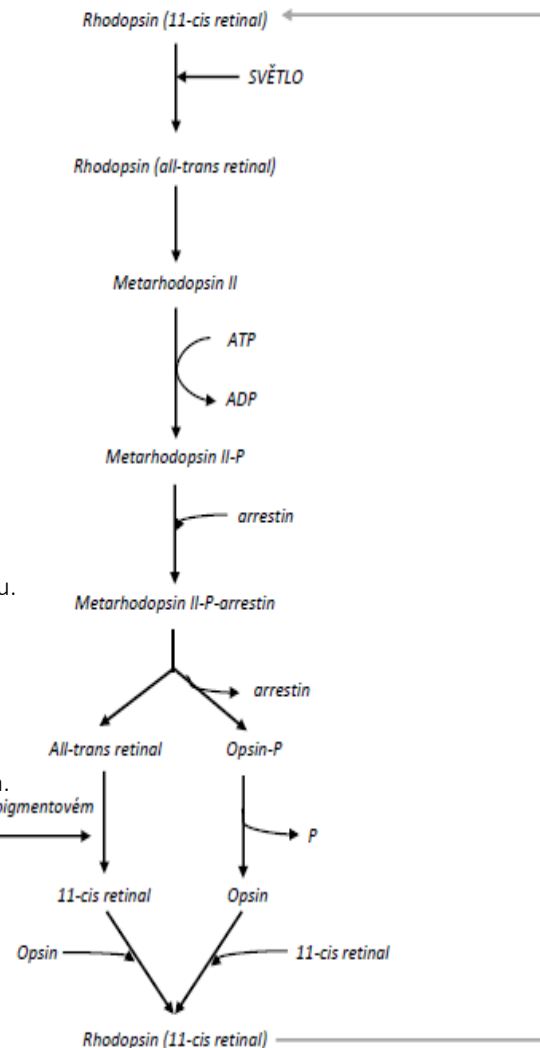
Zraková ostrost je definována jako prostorový práh (**minimum separabile**) = schopnost odlišit 2 body v prostoru ve vzájemné minimální vzdálenosti (vzdálenost jejich obrázků na sítnici závisí na jejich vzdálenosti mezi sebou a na jejich vzdálenosti od oka, tj. na úhlu, který svírají jejich paprsky vycházející z těchto bodů).

Minimální zorný úhel má nejnížší hodnotu ve fovea centralis = 1 úhlová minuta.

V tomto zorném úhlu vidíme ze vzdálenosti 6 m detaily písmen Snellenových optotypů v řádce označené jako D = 6.

Optotypy jsou konstruovány tak, že písmena v řádce jsou vidět pod úhlem 5 min, jednotlivé čáry písmen jsou odděleny pod úhlem 1 min.

Normální zraková ostrost: $V = 6/6$



ZORNÉ POLE A BINOKULÁRNE VIDENIE (aj toto som skopirovala)

Část prostoru, kterou vidíme daným okem. Mělo by být kruhové, omezeno nosem a stropem očníce.

Periferní část zorného pole se stanovují pomocí **perimetru, perimetrie**.

Postup: jedno oko zakryté, druhé je fixováno na centrální bod. Směrem k tomuto bodu pohybujeme po jednotlivých polednicích malým terčíkem (světelný bod) a polohu, ve které vyšetřovaný bod spatří, vyjadřujeme určitým úhlem, charakterizujícím vzdálenost od centrálního bodu. Skotomy.

Centrální části zorných polí očí se překrývají, proto kterýkoliv objekt v této části prostoru vidíme **binokulárně**.

Vzruchy vyvolané dopadem paprsků z daného předmětu na obě sítnice na korové úrovni splývají v jediný obraz.

Body na sítnici, na které musí obraz pozorovaného předmětu dopadnout, má-li být vnímán binokulárně, jsou **korespondující body**. Binokulární vidění je důležité při vnímání vzdálenosti.

Je dôležité si ujasniť pred popisom zrakovej dráhy tzv. magnocelulárny (M) a parvocelulárny (P) projekčný systém. Tieto projekčné systémy začínajú na úrovni gangliových buniek :

Magnocelulárny systém – pozostáva z magnocelulárnych gangliových buniek (tvoria **10%** všetkých gangliových buniek), ktoré majú veľké receptívne pole. Tieto bunky vysielajú svoje axony do magnocelulárnych vrstiev corpus geniculatum laterale (1. a 2.vrstva). Projekcia následne prebieha **do povrchových častí zrakovej kôry**. Vlákná M systému vedú informácia rýchlo. **M systém zaisťuje hlavne vnímanie pohybu a lokalizáciu.**

Parvocelulárny systém – je zložený z parvocelulárnych gangliových buniek (**80%**) s malými receptívnymi poľami. Ich axóny vedú do parvocelulárnych vrstiev corpus geniculatum laterale (3. a 6.vrstva). Z týchto vrstiev vedú informácie **do hĺbkovej zrakovej kôry**. P systémom sú informácie vedené pomaly. **Týmto systémom sú rozlišované predovšetkým farby a tvary.**

Existuje ešte **tzv. koniocelulárny systém**, ktorý je zložený z koniocelulárnych gangliových buniek (zostávajúcich **10%**). Axony týchto gangliových buniek vedú do stredného mozgu (nucleus colliculus superior) a **riadia rôzne zrakové reflexy (pupilárny reflex).**

Zraková dráha – 4 neurónová senzitívna dráha, patrí medzi senzorické dráhy.

Prvé neuróny – sú **špeciálne svetločivné bunky** (ich denrit je premenený vo svetločivný výbežok premieňajúci svetelné podnety na nervové signály, ich krátke axony smerujú do vnútra, kde sa napojujú na dendrti bipolárnych buniek

Druhé neuróny – sú **bipolárne neuróny**, ktoré sa súhrnne nazývajú ganglion retinae

Tretie neuróny – sú **gangliové bunky**, označované súhrnne ako ganglion opticum

Štvrté neuróny – sú **bunky corpus geniculatum laterale**, ich axony tvoria radiatio optica

Axony gangliových buniek vytvárajú **n.opticus**, ktorý opúšťa sietnicu v mieste **macula caeca** (slepá škvrna).

N. opticus pokračuje až k miestu **chiasma opticum**, kde sa informácia z jednej polovice oka kríži a druhá pokračuje na rovnakej strane do vyšších úrovní CNS (za chiasma opticum už nehovoríme o n.opticus, ale o tractus opticus):

- **Informácie z nasálnej poloviny sietnice sa krížia** a prechádzajú tak druhostranným tractus opticus (čiže z pravého oka pokračujú informácie z nazálnej polovice ľavým tractus opticus, u ľavého oka naopak).
- **Informácie z temporálnej poloviny sietnice sa nekrížia** a do CNS prechádzajú rovnakostranným tractus opticus (z pravého oka idú informácie z temporálnej polovice pravým tractus opticus, u ľavého oka naopak).

Tractus opticus sa vo svojom priebehu ďalej delí :

- **Radix medialis** – ktorý nesmeruje do zrakovej kôry a cez ktorý ide menšie množstvo informácií. O zrakovom podnetu informuje predovšetkým :
Hypothalamus – a to predovšetkým nucleus suprachiasmaticus, kam idú informácie o intenzite svetla. Táto dráha má na starosti udržanie cirkadiálnych rytmov. Ďalej dochádza cez hypothalamus k ovplyvneniu niektorých vegetatívnych reflexov.
Area pretectalis – ktorá funguje ako centrum pupilárneho reflexu
Colliculi superiores – ktoré zaisťujú reflexné pohyby očí a hlavy
- **Radix lateralis** – skrz ktorý ide väčšie množstvo informácií, ktoré nakoniec skončia v primárnej zrakovej kôre. Radix lateralis je napojený na corpus geniculatum laterale .

Corpus geniculatum laterale (thalamus) obsahuje 6 jadrových vrstiev (1. vrstva je najventrálnejšia, 6.vrstva je najdorzálna), každá dostáva informácie len z jedného oka. Každý neurón v jednej z týchto vrstiev odpovedá na informáciu vedenú z určitého miesta sietnice – jedná sa teda o **retinotopické videnie**.

1.a 2. vrstva – patrí do magnocelulárneho systému (vnímanie pohybu a informácie o lokalizácii)

3. a 6. vrstva – patrí do parvocelulárneho systému (vnímanie farieb)

Z corpus geniculatum laterale pokračuje zraková dráha cestou **radiatio optica (tractus geniculocorticalis Gratioleti)**

do **primárnej zrakovej kôry (area 17)**. Jedná sa o oblasť okolo **sulcus calcarinus** (okcipitálny lalok). Sekundárna zraková kôra sa nachádza v oblastiach 18,19.

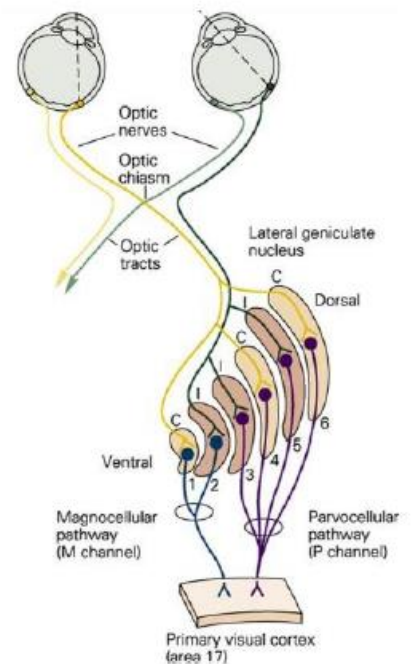
V kôre sa oddelene spracováva farba, tvar, pohyb a hĺbka. Integráciou týchto informácií následne vzniká jednotný zrakový vjem.

Dokážeme odvodiť, aké časti sietnic sú premietané do pravej a ľavej hemisféry:

- **V pravej hemisfére** – končia informácie z pravých polovic sietnic (teda z ľavých častí zorných polí)
- **Do ľavej hemisféry** – sú posielané informácie z ľavých polovic sietnic (teda z pravých častí zorných polí)

Môžeme taktiež rozlíšiť, kam sa premieta horná a dolná polovica sietnic:

- **Horné polovice sietnic** (teda dolná časť zrakového poľa) – sú premietané **nad sulcus calcarinus**
- **Dolné polovice sietnic** (teda horná časť zrakového poľa) – sú premietané **pod sulcus calcarinus**



Receptorové polia korových neurónov sú omnoho zložitejšie, než tie gangliových buniek sietnice a neurónov v corpus geniculatum laterale. Za bdelého stavu sú menšie, čím je zväčšená rozlišovacia schopnosť.

Primárna zraková kôra je rozdelená do **stĺpcov (kolumny, funkčné jednotky)**. Stĺpce ležia striedavo vedľa seba a sú aktivované z pravého alebo ľavého oka. Neuróny dvoch stĺpcov medzi sebou komunikujú, čo umožňuje porovnávať obrazy z oboch očí a vytvárať tak **priestorový vjem**.

Kolmo na tieto stĺpce sú radené stĺpce kódujúce orientáciu podnetu (všetky neuróny v jednom stĺpci reagujú zhodne na určitú orientáciu zrakového podnetu).

Medzi jednotlivé stĺpce sú vsadené tzv. **blobs** (okrsky), v ktorých je **spracovaná farba a tvar**.

Neuróny medzi jednotlivými blobs sú tzv. **interblobs**, kde sa **spracováva pohyb**.

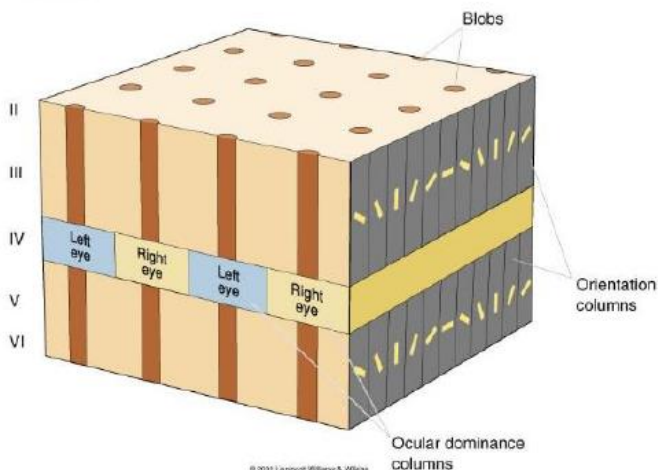
S priebehom zrakovej dráhy súvisia aj tzv. **výpadky zorného poľa – skotomy** :

Pokiaľ dôjde k poškodeniu n.opticus, dôjde k oslepnutiu celého oka.

Poškodenie na úrovni tractus opticus sa prejaví výpadkom rovnej polovice zorného poľa u oboch očí (tento stav sa označuje ako homonómna hemianopsie).

Pokiaľ bude dochádzať k **patologickým procesom**, ktoré budú **utlačovať chiasma opticum** (napr. nádory hypofýzy), dôjde k výpadku zorného poľa z nazálnych polovic sietnic, teda opačných polovic zorných polí (tzv. heterologná hemianopsie).

Figure 10.36
A cortical module.



44. Fyziologie sluchu, dráhy, spoje

- Sluch a zrak jsou nástroji lidské komunikace
- Sluch je nejcitlivější smysl, pomocí něhož vnímáme zvuk, který vzniká kmitáním těles ve frekvenčním rozsahu 16 Hz do 20 kHz
- **Zvuk** je podélné kmitání částic prostředí, které je charakterizováno zhušťováním a zředováním vzduchových částic schopné vyvolat v uchu zvukový vjem
- Zvuk se od svého zdroje šíří v podobě **podélného vlnění** ve směru svého postupu různými prostředími, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky různou rychlostí
 - **Vzduch cca 340 m/s**
 - **Voda 1480 m/s**
 - **Ocel 5000m/s**
 - **Ve vakuu se zvukové vlny šířit nemohou**
- Vznikající vlnění lze znázornit sinusoidou, jejíž frekvence udává výšku tonu

$$f = 1/T \text{ [Hz]}, 1 \text{ Hz} = 1 \text{ kmit/sec}$$

- T = délka jednoho kmitu
- Adekvátním podnětem pro sluch jsou zvukové vlny o frekvenci **16 až 20 kHz** a intenzitě 10-12 až 10 W/m² (tj. o akustickém tlaku 2×10^{-5} až 60 Pa), **největší citlivost je v rozmezí 1000 – 3000 Hz**
 - Rozsah řeči je v oblasti 250 – 3000 Hz
- Vnímání zvuku je omezené
 - Dolní hranici tvoří nejnižší intenzita, jakou je člověk schopen zaznamenat – **práh slyšení**
 - Horní hranice je charakterizována jako bod, v němž přechází vjem zvuku v bolestivý vjem – **práh bolesti**
- Ve fyziologické akustice hovoříme o **hladině intenzity zvuku (či hladině akustického tlaku)**, kterou vyjadřujeme v decibelech (dB)
 - **Prahová intenzita (10^{-12} W/m^2)** a prahový akustický tlak ($2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$) v tomto vyjádření odpovídají hladině 0 dB (**sluchový práh**), uvedená horní hranice (10 W/m^2 60 Pa) odpovídá hladině 130 dB (**práh bolesti**)
- Leč nicméně ani hladina intenzity zvuku není pro lidské ucho příliš vypovídající – rozdílné frekvence slyší lidské ucho slyší různě silně
 - Nejcitlivější je ucho na frekvence v rozmezí 1000 až 3000 Hz, díky čemuž při těchto frekvencích tedy není třeba tak vysoké hladiny intenzity zvuku, abychom je zaregistroval
 - Na rozdíl například od frekvence 10 kHz výš bude třeba zvýšit hladinu intenzity zvuku, abychom ji slyšeli, neboť lidské ucho na tyto frekvence není tak citlivé
 - Tomuto vztahu říkáme **hladina hlasitosti {Ph}**, která se kryje se stupnicí decibelovou pouze při frekvenci 1000 Hz

Ušní převod zvuku – střední ucho

- Zvuk přichází do ucha boltcem, zevním zvukovodem a rozkmitá bubínek
- Jeho kmity se převádějí systémem středoušních kůstek (kladívko → kovádlíka → třmínek) na membránu oválného okénka hlemýždě
 - **Tím je dán přenos energie z plynného prostředí do tekutého** – do perilymfy ve scala vestibuli
 - Rozsah kmitů oválného okénka je přitom sice menší než bubínku, ale jejich síla (tlak) je větší (účinek zvuku se zvýší o 10 až 20 dB)
 - Tlak je totiž síla působící na jednotku plochy a plocha bubínku je větší než oválného okénka
- Tuhost a impedance (odpor) převodního systému se zvýší při **akustickém reflexu** současným stahem m. tensor tympani (n. V.) a m. stapedius (n. VII.)
 - Napínač bubínku táhne rukojeť kladívka dovnitř, a tlačí tak třmínek proti oválnému okénku
 - Třmínkový sval naopak odtahuje třmínek od membrány okénka
 - Akustický reflex je aktivován silnějšími zvuky – chrání zvuk před přehlušením (obdobu zornice)

Vnitřní ucho – percepce zvuku

- Jak si již všichni, kteří jsme ve 2. ročníku, určitě pamatuje z anatomie, vnitřní ucho leží ve skalní kosti a kromě hlemýžďe, kde leží sluchový Cortiho orgán, zde leží i vestibulární čidlo
- Hlemýžď se skládá ze 3 kanálků spirálovitě stočených kolem modiolu (dlouhý 35 mm a vytváří $2^{3/4}$ závitů):
- **Scala vestibuli** (horní oddíl)
 - Vede od oválného okénka až k vrcholu hlemýžďe **helikotremě**
 - Obsahuje perilymfy, která má stejné složení jako každá jiná ECT
- **Scala tympani** (spodní oddíl)
 - Navazuje od helikotremy na scala vestibuli a vychází do kulatého okénka
 - Obsahuje perilymfy, která má stejné složení jako každá jiná ECT
- **Scala media (ductus cochlearis)** (střední oddíl)
 - Tento oddíl je vyplněn endolymfou (která se jako jediná ECT **vysokým obsahem K^+** (145 mmol/l) podobá ICT)
 - Endolymfa se vytváří ve stria vascularis (jediném vaskularizovaném epitelu) v laterální stěně hlemýžďe
 - Od scala vestibuli je oddělena **Reissnerovou spirální membránou**
 - Od scala tympani je oddělena **bazilární membránou**
 - Na bazilární membráně nacházíme **Cortiho orgán s vnějšími a vnitřními vláskovými buňkami** (receptory), jejichž cilie procházejí retikulární membránou a zanořují se (cilie vnějších buněk) do tektoriální membrány (překrývající Cortiho orgán) nebo (cilie vnitřních buněk) jsou s ní ve volnějším kontaktu
 - Z vnějších vychází 5 % vláken n. cochlearis (část n. VIII)
 - Z vnitřních vychází 95 % vláken n. cochlearis (část n. VIII)
 - Jsou to sekundární nervové buňky, na nichž jsou synapse s aferentními vlákny bipolárních neuronů v kochleárním **ganglion spirale** uloženém v modiolu, jejichž aktivita může být tlumena **eferentními vlákny Oortova svazku** mířícími k dendritům vnitřních, a hlavně k tělu zevních vláskových buněk
 - Vláskové buňky jsou uspořádány ve 4 řadách:
 - 3 řady zevních vláskových buněk jsou laterálně od tunelu tvořeného Cortiho pilíři
 - 1 řada vnitřních vláskových buněk je od tunelu mediálně.
 - Člověk má v každém hlemýždi 20000 zevních vláskových buněk a 3500 vnitřních vláskových buněk
- **Nyní ale zpátky k fyziologii**
- Při působení zvuku pohyby třmínku rozkmitají membránu oválného okénka hlemýžďe, a tím i perilymfu ve scala vestibuli
- Protože je ale tekutina nestlačitelná, střídavý tlak se přenáší Reissnerovou membránou do endolymfy ve scala media
- Rozkmitá se tak i bazilární membrána s Cortiho orgánem a kmity se šíří do scala tympani
- Následně se střídavě vyklenuje membrána kulatého okénka do středoušní dutiny a zpět
- **Čím je tón vyšší, tím blíže k bázi hlemýžďe (k třmínku) se vyrovná tlak přes bazilární membránu**
 - Na bazilární membráně vznikají tzv. **postupující vlny** šířící se od oválného okénka k helikotrematu a dosahující maxima na charakteristickém místě v závislosti na frekvenci (**princip tonotopie**)
 - Vyšší tónové frekvence dosáhnou maxima blíže k třmínku, zatímco nízké frekvence blíže k helikotrematu
 - Bazilární membrána působí jako **frekvenční analyzátor**
- Postupující vlna rozkmitá i tektoriální a retikulární membránu (bariéra endolymfy ve scala media – perilymfu v Cortiho tunelu)
- Při jejich pohybu vzhůru se posouvá tektoriální membrána vůči retikulární laterálně (od modiolu)
 - Tím se směrem k bazálnímu tělísku ohýbají i stereocilie

- Vzniká tak **budivý depolarizační receptorový potenciál** vláskové buňky
- Při pohybu směrem dolů se vše děje opačně
 - Cilie se ohýbají mediálně
 - Vzniká **hyperpolarizační receptorový potenciál s útlumem AP**
- Nejdůležitějším prvkem v tonotopické organizaci kochley jsou však zevní vláskové buňky, jejichž délka roste od její báze k vrcholu
 - Jsou nadány kontraktibilitou – obsahují kontraktilní bílkoviny
 - Jejich pohyby snižují viskózní odpor endolymfy, a tím i tření v mechanickém aparátu Cortiho orgánu a zvyšují frekvenční selekci i citlivost vnitřních vláskových buněk, které jsou **vlastními receptory**, kdežto zevní vláskové spíše **efektory**, které modulují sluchové vnímání i díky eferentními útlumu z Oortova svazku, jehož vlákna na nich převážně končí (viz výše)

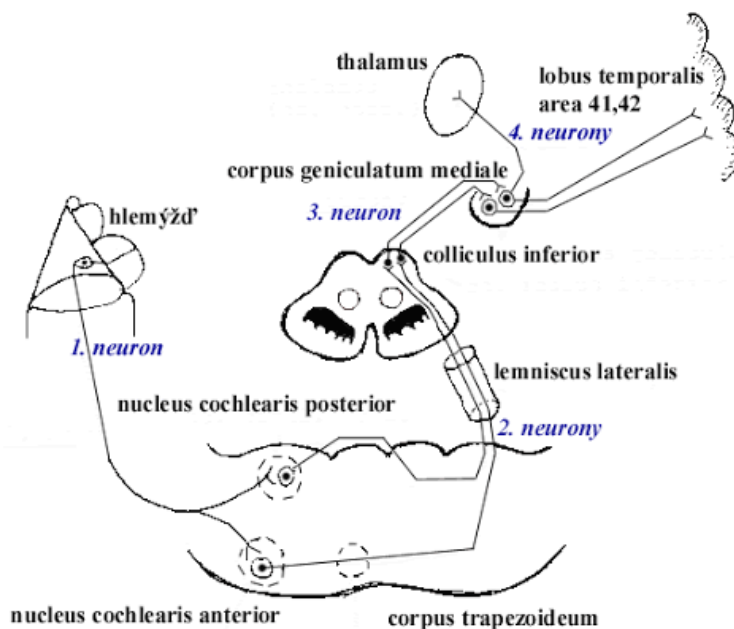
Sluchová dráha

- Sluchová dráha je v zásadě čtyřneuronová dráha s receptorovými buňkami v Cortiho orgánu vnitřního ucha
- Do jejího průběhu jsou vloženy v pons Varoli další vymezené neurony, které zajišťují paralelní vedení různých charakteristik sluchových signálů
- **1. neuron** je bipolární buňka v ganglion cochleare
 - Dendritické výběžky 95 % bipolárních buněk inervují vnitřní vláskové buňky, zbývajících 5 % inervuje vnější vláskové buňky – vlastními receptory slyšení jsou tedy vnitřní vláskové buňky, kdežto zevní modulují jejich senzitivitu
 - **Axonální výběžky bipolárních buněk tvoří nervus cochlearis** a končí ve stejnostranných nucleu cochleares
- **2. neuron** jsou buňky v nucleus cochlearis dorsalis et ventralis, které vysílají axony do svazku vláken – **corpus trapezoideum** – který v pons Varoli **kříží** střední čáru a pokračuje do **lemniscus lateralis**
 - Vlákna laterálního menisku končí v mezencefalu v druhostranném colliculus inferior
 - Vlákna z nucleus cochlearis dorsalis (vertikální lokalizace zvuků) běží do druhostranného colliculus inferior bez přerušení, zatímco část vláken z nucleus cochlearis ventralis (horizontální lokalizace zvuků) končí v jádrech corpus trapezoideum (**nuclei corporis trapezoidei et olivares superiores**), **kteří jsou možným 3. neuronem**
 - V tomto oddíle také dochází ke konvergenci informací z obou uší (binaurální slyšení), což má význam pro přesnou lokalizaci zvuku
 - Odtud pak pokračují do colliculus inferior
- **3. (4.) neuronem** jsou neurony v colliculus inferior
 - Většina těchto vláken končí v **centrálním jádru kolikulu**, ze kterého vychází svazek **brachium colliculi inferioris**, který končí v diencefalickém sluchovém jádru corpus geniculatum mediale
- **4. (5.) neuronem** jsou neurony v nucleus corporis geniculati medialis
 - Dělíme jej na ventrální část, kam přichází vlákna z centrálního jádra kolikulu a jeho neurony odpovídají pouze na akustické podněty, a na dorzální + mediální, kam přicházejí vlákna z periferních oddílů kolikulu a jejich neurony odpovídají na akustické a dotykové podněty
 - Eferentní vlákna vystupující z corpus geniculatum mediale vytvářejí silný svazek – **radiatio acustica** – který skrz zadní část capsula interna míří do temporálního laloku
 - Vlákna z ventrálního jádra končí v **primární akustické korové oblasti (area 41)**
 - Primární sluchová korová oblast je uložena na horní ploše gyrus temporalis superior v rozsahu gyri transversi (tzv. Heschlovy závitě)
 - Její rozsah se kryje s area 41 a 42
 - Je tvořena kůrou granulárního typu
 - Končí zde masivní svazek vláken (radiatio acustica) vystupující z corpus geniculatum mediale
 - Podobně jako většina jader sluchové dráhy je i primární sluchová oblast tonotopicky organizována, ale jen v levé kůře

- Neurony odpovídající na nízké frekvence (hluboké tóny) jsou uloženy anterolaterálně, neurony odpovídající na vysoké frekvence (vysoké tóny) leží posteromedálně
- Pravá kůra je citlivá na intenzitu
 - Při nízké intenzitě je aktivována i zadní část dlouhého g. cinguli (nad kalosem)
- Oblast A I je spojena recipročně s okolními asociačními sluchovými oblastmi
- Sestupné projekce míří zpět do corpus geniculatum mediale a do colliculus inferior.
- Jednostranné poškození oblasti A I vede k částečné hluchotě
- Při dráždění oblasti se udává bzučení, pískání, zvonění...
- Vlákná z dorzálního a mediálního jádra končí v asociačních korových oblastech (area 42, 22) – **sekundární sluchová korová oblast**
 - Sekundární sluchová korová oblast (A II) se klade do gyrus temporalis superior
 - Sekundární sluchová kůra je součástí Wernickeho řečové oblasti
 - Je recipročně spojena asociačními vlákny s primární sluchovou oblastí
 - Větší je u praváků na levé straně, ještě větší u hudebníků a lidí s dobrým hudebním sluchem
 - Oboustranné poškození nebo poškození sekundární oblasti v dominantní hemisféře vyvolává senzickou afázii
 - Nemocný dobře slyší, ale nerozumí mluvené řeči

Sestupná složka sluchové dráhy

- Začíná v akustické korové oblasti a končí v corpus geniculatum mediale a v periferních oddílech colliculus inferior
- Z colliculus inferior vystupují vlákna, která končí v nucleus olivaris superior, z něhož vystupuje **olivokochleární svazek**, jenž končí na zevních vláskových buňkách hlemýždě, a moduluje tak citlivost Cortiho orgánu



45. Vestibulární systém – dráhy spoje

- Rovnováha je v lidském těle zajišťována souhrou informací zrakových, z proprioreceptorů, a především z vestibulárního ústrojí
- V něm mají zásadní roli senzorické buňky v cristae ampullares semicirkulárních kanálků a maculae staticae utriculu a sacculu
- Centrálním nadřazeným centrem je mozeček a retikulární formace
- Prostřednictvím vestibulárního ústrojí vnímáme odchylku postavení hlavy a celého těla vzhledem ke gravitační síle (díky oběma váčkům) a změnu rychlosti a směru pohybu hlavy a celého těla v prostoru
 - Váčky zaznamenávají zrychlený nebo zpomalený pohyb
 - Polokruhové chodbičky zaznamenávají krouživé pohyby hlavy (kolotoč)
- Tím pádem tedy slouží k **udržování rovnováhy** v závislosti na její poloze a k **relativní stabilizaci obrázku na sítnici**
 - Reflexně řídí kompenzační (vyrovnávací) **pohyby končetin a očí** k tomuto účelu
- Reguluje též **svalový tonus** zvláště extenzorů
- Je uložen ve vnitřním uchu ve skalní kosti
 - Je obklopen kostěným labyrintem vyplněným perilymfou
 - V kostěném labyrintu je uložen samotný blanitý labyrint vyplněný endolymfou
- **Blanitý labyrint** se skládá z těchto částí:
 - 3 polokruhové chodbičky – **kinetická čidla**
 - Vejčitý váček (utriculus) – **statické čidlo**
 - Kulovitý váček (sacculus) – **statické čidlo**
- To vše dohromady tvoří **vestibulární ústrojí**

Statokinetické čidlo

1. Vlásokové buňky kanálků reagují fázicky excitací či útlumem při rotačních pohybech hlavy na **úhlové zrychlení**
 - Na začátku pohybu se endolymfa díky své setrvačnosti opoždí za pohybem stěn v kanálku, sune se proti směru otáčení a tlačí na kupulu, jež se prohne
 - Tím se ohnou i stereocilie
 - Jejich vláskové buňky se podráždí, počet AP ve vláknech **nervus vestibularis** vzrůstá
 - Při dalším otáčení se za několik sekund pohybuje endolymfa stejně rychle a stejným směrem jako stěny kanálku, což je dáno její viskozitou
 - Její tlak na kupulu mající stejnou měrnou hmotnost i setrvačnost jako endolymfa, ustane
 - **Vlastní elasticitou kupuly se její prohnutí vyrovná**, a počet AP tak klesá
 - Po zástavě otáčení endolymfa proudí na druhou stranu než na začátku a vše se děje opačně
 - Kinetické čidlo registruje počátek a konec rotace, akceleraci a deceleraci (**dvousměrný úhlový akcelerometr**)
2. Makulární čidla reagují na působení gravitace, respektive na **gravitační zrychlení (forma přímočarého lineárního zrychlení)**
 - Na utrikulus a sakulus působí gravitace neustále
 - Makula utrikulu leží vodorovně, kdy na receptory nepůsobí žádné síly, které by je dráždily
 - Při pohybu hlavy se však otolitová membrána posune, stereocilie se hnou a vláskové buňky v závislosti na směrové citlivosti a poloze hlavy se podráždí (**depolarizační RP**) nebo utlumí (**hyperpolarizační RP**)
 - To je spojeno s tonickým urychlením nebo zpomalením frekvence AP v nervus vestibularis
 - Jejich adaptace je velmi pomalá
 - Vlásokové buňky mohou také reagovat fázicky na lineární zrychlení při rychlých pohybech hlavy

- Pro výsledný pohyb otolitové membrány je rozhodující její setrvačnost určená měrnou hmotností, která je 2x větší než u endolymfy
- Tato čidla fungují jako **multidimenzionální akcelerometr a polohoměr**
 - Makula utrikulu reaguje na pohyb hlavy dopředu, dozadu a ke stranám
 - Makula sakulu reaguje na pohyb nahoru a dolů

Vestibulární dráha

- Vlákna smyslových **buněk** z kupuly, makuly a sakulu se spojují ve vestibulárním gangliu ve vnitřním zvukovodu
- Vlákna pak pokračují jako vestibulární nerv (1. neuron vestibulární dráhy) a končí v okolí IV. komory ve vestibulárních jádrech (Deitersovo, Schwalbeho, Bechtěrevovo, Rollerovo)
 - Vestibulární jádra jsou navzájem propojena, přesto má každé jádro další specifickou projekci – 2. neuron vestibulární dráhy
- Vestibulární systém zajišťuje trvalý přísun informací o poloze hlavy a těla z receptorů vestibulárního aparátu
- Tyto informace jsou vedeny jako u většiny senzitivních drah do talamu a do vestibulárních korových oblastí
- Kromě toho jsou signály z vestibulárních receptorů prostřednictvím vestibulárních jader odváděny do dalších oblastí:
 - **Mozeček**
 - **Okulomotorický systém**
 - Těsně spolu spjatý – změny polohy hlavy jdou ruku v ruce s pohyby očí
 - **Mícha**
- **1. neuronem** jsou bipolární neurony uložené v ganglion vestibulare
 - Ganglion je uloženo v průběhu **nervus vestibularis**, v meatus acusticus internus, a někdy může být rozděleno na několik částí
 - Dendritické výběžky bipolárních buněk končí na vláskových buňkách
 - Axonální výběžky končí ve vestibulárních jádrech mozkového kmene
 - Nucleus vestibularis superior et lateralis jsou uloženy v pons Varoli
 - Nucleus vestibularis inferior et medialis jsou uloženy v oblongátě
 - Část z nich jde přímo jako **tractus vestibulocerebellaris directus** do mozečku
- **2. neuronem** jsou nuclei vestibulares na spodině IV. komory
 - Aferentní vlákna končí v různých jádrech:
 - **Nucleus vestibularis superior et medialis** - z polokruhovitých kanálků
 - **Nucleus vestibularis lateralis** – z utrikulu
 - **Nucleus vestibularis superior et inferior** – ze sakulu
 - Jádra vestibulárního komplexu jsou navzájem propojena a komisurálními vlákny spojena s druhostrannými vlákny
 - Většina komisurálních vláken je inhibičních (GABA, glycin)
 - Signály ze **sakulu** ovlivňují tractus vestibulospinalis, zatímco signály z **utrikulu** ovlivňují vestibulookulární neurony
 - Kromě vláken z vestibulárního nervu, která představují hlavní informační vstup, končí ve vestibulárních jádrech vlákna z dalších oblastí:
 - **Mozková kůra** (z vestibulárních korových oblastí)
 - **Mezencefalon** (colliculus superior) – koordinace polohy pomocí zraku
 - **RF**
 - **Mozeček** (lobus nodulofloccularis)
 - **Mícha**

Eferentní spoje 2. neuronů vestibulární dráhy

- Souhrně se jedná o tyto dráhy:

1. **Tractus vestibulocerebellaris (indirectus)**
2. **Tractus vestibulooculomotorius**
3. **Tractus vestibulospinalis lateralis**
4. **Tractus vestibulospinalis medialis**
5. **Tractus vestibulotalamicus**

1. Tractus vestibulocerebellaris (indirectus)

- Jak jsme již zmiňovali, primární vestibulocerebelární dráha (tractus vestibulocerebellaris directus) směřují z vestibulárního ganglia přímo do vestibulární části mozečku bez přepojení ve vestibulárních jádrech
- Za to sekundární vestibulocerebelární dráha (tractus vestibulocerebellaris indirectus) vede od vestibulárních jader a končí ve stejné oblasti mozečku (nodulus, flocculus, uvula – *archeocerebellum*)
- **Spojení mezi vestibulárními jádry a mozečkem slouží kontrole očních pohybů, pohybů hlavy a udržování přímého postoje**

2. Tractus vestibulooculomotorius

- Vlákná vystupují hlavně z vestibulárních jader, která dostávají signály z polokruhovitých kanálků (tedy z nucleus vestibularis superior et medialis)
- Zkřížená a nezkřížená vlákna vstupují do **fasciculus longitudinalis medialis** a končí postupně v jádrech n. VI, IV, III
- **Vestibulookulární reflex** je tříneuronový reflexní oblouk (bipolární neuron n. VIII. → nucleus vestibularis superior et medialis → nucleus nervi VI, IV, III)

- Tento reflex zajišťuje fixaci obrazu na sítnici při pohybech hlavy
- Pohyby hlavy v jakémkoliv směru je provázen kompenzačním pohybem očních bulbů opačným směrem, ale stejnou rychlostí

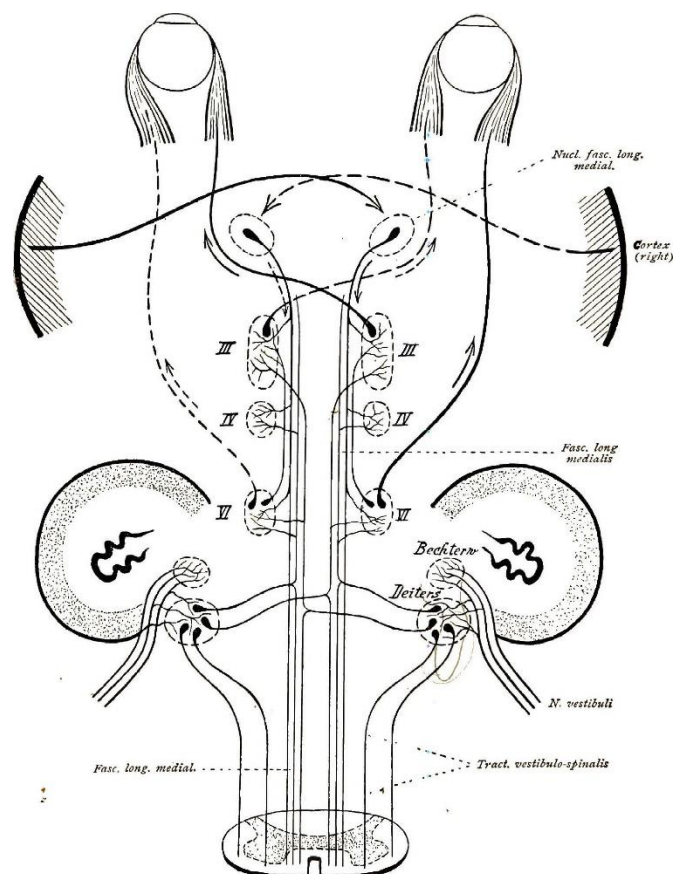
- **Labyrintové reflexy** jsou vyvolány při podráždění receptorů polokruhovitých kanálků a v utrikulu

- Při záklonu hlavy dochází k flexi HKK a k extenzi DKK a naopak

- Jejich funkcí je udržet polohu hlavy v prostoru a zároveň udržet vzpřímenou polohu těla

- **Šíjové reflexy** mají své receptory v horních krčních intervertebrálních kloubech (C1-C4) a pravděpodobně i ve svalových vřeténkách šíjových svalů

- Rotace šíje doleva vyvolává natažení LKK a skrčení PKK



- Při záklonu hlavy se zvyšuje svalový tonus v extenzorech HKK (jejich natažení) a snižuje se v extenzorech DKK (jejich pokrčení) a naopak
- Tyto změny svalového tonu mají zajistit konstantní polohu hlavy v prostoru

3. Tractus vestibulospinalis lateralis

- Vystupuje hlavně z laterálního jádra
- Vlákná jsou nezkřížená a sestupují v předním míšním provazci celou délkou míchy, cestou vydávají kolaterály
- Končí na interneuronech a v menší míře i na α a γ -motoneuronech v mediální části lamina VII-IX

4. Tractus vestibulospinalis medialis

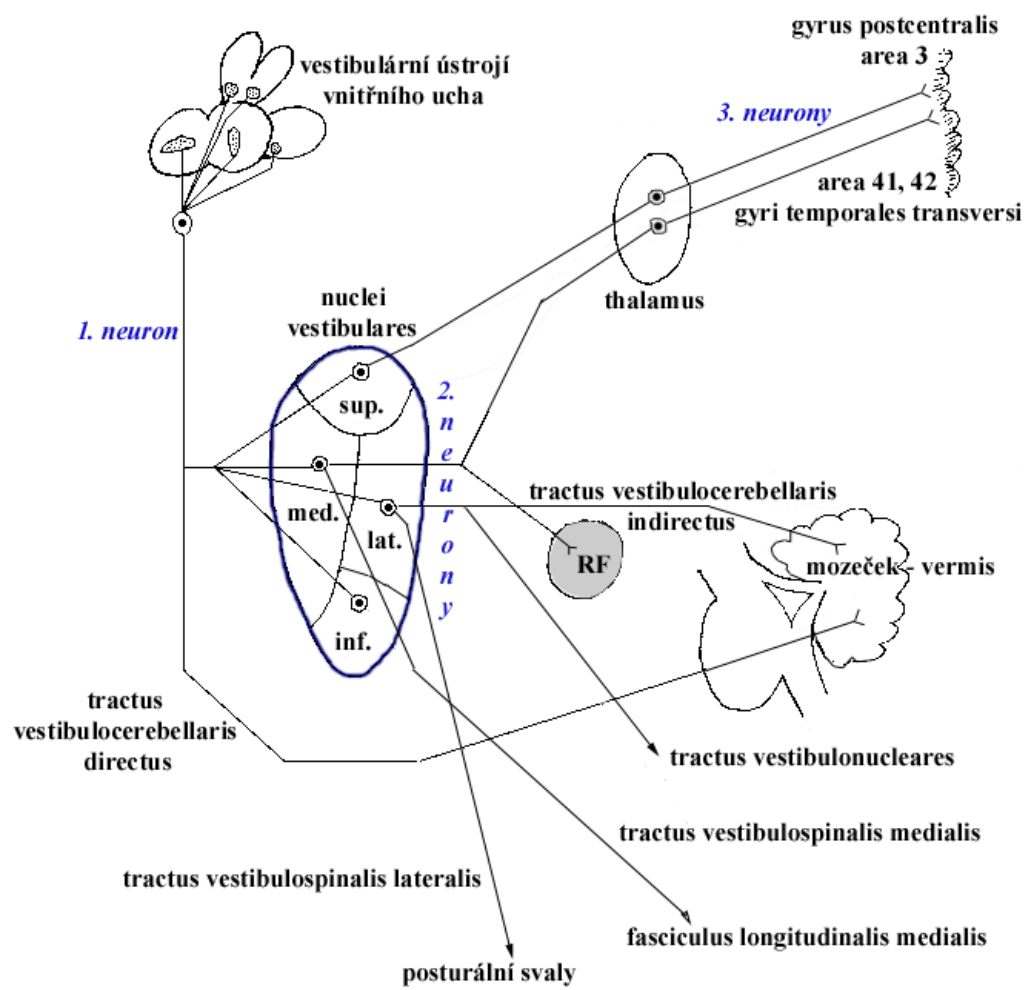
- Vystupuje hlavně z mediálního jádra
- Zkřížená i nezkřížená vlákna sestupují předními míšními provazci a končí v krčních míšních segmentech

• Význam vestibulospinálních drah

- Jsou součástí mediálního systému motorických míšních drah
- Ovlivňují přímo nebo prostřednictvím interneuronů mediální skupinu míšních neuronů, které inervují **šijové a zádové (antigravitační) svalstvo**
- Spojení udržuje vzpřímený postoj, základní pohybovou koordinaci trupu a DKK
- Při experimentálním vyřazení těchto drah u opic je trup flektován a nestabilní, hlava v předklonu hluboko mezi rameny

5. Tractus vestibulotalamicus

- Vlákná z vestibulárních jader procházejí nezkříženě a zkříženě mozkovým kmenem a končí v talamu v nucleus ventralis posterolateralis a pravděpodobně i v nucleis posteriores talami
- Talamické neurony, které odpovídají na vestibulární stimulaci, odpovídají i na stimulaci z proprioreceptorů (svalových a kloubních)
- **Navazující talamokortikální projekce – 3. neuron** – končí v několika korových oblastech
 - Area 2v je uložena v gyrus postcentralis za somatosenzitivní oblastí pro hlavu
 - Area 3a leží v hlavové oblasti na spodině sulcus centralis
 - Další neurony reagující na vestibulární stimulaci byly pospány v area 7 a blízkosti area 8 (frontální okohybné pole) a v premotorické korové oblasti (area 6, hlavová oblast)
 - Area 41, 42 - gyrus temporalis transversus
- Z vestibulárních korových oblastí vystupují vlákna, která končí ve **vestibulárních jádrech**
- Vestibulární korové oblasti jsou navzájem propojeny asociačními korovými vlákny
- Při stimulaci vestibulárních oblastí kůry se popisují pocity pohybu, otáčení nebo závrať
- Léze těchto oblastí vedou k poruchám v prostorové orientaci a k poruchám vnímání vertikál a vertikálních směrů
- Vestibulární korové oblasti tvoří síť, která zpracovává informace o pohybech hlavy v prostoru a o pohybech hlavy vůči ostatním částem těla
- Vestibulo-talamo-kortikální projekce slouží k uvědomění pohybů a přispívá spolu se signály ze zrakového a somatosenzitivního systému k orientaci v prostoru



46. Definice bolesti, druhy bolesti a jejich charakteristika. Cesty přenosu informací o působení bolestivých podnětů

- Jedná se o **subjektivní, nepříjemný, senzorický, emocionálně zabarvený zážitek**, který může vyjadřovat **bezprostřední nebo potenciální tkáňové poškození**
- Bolest není jen nocicepce, ale komplexní biologický a psychologický prožitek, který má navíc sociální souvislosti
- Je to nejčastější subjektivní stesk v medicíně
- Mechanismus sloužící k zachování jedince varuje před následky činnosti, které by vedly k jeho nevratnému poškození
- **Bolest z podnětu na periférii vzniká u všech jedinců stejným způsobem prostřednictvím receptorů pro bolest, stejným způsobem je vedena do CNS**

Bolest

- Bolest je nepříjemný vjem, který signalizuje hrozící nebo probíhající poruchu integrity organismu (tkání) škodlivými podněty, poškození (noxa), z čehož tedy vyplývá její ochranná funkce
- Pomáhá při diagnóze některých chorob a informuje o průběhu hojení
- Vedle **senzoricko-diskriminativní komponenty** (vlastní nocicepce) se při vnímání bolesti uplatňuje **složka centrální, afektivní či emocionální** (strach, hysterické stavy, odvrácení pozornosti), **složka vegetativní či autonomní** (porucha trofiky tkání, zvýšená sekrece adrenalinu, vzestup TK, tachypnoe a tachykardie, nauzea, pocení, mydriáza), která je výrazná při svalové a zejména pravé viscerální bolesti, a **složka motorická** (obránné flexorové reflexy, únikové reakce, úlevná poloha kloubů)
- **Adaptace** na bolest je zanedbatelná až nulová

Dělení bolesti

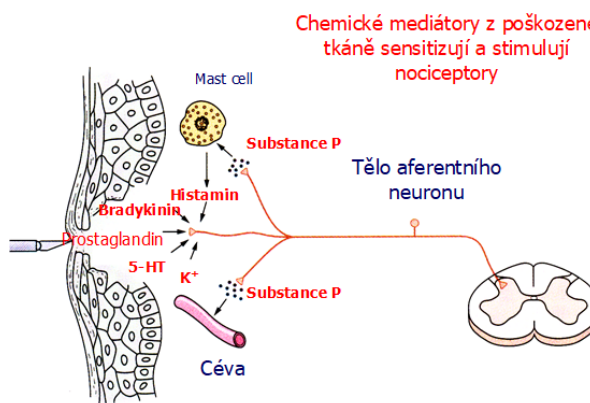
- Bolest dělíme na:
 - Somatickou
 - Útrobní
 - Centrální
- **Somatická je**
 - **Povrchní** (kožní, sliznic tělních otvorů)
 - **Hluboká** (svalů, kloubů a pojiva)
- K povrchní patří jednak **první bolest**, která je rychlá a ostrá (vpich do kůže), je dobře lokalizovatelná, zprostředkovaná hlavně volnými zakončeními myelinizovaných Aδ vláken (III. skupina) a vedoucí spíše k únikovým reakcím
 - Pak je to **druhá bolest**, která je pomalu odeznívající, tupá, palčivá, špatně ohraničená a následuje asi 1 sekundu po bolesti první
 - Je signalizována zakončeními nemyelinizovaných C vláken (IV. skupina)
 - Je spojena spíše se zaujímáním úlevné polohy
 - K povrchní bolesti lze řadit i **svědění** vyvolané zejména intradermálním působením histaminu a zprostředkované C vlákny
 - Dráždění bolestivých bodů se při nižších intenzitách projeví svěděním, při vyšších bolestí
 - Jindy je však svědění vnímáno při všech intenzitách, což svědčí pro různé mechanismy obou vjemů podobně jako okolnost, že svědění lze vyvolat jen z nejpovrchnějších vrstev kůže, kdežto bolest i z vrstev hlubších
 - Stimulace jednotlivých nociceptivních vláken Aδ vyvolá pocit bodavé bolesti v jejich RF, u C vláken pocit palčivé bolesti a někdy svědění
- Somatická hluboká bolest při algických (bolestivých) podnětech mechanických i chemických (ischemie, bradykinin) přenáší vlákna Aδ i C
 - Vzruchová aktivita aferentních vláken je v míše přepojena na γ-motoneurony, čímž se zvýší svalový tonus

- Svalová bolest je úporná a křečovitá
 - První a druhá bolest tu má povahu tupé bolesti, která je špatně lokalizovatelná
- **Útrobní či viscerální bolest** se dělí:
 - **Pravá viscerální bolest**
 - **Parietální (nepravá viscerální) bolest**
- Parietální bolest vzniká v parietálním peritoneu, pleuře a perikardu
 - Tyto parietální serózní blány jsou inervovány nervovými vlákny, které sem pronikají z povrchu těla
 - Parietální bolest má tedy charakter somatické povrchní (první a druhé) bolesti
 - Poranění parietálního peritonea je velmi bolestivé, kdežto viscerálního nikoliv
 - Podobně jsou vysoce citlivé meningy, ale tkáň mozku vůbec ne
 - Tak je tomu i u parenchymových orgánů (játra, slezina, plíce...)
- Pravá viscerální bolest se objeví nejčastěji například při nadměrném protažení, a zvláště při izometrické kontrakci (spazmy, koliky) břišních orgánů, při tahu za ligamenta a cévy, ischemii, přímém lokálním působení některých chemických látek (v žaludku nebo i cévách), zánětlivých a nekrotických procesech
 - Důležitou úlohu při zprostředkování těchto bolestivých vjemů hraje **bradykinin** tvořený při poranění
 - Pravá útrobní bolest je tupá, svíravá nebo palčivá a špatně ohraničená
 - Často se promítá jako přenesená bolest do **Headových zón** na povrchu kůže
 - Může mít vystřelující charakter (do levé paže při IM)
- **Centrální bolest** vzniká při dráždění nocicepčních drah proximálně od nociceptorů
 - Můžeme pozorovat **projikavou bolest** v inervační oblasti drážděného nervu, například nervus ulnaris uložený povrchně v krajině lokte nebo kořenové bolesti při iritaci zadních míšních kořenů
 - Po amputaci části končetiny vznikne někdy **fantomová bolest** z dráždění centrálního pahýlu aferentního nervu
 - Kruté centrální bolesti vzniknou při somatosenzorických lézích v talamu (talamická bolest), ale i na spinální úrovni, při poškození jader v prodloužené míše, pontu, mezencefalu a v mozkové kůře parietální oblasti
 - Je to zřejmě dáno disinhibicí spontánní aktivity při blokádě „nebolestivé“ exteroceptivní aferentace, kterou je normálně jejich nocicepční aktivita tlumena
- Obecně vzato, receptory bolesti, které jsou zakončeními myelinizovaných vláken Aδ, lze klasifikovat jako mechanické nociceptory s vysokým prahem, kdežto v případě nemyelinizovaných zakončení C jako polymodální nociceptory reagující na bolestivé podněty mechanické, chemické i termické (pod 10°C a nad 40°C)
- Selektivně lze blokovat mechanické nociceptory tlakem na nerv, polymodální anesteticky

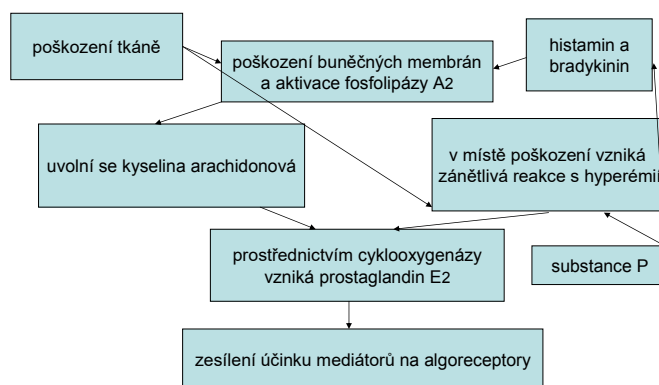
Nociceptory - receptory bolesti

- (*nocere = škodit, lat.*)
- Algoreceptory, nociceptory jsou volná nervová zakončení v kůži a ve vnitřních orgánech, která reagují na všechny typy podnětů, nejvíce reagují na podněty chemické: (zranění)
 - Cca 100 na cm²
- Síla podráždění se v periférii překládá do frekvence impulsů
- Nociceptivní vlákna mohou být podrážděna v celém svém průběhu
- Tyto receptory se obvykle neadaptují
- Chemické změny v orgánech vedou k bolesti, která je:
 - Povrchová (povrchní) – dá se snášet, dá se na ni zvyknout; většinou z kožních receptorů
 - Útrobní – z vnitřních orgánů, celková nevolnost
 - Hluboká- nejhorší; ze svalů, šlach, kloubů a periostu; celková nevolnost
- **Mají povahu chemoreceptorů**
 - Jsou citlivé na změny pH na kyselé straně

- V zaníceném, bolestivém abscesu dosahuje pH až 5,9, zatímco při bezbolestných "studených" abscesech je pH v normálních mezích, stejně jako u edémů nebo exudátů
- Při vzniku bolestivého pocitu hraje úlohu i **vztah Ca^{2+} a K^+** ve tkáních
 - Práh K^+ pro vyvolání bolesti je tím nižší, čím je nižší hladina Ca^{2+}
- Bolest při ischemii vzniká proto, že při omezené cirkulaci a hypoxii tkáň přestupuje K^+ ze svalů do ECT, kde se relativně snižuje množství Ca^{2+}



Mechanismus aktivace algoreceptorů



Substance P

- Jedná se o nejdéle známý neuropeptid, který je roztroušen na mnoha místech v **mozkovém kmeni**, nejvíce však v zadních rožích míchy, kde působí jako mediátor přenášející informace o bolesti

Bradykinin

- Je to univerzální stimul bolesti
- Z chemického hlediska se jedná o aminokyselinu, která vyvolává:
 - Silnou **vazodilataci**
 - Zvyšuje **permeabilitu kapilár**
 - Způsobuje kontrakci hladkého svalstva
 - Stimuluje receptory bolesti
 - Stimuluje fosfolipázu A
 - Spouští produkci **zánětlivých chemických látek (histamin)**, které dále zvyšují permeabilitu kapilár, takže do poškozené oblasti proniká více tekutin a leukocytů
 - Přesun se projeví **zčervenáním, otokem, prosáknutím** postižené oblasti
 - Stimuluje také uvolňování **prostaglandinů**, které senzibilizují receptory bolesti a zesilují účinek bradykininu a histaminu
- V nociceptorech je aktivní **sodíkový kanál**, při podráždění se uvolňuje **substance P**, která vyvolá **vazodilataci**, čímž se zvýší **permeabilita cév** a vznikne **edém**

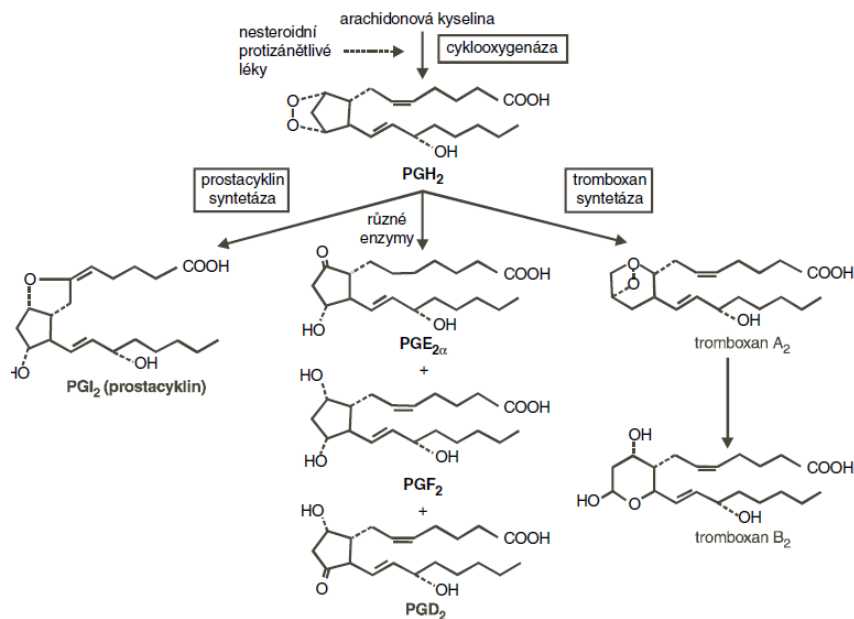
HMW – K (high molecular weight kininogen)

- Odkrytí subendoteliálních vrstev při poranění aktivuje F XII
- F XIIa aktivuje F XI a štěpí prekalikrein na kalikrein
- Následně F XIa a kalikrein štěpí kininogen o velké molekulové hmotnosti (high molecular weight kininogen - HMWK) na kininy, jako je např. bradykinin
- To jsou vasoaktivní peptidy, které přispívají k hemostase vazokonstrikcí

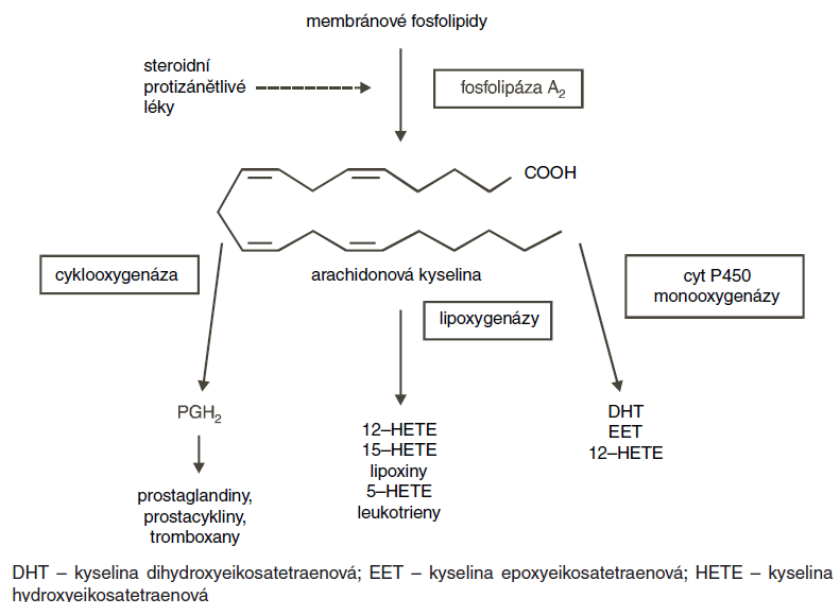


Další mediátory: PGE, Histamin, 5-HT... - Eikosanoidy

- Eikosanoidy představují skupinu látek, které jsou odvozeny od 20uhlíkaté (eikosa) nenasycené mastné kyseliny, **kyseliny arachidonové**
 - Kyselina arachidonová vzniká z kyseliny linoové a linolenové
- Do skupiny eikosanoidů patří:
 - Prostaglandiny a prostacykliny
 - Tromboxany
 - Lipoxiny a leukotrieny
 - Deriváty kyseliny 12-hydroxyeikosatetraenové
- Společným prekurzorem těchto látek je prostaglandin H₂ (PGH₂), který vzniká z kyseliny arachidonové **působením cyklooxygenázy**
- Z PGH₂ dále vznikají:
 - Prostacyklin PGI₂ prostřednictvím enzymu prostacyklin-syntetázy,
 - Prostaglandiny PGE, PGF a PGD (působením různých enzymů)



- Tromboxan A2 pomocí enzymu tromboxan-syntetázy
 - Tromboxan A2 může být dále přeměněn na tromboxan B2
- Kyselina arachidonová se **působením lipoxygenázy** přeměňuje také na kyselinu 5-hydroperoxyeikosatetraenovou (5-HPETE), ze které vznikají leukotrieny
 - Zatím jsou známy čtyři typy označované jako LTC4, LTD4, LTE4 a LTF4
- Pomocí stejného enzymu vznikají z arachidonové kyseliny i látky označované jako lipoxiny
 - Lipoxin A snad umožňuje dilataci kapilár a společně s lipoxinem B inhibuje cytotoxické účinky tzv. přirozených zabíječů (natural killer cells)
- Prostřednictvím monooxygenáz cytochromu P450 vzniká z kyseliny arachidonové kyselina 12-hydroxyeikosatetraenová (12-HETE)
 - Z ní vznikají další sloučeniny, zejména dihydroxyderiváty kyseliny eikosatetraenové (DHT) a deriváty kyseliny epoxyeikosatetraenové (EET)
 - Předpokládá se, že DHT a EET a jejich deriváty mají důležitý vliv na regulaci vylučování solí a vody ledvinami

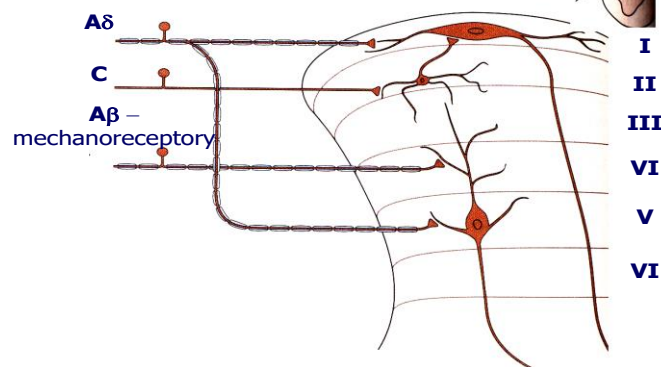


Vedení bolestivých vzruchů

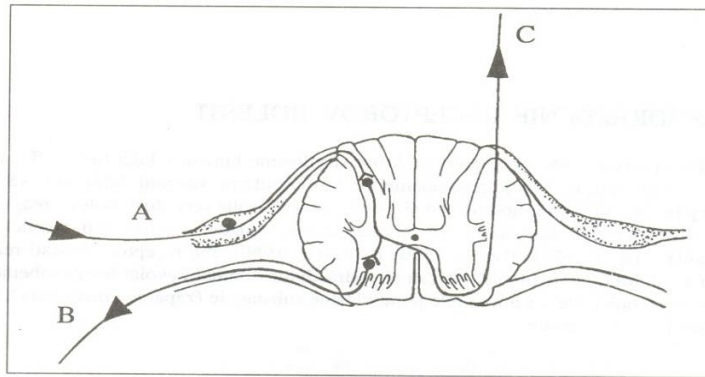
Transdukce

- V této fázi spouští zranění tkání vyplavení mediátorů, které dráždí nociceptory a nasměrují pohyb impulsů bolesti z periferie do spinální míchy
- Vedení bolesti putuje pomocí 2 typů vláken, která tvoří polovinu všech vláken zadních míšních kořenů
 - **Silná myelinizovaná vlákna typu Aδ** – povrchová bolest, reagují na silné mechanické podněty
 - **Tenká nemyelinizovaná vlákna typu C** – hluboká bolest, polymodální: mechanicky, chemicky, horkem, chladem, anoxií
- **Dostředivá nervová vlákna**, která vedou bolest, vstupují do míchy přes **zadní**, (částečně přední) **kořeny míšní** a končí v zadních rožích v **substantia gelatinosa**
- **Zadní rohy** jsou rozdělené na několik vrstev, které nazýváme **Rexedovy zony** a jsou označeny (číslky I-X)

Nocicepční aferenty končí na projekčních neuronech zadních míšních rohů



- V zadních rožích se podráždění přepojí na **neurony druhého řádu**
- Přenos impulsů bolesti vyvolá v zadních rožích míchy uvolnění neurotransmiteru **substance P**, který zabezpečí přenos bolesti do synaptické štěrbiny a přes synapsi na **neuron druhého řádu**
- Axony neuronů **druhého řádu** se kříží ve **spinální míše** v oblasti **přední komisury** na opačnou stranu a přecházejí přes **kontralaterální anterolaterální provazec** do **thalamu**



Obr. 2. Neuronálne prepojenie do roviny miechy
A – aferencie bolesti (A-delta- a C-vlákná), B – motorické/sympatické eferencie, C – anterolaterálny povrazec

Transmise

- Bolestivý impuls přechází z **periferního nervového vlákna do míchy**
- Neurotransmitery (substance P) přenesou impuls z periferního neuronu na neuron druhého řádu a jimi se vede impuls přes prodlouženou míchu a thalamus do kůry mozku
- Rozlišujeme 5 vzestupných drah bolesti
 - **Spinothalamická** – tractus spinothalamicus
 - **Spinoretikulární** – tractus spinoreticularis
 - **Spinomesencefalická** – tractus spinomesencephalicus
 - **Cervicothalamická** – tractus cervicothalamicus
 - **Spinohypothalamická** – tractus spinohypothalamicus
- Z thalamu přechází **neurony třetího řádu** do **korové somestetické oblasti mozku** na vyhodnocení

Percepce

- Bolestivý impuls projde do mozkového kmene, thalamu a **kůry** a pacient si **uvědomí bolest**

Modulace

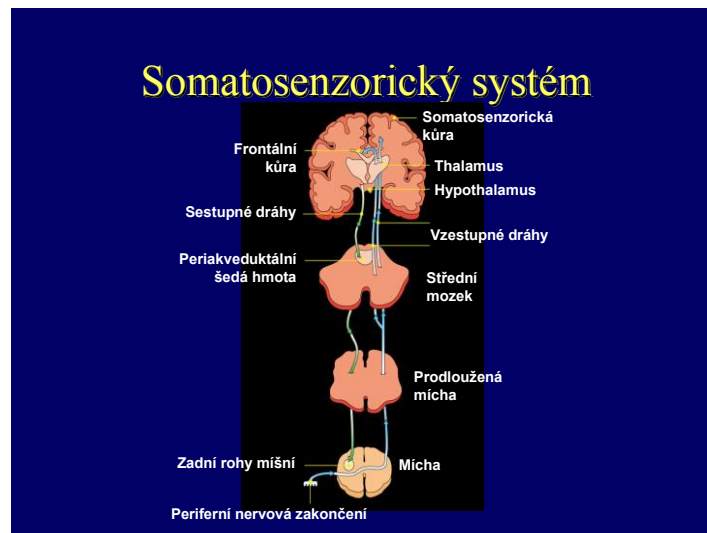
- Často se popisuje jako *descendentní systém*

- Probíhá, když neurony v **mozkovém kmeni** vyšlou signál zpět do **spinální míchy** pomocí neurotransmiterů – serotonin a norepinefrin (NA)
- Po vazbě na spinální míchu se neurotransmitery vrátí zpět do buněk proto, aby se znovu použily a staly se zásobou pro následné uvolnění
- **Ze spinální míchy** se vede impuls do místa na **periferii** a dojde k **motorické reakci**
- Modulace bolesti v hypothalamu má vztah k cirkadiálním rytům a na základě toho vzniká pravděpodobně **časová závislost a rytmicitu bolesti**
 - Je to tzv. hypothalamický pacemaker, který řídí serotonin

Typ vlákna	Funkce	Střední průměr vlákna	Rychlost vedení vzruchu
A-alfa	Primární aference svalových vřetének Motorická ke kosterním svalům	15 μm	100m/s
A-beta	Kožní aference pro tlak a dotyk	8 μm	50 m/s
A-gama	Motorická ke svalovým vřeténkům	5 μm	20 m/s
A-delta	Kožní aference pro bolest a teplotu	3 μm	15 m/s
B	Sympatitická preganglionární	3 μm	7 m/s
C	Kožní aference pro bolest Sympatitická postganglionární	1 μm	1 m/s

Přirozené mechanismy, které modulují přenos a vnímání bolesti

- **Endogenní opiáty**, chemické regulátory, které mohou modifikovat bolest
 - Navazují se na **opiátové receptory** především v zadních rožích míchy a tím tlumí tvorbu látek, které přenášejí impulsy bolesti, a ovlivňují její vnímání
- **Enkefaliny** – peptidy, které se váží na opiátové receptory v zadních rožích míchy a brání vyplavování *Substance P*
 - Nachází se i v mozgovém kmeni, limbickém systému, hypothalamu, nadledvinách, v GIT
 - Nejvýznamnější jsou leu-enkefalin a met-enkefalin
- **Endorfiny** – velké polypeptidy, syntetizují a uskládají se v hypofýze
 - Nacházejí se i v hypothalamickém středním mozku a limbickém systému CNS
 - Beta-endorfiny jsou účinnější než enkefaliny
- **Dynorfiny** – sloučeniny, které se nacházejí v hypothalamu, hypofýze a spinální míše
 - Jejich analgetický účinek je 50-krát silnější než účinek beta-endorfinů

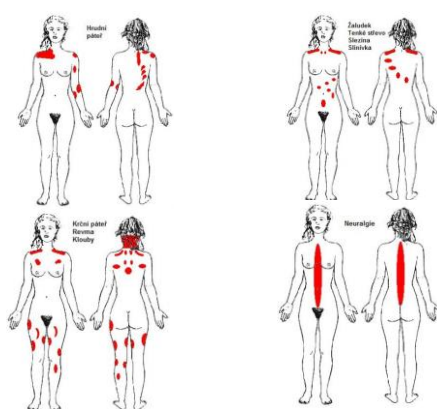
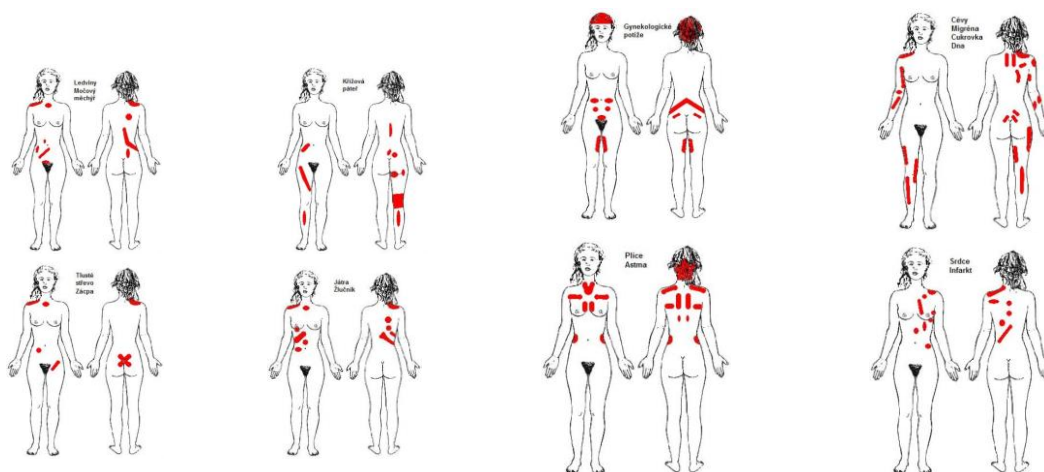


Zpracování bolestivé informace

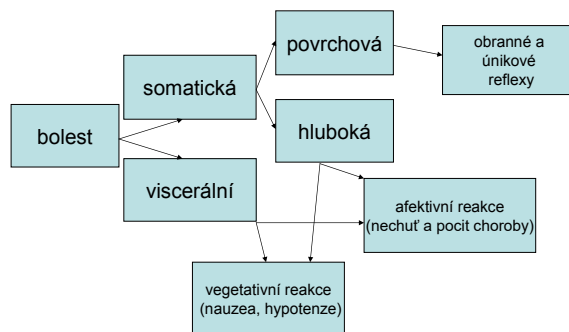
- **Neokortex** – zodpovídá za kognitivní zpracování
- **Limbický systém** – zodpovídá za afektivní zpracování (jednání převážně z popudu intenzivních aktuálních emocí, afektů a nálad)
- **Hypothalamus (hypofýza)** – zodpovídají za uvolnění hormonů a endorfinů
- **Mozkový kmen** – zodpovídá za řízení dýchání a oběhu, retikulární aktivační systém
- **Mícha** – zodpovídá za motorické a sympatické reflexy

Lokalizace a typy bolesti

- Přesnost umístění závisí na přítomnosti receptorů, počtu zakončení, jiných smyslových modalitách a zkušenosti pacienta
- Špatná je u dětí, velmi přesná u pacientů s opakovanými bolestmi
- **Kožní bolest**
 - Na povrchu kůže velmi přesná, hlouběji hůře lokalizovatelná
- **Přenesená bolest**
 - Je umísťována do povrchových i hlubokých struktur zásobených ze stejného nebo sousedního míšního segmentu
- **Bolest viscerálních orgánů**
 - Je přenášena do typických kožních okrsků - **Headovy zóny**, jež odpovídají projekci postiženého orgánu
 - V okrsku pozorujeme zvýšenou citlivost i na jiné modality a zesílení vegetativních příznaků
 - Vazomotorické, sudomotorické, dermatografismus + zvýšený tonus svalů až defense musculaire



Typy bolesti



Typy bolesti

- **Akutní**
 - Fyziologický smyslový vjem, který nás informuje o podnětech hrozících poškozením tkáně
 - Mobilizuje obranné síly organismu s cílem odstranit vyvolávající příčinu
- **Chronická**
 - Patologická, ne vždy lze vyvolávající nemoc léčit a zjistit příčinu bolesti
 - Někdy bolest přetrvává i po odstranění příčiny → je obtížné zjistit, zda bolest vznikla v důsledku přetrvávající patologické aktivity v nervových zakončeních v periférii, nebo je zdrojem CNS

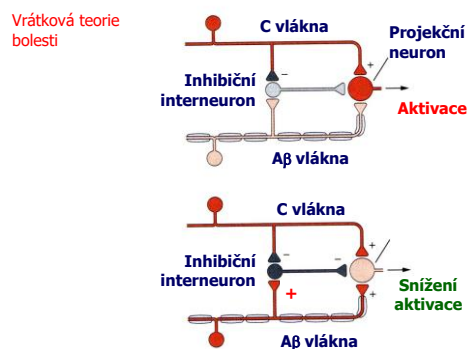
Speciální typy bolesti

- **Neuralgie**
 - Jedná se o ostrou, záchvatovitou bolest postihující periferní nebo kranální nervy (často n. V, VII) po traumatickém poškození, útlakem, vir
- **Bolest při chronické kompresi periferních nervů a nervových kořenů**
 - Hernie meziobratlových disků a stlačení nervu v kostním kanálku vede k bolesti
 - Při dlouhodobém tlakovém působení jsou vyřazovány z funkce mechanoreceptory (taktilní)
 - Bolestivá aferentace však zůstává neporušena - bolest získává pálivý charakter
- **Kausalgie (Sudeckova dystrofie)**
 - Bolestivý syndrom doprovázející poranění nervů bohatých na vegetativní vlákna (medianus, tibialis)
 - Bolest při kausalgii je palčivá a neodpovídající stupni poranění (hyperpatie, allodynie) se silným vegetativním doprovodem (vazomotorický, sudomotorický, trofické změny, jež mohou postihnout i kostní tkáň)

- Teorie vzniku - na arteficiální synapsi došlo ke zkratu, kdy sympatická eferentní vlákna stimulují vlákna typu C
- **Fantómová bolest**
 - Po amputacích končetiny, po ztrátě jiných částí těla, po extrakci zubu
 - Člověk má dojem přítomnosti odstraněné části těla, menší procento (asi 30 %) trpí bolestí (pacienti s dlouhodobou bolestivou afekcí před amputací)
 - Deaferentace substantia gelatinosa nebo ložisko podráždění v mozku
- **Ischemická bolest**
 - Je důsledkem poruchy prokrvení myokardu, hladkého či kosterního svalstva
 - Dochází k uvolnění substance P, histaminu, serotoninu a K^+ z buněk, snížení pH
- **Migrenózní bolest**
 - Migréna je charakterizována atakami pulsujících a převážně unilaterální bolesti hlavy trvajících obvykle 4-72 hodin s nauzeou, případným zvracením, fotofobií a fonofobií
 - Trpí jí 12 % dospělé populace

Vrátková teorie – Melzack a Wall (1992)

- Podle nich mohou být impulsy vedené periferními nervovými vlákny do spinální míchy modifikované už na úrovni míchy ještě před vniknutím do mozku
- Příčinou jsou synapse v zadních rožích míchy působící jako vrátka, která se zavírají, čímž brání přenosu impulsů do mozku, nebo se otevírají a umožňují převod impulsů do mozku
- Vrátko se uzavírá tehdy, když do míchy přichází velké množství impulsů v silných nervových vláknech, vedoucích signály tepla, chladu, tlaku..., čímž se blokuje bolest vedená tenkými nervovými vlákny
 - Předpokládá se, že signály bolesti jdou přes tenčí vlákna typu A-delta a C
 - Jen při otevřených vrátkách, kdy převládá stimulace vláken bolesti, pociťuje osoba bolest



47 - Fyziologie spinální míchy, míšní reflex

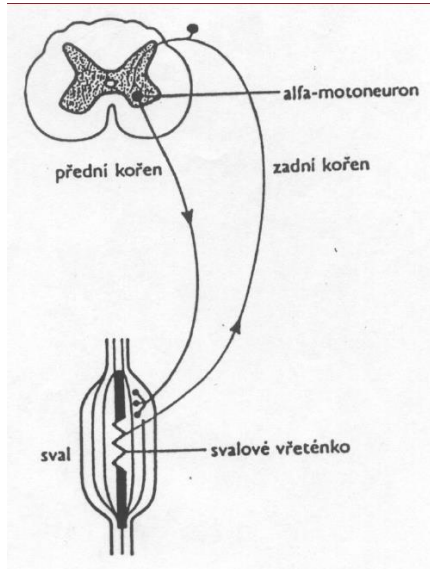
- Jedná se o 40-50 cm dlouhý provazec nervové tkáně uložený v páteřním kanálku
- Je tvořena:
 - Šedou hmotou míšní (substantia grisea), která má na průřezu tvar motýla nebo písmene H
 - Bílou hmotou míšní (substantia alba), která je uložena na povrchu a mezi sloupci šedé hmoty (tvoří např. fasciculus gracilis a fasciculus cuneatus)
- Z míchy vystupuje 31 párů míšních nervů (označovaných jako 31 segmentů)
 - C8, Th12, L5, S5, Co1-3
- Rexedovy zóny v šedé hmotě míšní I – X tvoří 10 vrstev, které prostupem více segmentů tvoří jádra
 - Lamina I – nucleus apicalis
 - Menší buňky, jejichž axony vstupují do bílé hmoty a tvoří ascendentní a descendentní intersegmentové spoje – propriospinální dráhy
 - Lamina II + III – substantia gelatinosa Rolandi
 - Interneurony
 - Lamina IV + V – nucleus proprius
 - Spoje do nadřazených oblastí, vedou informaci o teplotě, chladu bolesti, kožní cití – tractus spino-tectalis, reticularis, thalamicus
 - Lamina VI – nucleus thoracicus – Stilling-Clarkeovo jádro
 - Od segmentu C8 po L3
 - Propriocepce z dolních končetin a z dolních segmentů trupu
 - Informace pak posílá do mozečku (přes tractus spinobulbaris posterior et anterior nebo olivární jádra)
 - Lamina VII
 - Skupina motoneuronů v předním rohu tvořící:
 - Nucleus intermediomedialis - senzitivní podněty (aferentace) z interoreceptorů vnitřních orgánů
 - Nucleus intermediolateralis - v rozsahu segmentů C7 – L2 jsou buňky zdrojem vzruchů sympatického autonomního nervstva a v rozsahu segmentů S2 – S4 zdrojem vzruchů sakrálního PASY
 - Lamina VIII
 - Mediální skupina motoneuronů (inervace trupu)
 - Lamina XI
 - Laterální skupina motoneuronů (inervace končetin – intumescence)
 - Lamina X
 - Zona centralis
- Spinální nervy - vstupní část
 - Somatosenzitivní axony (kůže a kosterní svalstvo) a viscerosenzitivní axony (vnitřní orgány), které vstupují do míchy přes radix dorsalis (zadní kořen)
- Spinální nervy - výstupní část
 - Somatomotorické axony (kosterní svalstvo) a visceromotorické axony (žlázy a hladká svalovina), přepojovací sympatická ganglia, opouštějí míchu přes radix ventralis (přední kořen míšní)

Míšní reflexy (dopsáno 1.4.2020 – Nečasova dodatečná prezentace)

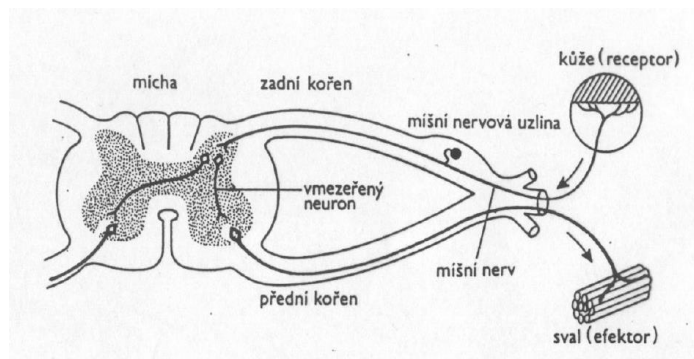
- Skládají se z reflexního oblouku, který má pět základních oddílů:
 - Receptor (ve svalech, šlachách nebo kůži)
 - Dostředivá vlákna (aferentní – senzitivní)
 - Centrum (v míše – motorická buňka)
 - Odstředivá vlákna (eferentní – motorická)
 - Efektor (nervosvalová ploténka)
- Rozdělení reflexů dle aferentace:
 - Exteroreceptivní

- Visceroreceptivní
- Rozdělení reflexů podle receptorů:
 - Proprioceptivní (monosynaptický)
 - Exteroceptivní (flekční, extezorové – polysynaptické)

Monosynaptický reflex



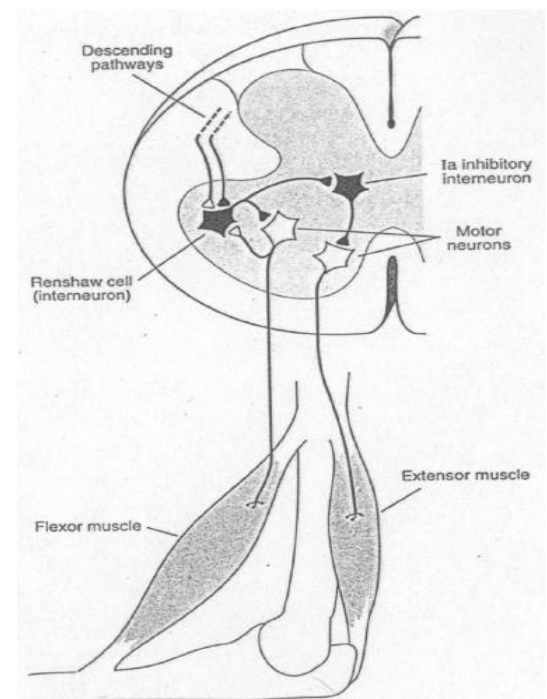
Polysynaptické reflexy – přítomnost interneuronu



Interneurony

- Interneurony (vmezeřené, interpolované neurony) představují integrační oblast páteřní míchy
- Jejich těla jsou uložena v bazálních částech zadních rohů šedé hmoty míšní
- **V interneuronech se facilituje nebo tlumí základní aktivita**
 - Tím vzniká labilní stav umožňující rychlé výkyvy funkce
- Interneurony zajišťují reciproční inervaci, iradiaci, cílenost pohybu...
- Současně mají velký význam při koordinaci základních reflexů spinálních (proprioceptivních a exteroceptivních) s úmyslnými pohyby (s vlivy z vyšších oblastí CNS, především z mozkové kůry)
- Interneurony jsou dvojího typu na základě efektu na **postsynaptickou membránu**:
 - **Excitační**
 - Uvolňují mediátor, který způsobuje depolarizaci subsynaptické membrány
 - Příklad **reflexu** zprostředkovaného excitačními interneurony je ohýbací **reflex** - komplexní reflexní oblouk používaný pro únik končetiny z dosahu bolestivého podmětu
 - Tento reflex je mnohem pomalejší než myotatický reflex, což značí intervenci velkého počtu interneuronů mezi smyslovým podmětem a koordinovaným pohybem
 - **Axony** vedoucí signály bolesti vstupují do míchy a aktivují interneurony v několika různých místech
 - Tyto interneurony nakonec podráždí alfa motoneurony kontrolující všechny flexorové svaly postižené končetiny
 - **Inhibiční**
 - Jejich mediátor vede k hyperpolarizaci
 - Zajišťují zpětnovazebný a aferentně kolaterální útlum
 - Příkladem může být myotatický (napínací) **reflex** - kompenzace prodloužení jednoho souboru svalů (znamená kontrakci flexorů přes napínací (myotatický) **reflex**) vyžaduje zároveň uvolnění antagonistických svalů extenzorů
 - Kontrakce jednoho souboru svalů doprovázená relaxací svalů antagonistických je nazývána vzájemnou inhibicí

- V případě natahovacího reflexu dochází k vzájemné inhibici, protože jsou kolaterální větve **axonů** spojeny s inhibičními míšními interneurony, které jsou spojeny s alfa motoneurony antagonistických svalů
- Patří k nim také buňky **Renshawovy** charakterizované tím, že jsou drážděny kolaterálami vlastního motoneuronu, na který působí tlumivě (zpětná tlumivá vazba – rekurentní útlum)
 - Prakticky ihned poté, co axon anteriárního motoneuronu opustí jeho tělo, kolaterály (kolaterální větve) tohoto axonu přechází na sousední Renshawovy buňky
 - Renshawovy buňky jsou inhibiční interneurony předávající inhibiční signál okolním motoneuronům
 - Stimulace každého motoneuronu tedy směřuje k inhibici okolních motoneuronů, přičemž tento jev nazýváme laterální inhibice
 - Pohybový systém užívá tuto laterální inhibici k zaměření nebo zaostření vlastních signálů stejnou cestou jakou používá senzorický systém (využívá stejného principu), aby se primární signál přenesl v nezměněné míře požadovaným směrem a zároveň potlačuje tendenci signálu šířit se příčně
- Interneurony jsou zvláště četné v místech, odkud je řízena činnost svalů HKK a DKK – **intumescentia cervicalis et lumbalis** v tomto pořadí
- Činnost interneuronů je stále ovlivňována informacemi z vyšších regulačních systémů zprostředkovanými sestupnými míšními dráhami
- **Interneurony mohou být dále klasifikovány dle umístění:**
 - **Míšní interneurony**
 - 1a inhibiční neurony: nachází se v Lamina VII, zodpovědné za inhibici antagonistických motoneuronů
 - 1b inhibiční neurony: nachází se v Lamina V, VI, VII
 - **Kortikální interneurony**
 - Interneurony obsahující **CCK** (cholecystokinin)
 - Interneurony obsahující **VIP** (vasoaktivní intestinální polypeptid)
 - **Cerebelární interneurony**
 - Interneurony molekulární vrstvy (**košíčkové a hvězdčité buňky**)
 - **Golgiho buňky**
 - Granulované buňky
- Základem veškeré hybnosti je **svalový tonus**, který je zajištěn činností páteřní míchy – **medulla spinalis**
- Na něm je vybudován:
 - Systém postojových a vzpřimovačích reflexů = motorický systém polohy = **opěrná motorika**
 - Tuto motoriku řídí retikulární formace, statokinetické čidlo a mozeček
 - Opěrná motorika je základem úmyslných pohybů = motorický systém pohybu = **cílená motorika**
 - Tuto motoriku řídí mozková kůra, bazální ganglia a mozeček
- **Vnímání polohy a pohybů vlastního těla je založeno na souhrě mnoha receptorových systémů**
 - Smyslová čidla v kloubech, šlachách a svalectech
 - Receptory v polokruhovitých kanálcích a elipsovitém a kulovitém váčku středního ucha



- Pomalu se adaptující receptory v kůži reagující na její napínání
- Zrakový analyzátor

Opěrná motorika

- Zajišťuje rovnovážný postoj těla vzhledem ke gravitaci
- Zajišťování polohy těla nebo jeho částí má *reflexní charakter*:
 - **Reflexy postojové**
 - **Reflexy polohové**
 - **Reflex vzpřimovací**
- Informace o opěrné motorice jsou registrovány z následujících oblastí:
 - Proprioreceptorů
 - Exteroreceptorů
 - Statokinetického čidla
- Řízení těchto pohybů probíhá v hybných centrech mozkového kmene – retikulární formace, mozeček – ale i v páteřní míše

Postojové (posturální) reflexy

- Základem tohoto reflexu z řady opěrné motoriky je kontrakce antigravitačního svalstva (extenzorů)
- Svalový tonus je udržován:
 - Exteroreceptivními a proprioreceptivními míšními reflexy gama-systému
 - Retikulární formací
- Do postojových reflexů zařazujeme:
 - Svalový tonus
 - Svalový tonus je **základním prvkem** pro všechny postojové děje
 - Zajišťují ho proprioreceptivní spinální reflexy
 - Lokální statická reakce
 - Lokální statické reakce jsou nejjednodušším typem postojových reflexů
 - Jsou to také spinální exteroceptivní reflexy, které dále řadíme mezi extenzorové reflexy
 - Extenzorové reflexy jsou takové, které vyvolávají extenzi DK tlakem na chodidlo
 - Lokálními jsou nazývány proto, že vyvolávají odpověď pouze ve svalu podrážděné končetiny
 - Když podráždíme receptory plosky nohy, výsledkem bude to, že končetina, kterou zatěžíme, bude pevnou oporou pro tělo
 - Segmentální statická reakce
 - Řídí reakci pro **součinnost svalstva více končetin**
 - Hlavní význam mají informace přicházející z proprioreceptorů (zkřížený extenzorový reflex, který představuje kombinaci flexorového reflexu ipsilaterálně a zároveň kontralaterálně extenzorového reflexu)
 - Celková statická reakce
 - Celkové statické reakce jsou nadřazovány základním postojovým reakcím
 - Tyto reakce mají na starosti svalový tonus v trupu a dále tonus v končetinách
 - Mezi celkové statické reflexy řadíme:
 - Tonické šíjové reflexy
 - Tonické šíjové reflexy jsou zahajovány podrážděním proprioreceptorů v šíjových svalech
 - Při zaklonění hlavy nastává extenze horních končetin, při sklonění extenze dolních končetin
 - Při otočení hlavy dochází ke stejnostranné extenzi obou končetin
 - Tonické labyrintové reflexy
 - Impulzy ze statického čidla mění tonus svalstva trupu a končetin
 - Fázikové labyrintové reflexy

- Vnímají především dráždění kinetického čidla (vestibulárního aparátu) rotačním pohybem hlavy
- Důležité pro **udržování vzpřímené polohy** při **složitých a rychlých pohybech** (při sportu) nebo jsou důležité pro udržení postoje v klidu

Vzpřimovací reflexy

- Pro vzpřimovací reflexy je nutná činnost retikulární formace, statokinetické čidlo a mozková kůra regulující podnět:
- Informace o stálém směru působení gravitace jsou vedeny z taktilních exteroceptorů, které iniciují tělové vzpřimovací reflexy, čímž ovlivňují tonus šíjového svalstva a tonus svalstva trupu a končetin

Somestetický analyzátor

- Somestetická citlivost představuje nervové mechanismy shromažďující senzickou informaci z těla
- **Klasifikace somestetické citlivosti:**
 - **Bolestivá citlivost**
 - Aktivovaná mnohými faktory, které poškozují tkáň
 - **Mechanoreceptivní somestetická citlivost**
 - Zahrnuje jednak taktilní, jednak poziční vnímání
 - Receptory jsou stimulované mechanickým podnětem
 - **Termoreceptivní citlivost**
 - Detekuje teplo a chlad
- **Klasifikace somestetických citlivostí z funkčního pohledu:**
 - Systém **povrchní kožní citlivosti** anebo **komplexní exteroceptivní analyzátor**
 - Informuje nervový systém o všech změnách působících na povrch těla
 - Dotyk, tlak, teplo, chlad a povrchová bolest
 - Systém **hluboké citlivosti** anebo **komplexní proprioreceptivní analyzátor**
 - Informuje nervový systém o momentálním stavu pohybového aparátu organismu
 - Svaly, šlachy, hluboká bolest

Dotyk a tlak

- Receptory citlivé na tyto faktory jsou následující:
- **Vater-Paciniho tělíska**
 - Rychlá adaptace bez směrové orientace
 - Krátký cyklus zotavení a nepatrná únava, možnost reagovat na vibrace
- **Golgi-Mazzoniho disky**
 - Podobné vlastnosti jako u Vater-Paciniho tělísek
- **Meissnerova tělíska**
 - Rychlá adaptace bez směrové orientace
- **Receptory vlasových folikulů**
 - Pomalá adaptace
- **Merkelovy disky, dotykový disk anebo dotykový meniskus**
 - Pomalá adaptace
 - Reagují na tlakový podnět a trvání podnětu, směrová orientace, ve vlasové části
- **Ruffiniho zakončení**
 - Pomalá adaptace se směrovou orientací

Dráhy pro hrubý dotyk a tlak z těla a končetin (protopatické čítí)

- Dotykové a tlakové receptory v kůži vysílají signály do spinálního ganglion (které je 1. senzický neuron), které vysílá axony do zadních rohů (kde jsou 2. senzické neurony)
- Vlákna přecházejí střední čáru (kříží se) a vstupují do **tractus spinothalamicus** (a pak do lemniscus medialis), až dojdou do thalamu (kde se přepojí na 3. senzický neuron (v nucleus ventralis

posterolateralis)), který putuje do mozkové kůry do *gyrus postcentralis* (area 1, 2, 3 – primární senzitivní korová oblast)

Dráhy pro jemný dotyk a tlak z těla a končetin (epikritické čítí)

- Dotykové a tlakové receptory v kůži dávají opět signál dendritům spinálního ganglion (který je 1. senzorický neuronem) a jeho axony vstupují do obrovské dráhy **tractus spino-bulbo-thalamo-corticalis**
 - Spinobulbární trakt vede do *ncl. cuneatus a gracilis*, kde se přepojí (2. senzorický neuron) a cestou *lemniscus medialis* vedou do talamu, kde se opět připojí (3. senzorický neuron) a vede opět do mozkové kůry do *gyrus postcentralis* (area 1, 2, 3 – primární senzitivní korová oblast)

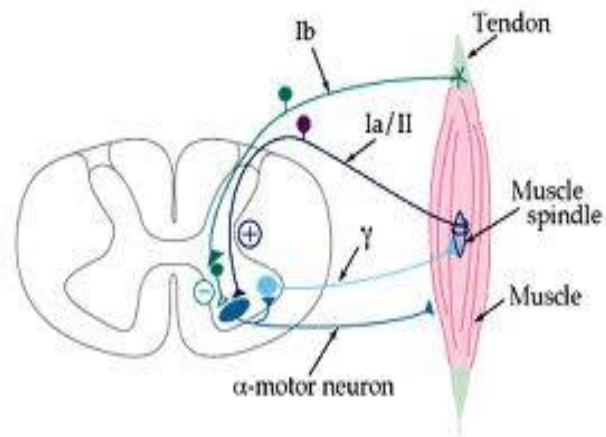
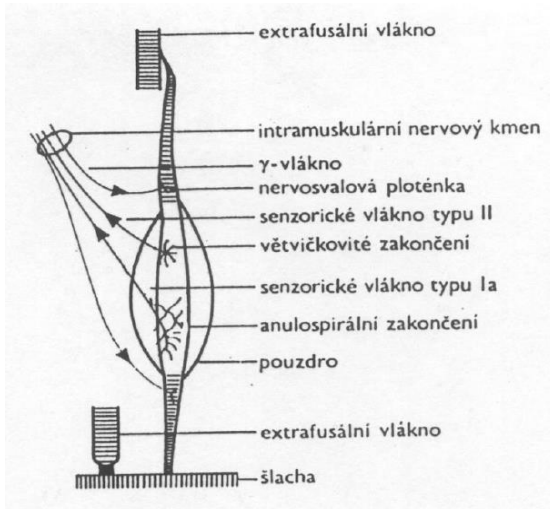
Propriocepce

- Propriocepce je zvláštní smysl (objevený fyziologem C. S. Sherringtonem).
- Receptory jsou svalová vřeténka:
 - Jsou komplexním senzorickým receptorovým orgánem myotatického (proprioceptivního) reflexu
 - Jsou umístěné ve vnitřku kosterního svalu (přiložené paralelně k extrafuzálním vláknům)
 - Skládají se ze dvou specifických druhů intrafuzálních vláken
 - Intrafuzální vlákna jsou inervované γ -motoneurony, které se nacházejí ve ventrální části šedé hmoty míchy
- Motorický γ -systém
 - Protažení centrální části svalových vřetének, kde jsou umístěna senzitivní nervová zakončení, může být způsobeno nejen natažením celého svalu, ale i kontrakcí intrafuzálních vláken inervovaných právě motorickými γ -vláknými
 - Jeho hlavní úlohou je regulace citlivosti primárních a sekundárních zakončení svalového vřeténka
 - Neurony γ -systému fungují jako odporový regulátor a připravují kosterní sval na pohyb
- Aby mohly být tyto informace získány, jsou svaly a jejich šlachy bohatě opatřeny dvěma typy senzorických receptorů:
 - **Svalová vřeténka**
 - Jsou rozeseta na povrchu - uvnitř svalu
 - Aferentují do NS, kontrolují délku svalu nebo změny jeho délky
 - **Golgiho šlachové orgány**
 - Jsou umístěny ve svalových šlachách
 - Aferentují informace o napětí šlachy, změny jejího napětí
- Signály z obou těchto receptorů jsou buď úplně, nebo téměř úplně vydávány za účelem vnitřní kontroly svalu
- Jsou řízeny téměř vždy na podkorové úrovni
- Informace z nich vede do spinální míchy, mozečku a mozkové kůry, a tak pomáhají každé této části nervového systému ve funkci kontroly svalové kontrakce

Proprioceptivní reflexy (vlastní)

- Představují základní element spinální motoriky
- Jsou monosynaptické – vzruch je při nich přiváděn přímo na homonymní α -motoneuron příslušného svalu
 - Tedy začínají i končí v témže svalu (z toho vyplývá název proprioceptivní = vlastní)
- Receptory proprioceptivních reflexů jsou svalová vřeténka a šlachová tělíska
- **Svalové vřeténko** je uloženo v podélné ose svalu (paralelní zapojení), a tudíž reagují na protažení svalu
- **Šlachová tělíska** jsou se svalovými vlákny zapojena v sérii

- Svalový receptor registrující protažení či zkrácení svalu, se skládá ze svazku modifikovaných svalových vláken (intrafuzální vlákna) obalených vazivovým pouzdrem
- V jejich střední části je zakončena část aferentních senzoričkových vláken (anulospirální zakončení)
- Motoricky jsou intrafuzální vlákna inervována gama-motoneurony



- Kontrakce svalu může být vyvolána buď přímo - podnětem z alfa-motoneuronů, anebo nepřímo - prostřednictvím gama-systému

Gama-systém (gama-motoneurony)

- Protažení centrální části svalových vřetének, kde jsou umístěna senzitivní nervová zakončení, může být způsobeno nejen natažením celého svalu, ale i kontrakcí intrafuzálních vláken inervovaných právě motorickými γ -vláčky
- Úroveň dráždivosti svalových vřetének je tedy řízena napětím intrafuzálních svalových vláken inervovaných vlákny typu A δ z takzvaných **γ -motoneuronů předních rohů míšních**
- Tato regulace je závislá na stupni natažení svalu a má charakter autoregulačního zpětného systému, který řídí dráždivost receptoru v závislosti na intenzitě a kvalitě podnětu a nazývá se právě **γ -systém**
 - Je řízen z retikulární formace a dalších vyšších center (mozeček, bazální ganglia, mozková kůra)
 - Má uplatnění při postojových reflexech a udržování a řízení tonu antigravitačních svalů

Proprioceptivní dráhy

- Receptory vydávají AP na dendrity spinálního ganglion (1. senzoričkový neuron) vysílá axony do ipsilaterálního (stejnostranného) **tractus spinobulbaris**, který končí v jádrech oblongáty, (které jsou 2. senzoričkovými neurony)
 - *Nucleus cuneatus* (vlákna z horní části těla a končetin)
 - *Nucleus gracilis* (vlákna z dolní části těla a končetin)
- Jejich axony přechází na opačnou stranu mozkového kmene a pokračují jako **lemniscus medialis (tractus bulbothalamicus)**, který vede do jádra (nucleus ventralis posterolateralis) talamu (3. senzoričkový neuron), které vysílá axony do mozkové kůry *gyrus postcentralis* (area 1, 2, 3 – primární senzitivní korová oblast) a *lobus parietalis*, kde se uvědomuje svalová a šlachová citlivost

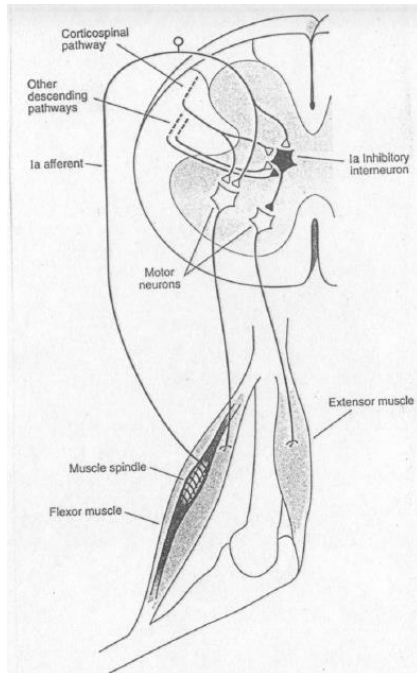
Exteroreceptivní reflexy (cizí)

- Podnětem k jejich vybavení je dráždění dotykových a bolestivých čidel v kůži
- Taktilní (bolestivé) podněty (například na chodidle) zvyšují reflexně napětí extenzorů
 - Tyto **extenzorové reflexy** tvoří základ postojových reakcí
- Bolestivé podněty reflexně aktivují flexory (odtažení, únik), a proto jsou takto vyvolané **flexorové reflexy** označovány také jako **obranné reflexy**

- Na integraci exteroceptivních reflexů se podílí vždy velký počet interneuronů a více míšních segmentů – jsou to reflexy **polysynaptické a plurisegmentální**
- Receptor a efektor v různých orgánech (kůže -sval)

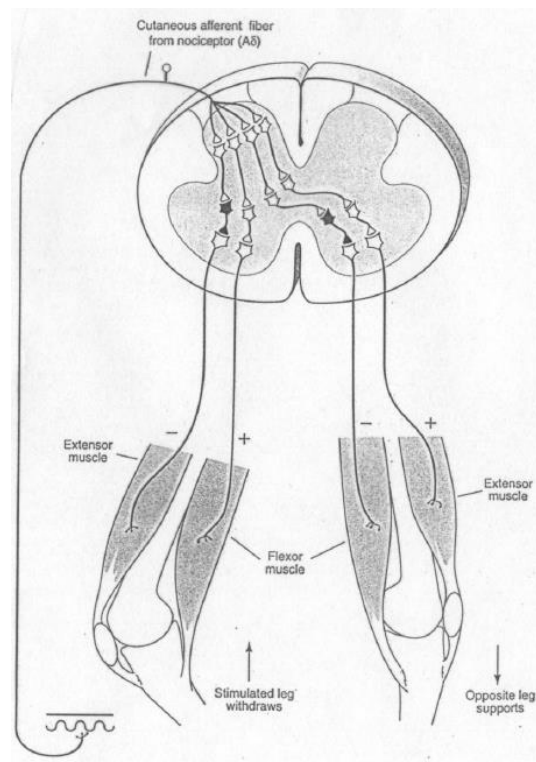
Reciproční inervace

- Při kontrakci agonistů se tlumí antagonisté
- Reflex řízen činností míšních interneuronů - podstata obranného reflexu



Zkřížený flexorový reflex

- Flexe jedné končetiny je provázena extenzí druhé - zachování vzpřímeného postoje
- Tento reflex je základní prvek lokomoce



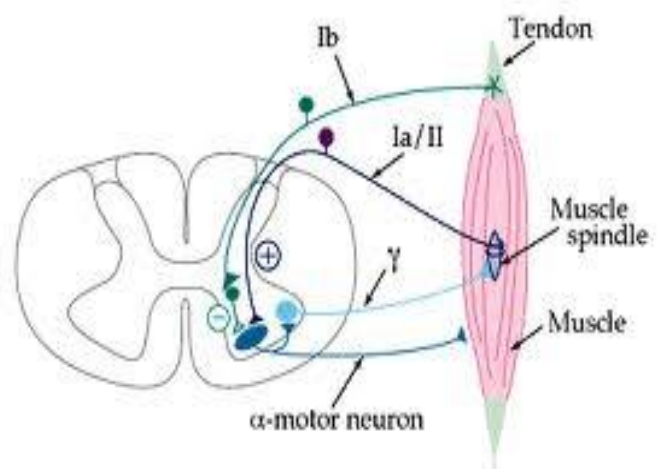
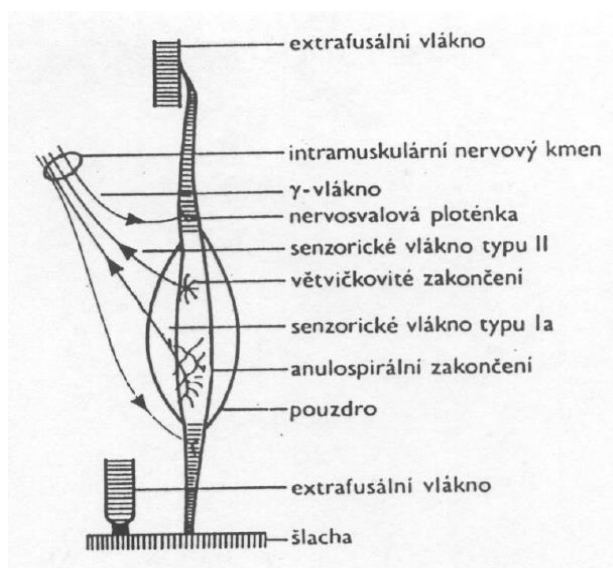
48. Propriocepce

- Propriocepce je zvláštní smysl (objevený fyziologem C. S. Sherringtonem).
- Receptory jsou svalová vřeténka:
 - Jsou komplexním sensorickým receptorovým orgánem myotatického (proprioceptivního) reflexu
 - Jsou umístěné ve vnitřku kosterního svalu (přiložené paralelně k extrafuzálním vláknům)
 - Skládají se ze dvou specifických druhů intrafuzálních vláken
 - Intrafuzální vlákna jsou inervovaná γ -motoneurony, které se nacházejí ve ventrální části šedé hmoty míchy
- Motorický γ -systém
 - Protažení centrální části svalových vřetének, kde jsou umístěna senzitivní nervová zakončení, může být způsobeno nejen natažením celého svalu, ale i kontrakcí intrafuzálních vláken inervovaných právě motorickými γ -vlákný
 - Jeho hlavní úlohou je regulace citlivosti primárních a sekundárních zakončení svalového vřeténka
 - Neurony γ -systému fungují jako odporový regulátor a připravují kosterní sval na pohyb
- Uvědomování si polohy končetin vůči ostatnímu tělu (okolnímu prostředí)
- Uvědomování si svalového napětí, změny polohy, ale i rychlosti je zajišťována souborem fyziologických mechanismů
- Aby mohly být tyto informace získány, jsou svaly a jejich šlachy bohatě opatřeny dvěma typy sensorických receptorů:
 - **Svalová vřeténka**
 - Jsou rozeseta na povrchu - uvnitř svalu
 - Aferentují do NS, kontrolují délku svalu nebo změny jeho délky
 - **Golgiho šlachové orgány**
 - Jsou umístěny ve svalových šlachách
 - Aferentují informace o napětí šlachy, změny jejího napětí
- Signály z obou těchto receptorů jsou buď úplně, nebo téměř úplně vydávány za účelem vnitřní kontroly svalu
- Jsou řízeny téměř vždy na podkorové úrovni
- Informace z nich vede do spinální míchy, mozečku a mozkové kůry, a tak pomáhají každé této části nervového systému ve funkci kontroly svalové kontrakce

Proprioreceptivní reflexy (vlastní)

- Představují základní element spinální motoriky
- Jsou monosynaptické – vzruch je při nich přiváděn přímo na homonymní α -motoneuron příslušného svalu
 - Tedy začínají i končí v témže svalu (z toho vyplývá název proprioceptivní = vlastní)
- Receptory proprioceptivních reflexů jsou svalová vřeténka a šlachová tělíska
- **Svalové vřeténko** je uloženo v podélné ose svalu (paralelní zapojení), a tudíž reagují na protažení svalu
 - Čím více je sval protažen, tím je ve svalových vřeténkách větší podráždění
 - Vzruchy přiváděné z vřetének působí facilitační přímo na α -motoneurony vlastního svalu
 - Svalová vřeténka také informují CNS jak o rychlých (fázických) změnách délky svalu (při pohybu), tak i o změnách dlouhodobých (tonických) při udržování určité polohy
 - Při zkrácení svalu naopak dráždivost svalových vřetének klesá
 - To platí i pro svalový stah (kontrakci), kdy se však současně zvyšuje dráždivost šlachových tělísek
 - Signály ze svalových vřetének jsou odváděny do míšního segmentu dvěma typy vláken, která se liší rychlostí vedení a způsobem zakončení
 - **Silná vlákna** (vlákna typu Ia) mají rychlé vedení vzruchů a končí v centrální oblasti obou typů svalových vřetének anulospirálně
 - **Tenká vlákna** (vlákna typu II) mají pomalé vedení vzruchů a končí na rozhraní centrální (senzitivní) a periferní (kontraktilní) oblasti keříčkovitě

- Oba typy vláken jsou drážděny při natažení svalových vláken vřeténka, což znamená, že při protažení svalu se zvyšuje frekvence AP v obou typech vláken
 - Naopak při zkrácení svalu frekvence AP klesá
- Oba typy vláken tedy informují CNS o délce svalu
- Při změnách délky svalu se však objevují rozdíly mezi oběma typy vláken
 - Při natažení svalu je frekvence potenciálů ve vláknech typu Ia mnohem vyšší, než ve vláknech typu II
 - Při zkrácení svalu je frekvence ve vláknech typu Ia nulová, zatímco ve vláknech typu II přetrvává nízká frekvence AP
- Změny ve frekvenci AP u vláken typu Ia lépe odrážejí změny délky svalu a rychlost, s jakou se tato délka mění
 - Vlákná typu Ia tedy signalizují dynamické změny délky svalu (**dynamická senzitivita**)
- Vlákná typu II naproti tomu prakticky postrádají dynamickou senzitivitu a přenášejí informace o statické délce svalu
- **Šlachová tělíška** jsou se svalovými vlákny zapojena v sérii
 - Aktivují se při napnutí šlachy za kontrakce svalu nebo zvýšením svalového napětí
 - Informace ze šlachových tělísek jsou vedeny vlákny typu Ib a působí útlum α -motoneuronů svého svalu, čímž chrání sval i šlachu před přetížením
- Svalový receptor registrující protažení či zkrácení svalu, se skládá ze svazku modifikovaných svalových vláken (intrafuzální vlákna) obalených vazivovým pouzdem
- V jejich střední části je zakončena část aferentních sensorických vláken (anulospirální zakončení)
- Motoricky jsou intrafuzální vlákna inervována gama-motoneurony



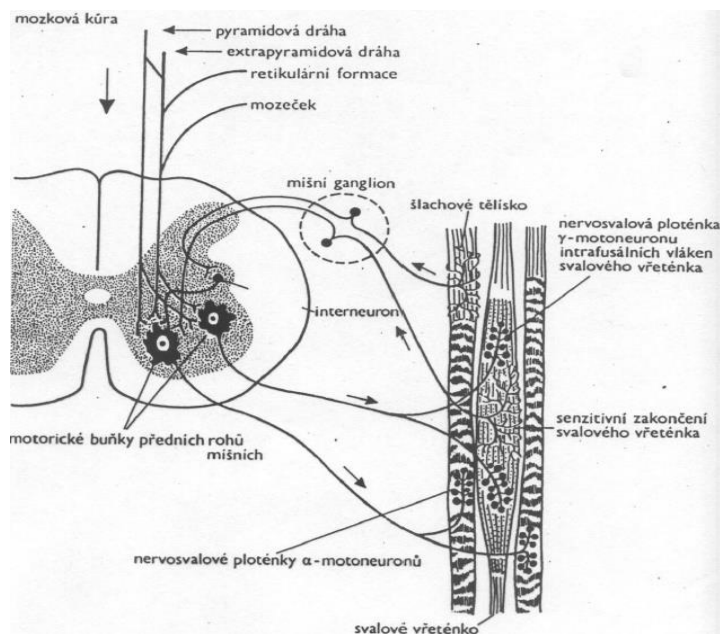
- Kontrakce svalu může být vyvolána buď přímo - podnětem z alfa-motoneuronů, anebo nepřímo - prostřednictvím gama-systému

Gama-systém (gama-motoneurony)

- Protažení centrální části svalových vřetének, kde jsou umístěna senzitivní nervová zakončení, může být způsobeno nejen natažením celého svalu, ale i kontrakcí intrafuzálních vláken inervovaných právě motorickými γ -vlákny
- Úroveň dráždivosti svalových vřetének je tedy řízena napětím intrafuzálních svalových vláken inervovaných vlákny typu A δ z takzvaných **γ -motoneuronů předních rohů míšních**
- Tato regulace je závislá na stupni natažení svalu a má charakter autoregulačního zpětného systému, který řídí dráždivost receptoru v závislosti na intenzitě a kvalitě podnětu a nazývá se právě **γ -systém**

- Je řízen z retikulární formace a dalších vyšších center (mozeček, bazální ganglia, mozková kůra)
- Má uplatnění při postojových reflexech a udržování a řízení tonu antigravitačních svalů

Svalové vřeténko a Golgiho šlachové tělísko



Proprioceptivní dráhy

- Receptory vydávají AP na dendrity spinálního ganglion (1. senzorký neuron) vysílá axony do ipsilaterálního (stejnostranného) **tractus spinobulbaris**, který končí v jádrech oblongáty, (které jsou 2. senzorkými neurony)
 - Nucleus cuneatus (vlákna z horní části těla a končetin)
 - Nucleus gracilis (vlákna z dolní části těla a končetin)
- Jejich axony přechází na opačnou stranu mozkového kmene a pokračují jako lemniscus medialis (**tractus bulbothalamicus**), který vede do jádra (nucleus ventralis posterolateralis) thalamu (3. senzorký neuron), které vysílá axony do mozkové kůry gyrus postcentralis (area 1, 2, 3 – primární senzitivní korová oblast) a lobus parietalis, kde se uvědomuje svalová a šlachová citlivost

Statická složka propriocepce

- Její hlavní část je vedena výše popsanou spinobulbární drahou z receptorů a spinálního ganglia (1. neuron; tzv. **primární aferentní vlákna**) přímo do stejnostranných (ipsilaterálních) nucleus gracilis a nucleus cuneatus
- Druhá část je vedena vlákny ze spinálního ganglia, která jdou descendentně a ascendentně a přepojují se v Rexedově zóně IV zadních rohů (2. neuron)
 - Odtud vystupuje axon a zanořuje se do zadních provazců
 - Směřuje s nimi k zona reticularis nucleui gracilis anebo nucleui cuneati (tzv. **sekundární aferentní vlákna**), jež dále pokračují spolu s lemniscus medialis (3. neuron) do thalamu a pak (4. neuron) do kůry
- Třetí významná část se vyčleňuje jako podmnžina sekundárních vláken – descendentní axony spinálního ganglia se větví v zadním míšním rohu a odtud po přepojení sekundární vlákno směřuje vzhůru a končí v 37ukleus cervicalis lateralis (ve výši C1-C2)
 - K tomuto jádru také směřují odbočky z tractus spinothalamicus anterolateralis – signály bolesti, teple a protopatického cití

- Po přepojení (tj. 3 neuron) stoupá jako součást svazku tractus cervico-thalamicus spolu s lemniscus medialis do thalamu a odtud do kůry

Kinetická složka propriocepce

- Z **dolní končetiny** se převážně přepojuje v nucleus Stilling-Clark v zadních míšních rozích (2. neuron) a odtud vede v laterálních provazcích míchy jako kontralaterální tractus spinocerebellaris ventralis anebo jako ipsilaterální tractus spinocerebellaris dorsalis ascendentně do mozkového kmene a cestou brachia conjunctiva/pedunculi cerebellares superiores (ventrální dráha) anebo corpora restiformia/pedunculi cerebellares inferiores (dorzální dráha) končí v mozečku
 - Někdy se přepojuje v nucleus cuneatus lateralis
- Z **horní končetiny** postupuje kinetická propriocepce cestou zadních provazců, přepojuje se v nucleus cuneatus lateralis a odtud pokračuje jak do mozečku, tak do thalamu a do kůry velkého mozku

Monosynaptický reflex

