



# Somatosenzorický systém

(Fyzioterapeutické metodiky – I.roč. NMgr. fyzioterapie)

Mgr. Zdeněk Čech

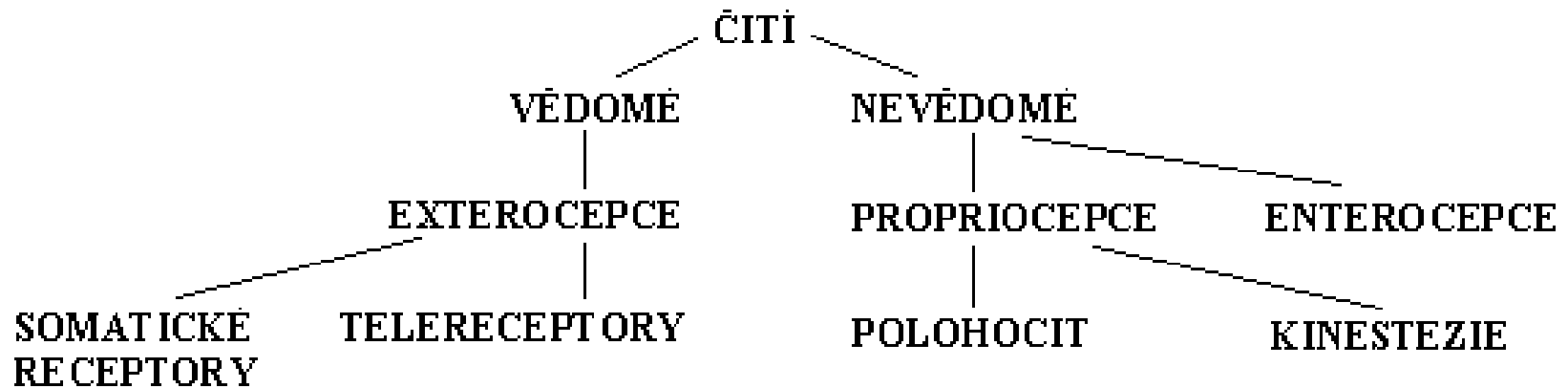
# Senzomotorická podstata motoriky

- Zjednodušený model dle Evartse (senzorická aference + motorické programy + spinální okruhy)
- Fyzioterapie je především o regulaci (modulaci) aference
- Změny centrálního zpracování aference jsou stejně relevantní

# Význam somatosenzorické aference

- Ovlivňuje výběr motorického programu (atituda ev.+stimulace → „odheslování programu“ Čápová)
- Modifikuje motorický výstup na segmentální úrovni
- Vědomá složka umožňuje vnímání vlastního těla, jeho interakce s prostředím a rekognici vzájemného kontaktu
- Významný vztah s nastavením limbického systému

# Obvyklé rozdělení typů čití



- Sémantický vs. nesémantický obsah vjemu ?
- Extrakce nevědomé senzorické informace orientovanou pozorností

# Fyziologicky 2 typy somatosenzorů

- **Statické = tonické**
- Vnímání polohy, napětí, kontaktu
- Goniometrická informace
- Pomalá adaptace
- Statestezie
- **Dynamické = fázické**
- Vnímání změny polohy, změny napětí, vibrace
- Akcelerometrická informace
- Rychlá adaptace
- Kinestezie

# Komplexita somatosenzorického vnímání

- Je dána poskládáním mozaiky dílčích vjemů a jejich následnou interpretací
- Modalitně a submodalitně specifické aferentní moduly až po primární somatosenzorický kortex
- Somatotopická organizace SSS
- V asociačních oblastech somatosenzorické kůry dochází k postupné integraci jednoduchých počitků do komplexnějších vjemů (teorie rysových analyzátorů)

# Základní funkční vlastnosti 4 typů nízkoprahových mechanosenzorů

Receptorová jednotka	Adaptace	Receptivní pole	
		Hranice	Velikost
<b>RA I</b> (Meissnerova t.)	<b>rychlá</b>	<b>zřetelné</b>	<b>malá</b>
<b>RA II</b> (Vater-Paciniho t.)	<b>rychlá</b>	<b>nezřetelné</b>	<b>velká</b>
<b>SA I</b> (Merkelovy disky)	<b>pomalá</b>	<b>zřetelné</b>	<b>malá</b>
<b>SA II</b> (Ruffiniho t.)	<b>pomalá</b>	<b>nezřetelné</b>	<b>velká</b>

# Kožní nocisenzory

- Unimodální mechanosenzitivní nocisenzory:  
Drážděny pouze silnou mechanickou stimulací kůže (ostrý předmět). Terminály aferentních vláken A $\beta$  a A $\delta$ . Percepční pole ze 3 – 20 úzkých a nesouvislých oblastí.
- Dva typy těchto vláken:  
1. typ: odpovídá prahově na podněty nenocicepční, jejich aktivita se s intenzitou mech.dráždění zvyšuje. 2. typ: aktivován jen skutečně nociceptivním drážděním



# Kožní nocisenzory

- Multimodální nocisenzory:

Terminály aferentních vláken A $\delta$ . Odpovídají jak na mechanické, tak na termické nocicepční podněty. Jejich percepční pole (u opic) tvoří 2 nebo 3 oddělené oblasti, z nichž každá měří 2 – 3 mm<sup>2</sup>. U člověka je percepční pole těchto vláken rovněž tvořeno několika různými místy. Tyto oblasti jsou nejúčinněji aktivovány popálením.

# Kožní nocisenzory

- Polymodální nocisenzory:

Terminály aferentních C vláken. Odpovídají na všechny druhy bolestivých podnětů. Jsou drážděny chemickými látkami, které se uvolňují při poškození tkáně z buněk do extracelulární tekutiny. Zejména bradikinin, serotonin, histamin,  $H^+$ ,  $K^+$ , acetylcholin, proteolytické enzymy. Nalézáme je i v hlouběji uložených tkáních.

# Nocisenzory - obecné vlastnosti

- senzibilizace - frekvence výboje se zvyšuje, jestliže se podněty opakují
- zvláštnost všech nocisenzorů - neadaptují
- Citlivost všech nocisenzorů se mohutně zvyšuje v přítomnosti prostaglandinů a dalších senzitivizujících substancí (CGRP, SP, ...)

# Propriocepce

Senzory umožňující detekovat vzájemnou polohu a pohyby jednotlivých částí těla.

Tuto funkci mají tato čidla:

1) Ruffiniformní a Paciniformní tělíka  
v kloubních pouzdrech a vazech

2) Svalová vřeténka a Golgiho šlachová tělíka

3) Ruffiniformní tělíka uložená v korigu

# Svalové vřeténko

- Dva typy intrafusálních vláken:  
1) nuclear bag      2) nuclear chain
- Oba typy senzitivně inervovány dvěma typy aferentních vláken:  
1) Ia s anulospirálním (primárním) zakončením v centrální části vlákna (dynamická senzitivita)  
2) II s keříčkovitým (sekundárním) zakončením na rozhraní senzitivní a kontraktilní oblasti (statické, délkové informace)

# Svalové vřeténko

- Nastavitelnost na určitou úroveň dráždivosti - eferentní vliv CNS ( $\gamma$  systém)
- Vliv sympatiku

# Golgiho šlachový orgán

- Nastaven na vyšší tah než svalová vřeténka.
- Sledují sílu svalové kontrakce.
- Informace z těchto senzorů vedena do míchy vláknem typu Ib.
- Autogenní inhibice svalu. Negativní feedback na homonymní moto-neurony. Ochrana svalu a šlachy proti přepětí.

# Kloubní senzory

- Kloubní pouzdra, ligamenta a zevní okraje menisců obsahují volná zakončení nemyelinizovaných vláken, která jsou aktivována při náhlém natažení těchto struktur. Jsou součástí protektivního reflexu kloubního pouzdra.
- Některá volná nervová zakončení se aktivují pouze při zánětu kloubu.



# Kloubní senzory

Opouzdřená nervová zakončení v okolí kloubního pouzdra obsahují :

- 1) Ruffiniho tělíska (SA II), signalizují napětí/ zřasení pouzdra - goniometr
- 2) Lamelovaná zakončení - reagují na tlak
- 3) Vater-Pacciniho tělíska (RA II) – vibrace a akcelerometrie „ON-OFF”

# Kloubní senzory

Pravidlo:

opouzdřená zakončení – pohyb a  
poloha v kloubu

neopouzdřená – ohrožení nebo  
poškození kloubu



# Mechanoreceptory ve fasciích


# Senzitivní vlákna periferních nervů

Druh	Typ	Tloušťka (μm)	Rychlost vedení vzruchu (m/s)	Somatosenzory a informační obsah signálů
	I	12 - 20	70 - 120	Ia – aferenty primárních zakončení ve svalových vřeténkách Ib – aferenty z Golgiho šlachových tělísek
A	II	6 - 12	35 - 70	Aferenty ze sekundárních zakončení ve svalových vřeténkách, aferenty z Vater-Pacciniho tělísek
C	III	1 - 6	6 - 35	Aference ze sensorů citlivých na bolest, dotek a teplo
	IV	0,5 - 2	0,5 - 2	Aference ze sensorů citlivých na bolest, teplo a dotek

(Voleň podle Trojan et al. 2001)




# Cílové zóny primárních aferentů – zadní míšní roh



# Lemniskální systém a anterolaterální systém

# Somatosenzorický kortex

- SI = arey 3a, 3b, I, 2
- SII = horní val sulcus lateralis, granulární insula a retroinsulární kortex
- Zadní parietální kortex – arey 5a, 5b, 7a, 7b, 39, 40
- Sériové hierarchické uspořádání SSS



# Integrační proces v asociačních oblastech s.s. kortexu



# Tělesné schéma

- Tělesné schéma je vědomý obraz našeho těla.
- Vzniká integrací somatosenzorické aference v area 40 zadního parietálního kortexu.
- Součástí perceptivně-kognitivního chápání těla je i ohodnocení velikostí a vztahů mezi jednotlivými částmi těla.

# Stereognostická funkce

- Schopnost prostorového vnímání kontaktu se zevním prostředím (bez pomoci zraku) ve vztahu k našemu tělesnému schématu.
- Lokální kontakt je odečítán ze změny v celkovém somatosenzorickém aferentním setu a interpretován skrze vědomí tělesného schématu, popř. může být ještě přiřazen k již známému vjemu uloženému v paměti

# Koncept receptivních polí

(Mountcastle et al.)

- Neurony somatosenzorického systému jsou spontánně (tonicky) aktivní. Senzorické stimuly působí pouze modulaci neuronální aktivity na úrovni centrálních jader a mozkové kůry.
- Jednotlivý neuron lze takto ovlivnit pouze z určité somatické zóny – receptivního pole centrálního neuronu.

## Receptivní pole: velikost, struktura

- Velikost receptivního pole je nepřímo úměrně závislá na kortikální reprezentaci dané lokality
- Od centra receptivního pole k jeho okrajům klesá efektivita stimulu s ohledem na míru ovlivnitelnosti spontánní aktivity příslušného neuronu
- Jednotlivá receptivní pole se překrývají

# Mountcastle et. al.

- Rozlišení dvou bodů
- Význam mechanismu laterální inhibice

# Změny velikosti receptivních polí

- Anatomický rozměr receptivního pole vs. funkční rozměr receptivního pole
- Funkční rozměr receptivního pole je ovlivněn aktuální mírou laterální inhibice – velikost receptivních polí se tak průběžně mění
- Přenos aferentního signálu může být modulován na úrovni všech přepojovacích centrálních jader a kortexu

# Laterální inhibice

- Laterální inhibice není přítomna na úrovni periferních senzorů, ale objevuje se v jádrech zadních provazců a nalézáme ji na všech následných úrovních příslušné aferentní dráhy, takže v mozku populace buněk excitovaných stimulem je také obklopena prstencem inhibice
- Laterální inhibice vzniká jak v celém senzorickém, tak motorickém systému. Její funkcí je vždy zvýšení kontrastu (tlumení šumu).

# Regulace přenosu signálu senzitivními drahami

- Kontrolní systémy senzitivních drah jsou vytvořeny na všech úrovních CNS
- Vyšší úrovně kontrolují transmisi signálu na všech úrovních nižších
- Většina kontrolních systémů může přenos senzitivní informace inhibovat i facilitovat



# Zkvalitnění percepce prostřednictvím aktivního pohybu

- Další centrální regulací schopnou zvýšit „kontrast“ je přímý modulační vliv motorického kortexu na jádra zadních provazců a ncl. ventralis posterolateralis, který zpřesňuje exteroceptivní informace z plochy kůže v okolí kloubu, ve kterém daná část motorického kortexu právě vykonává pohyb.

# Somatosenzorická pozornost

- Somatosenzorický oddíl zadního parietálního kortexu ve spolupráci s motivačními centry v limbickém systému generuje takový vzorec chování, který směřuje pozornost organismu na somatosenzorický podnět působící na povrch těla. CNS „zaostří na podnět” (mechanismus laterální inhibice)

# Somatosenzorická pozornost

- Výsledný efekt mechanismů somatosenzorické pozornosti je ovlivněn i emočním postojem k příslušnému stimulu.
- Stimulus s negativním emočním podtextem působí naopak abverzi a „rozostření“ senzorické transmise z lokality stimulace

# Volní pozornost v somatosenzorickém systému

- Mechanismy pozornosti umožňují cílené zaměření se na relevantní stimul a jeho přesnější extrakci
- Jejím obsahem je zvýšený „gain“ relevantní aference a zároveň potlačení irelevantních podnětů
- „Cocktail party effect“
- Vzniká již v SI, ale větší efekty jsou v SII a asociačních oblastech, velmi malý efekt na úrovni thalamu

# „Inhibition of return“

- Při hledání relevantních informací (příslušného objektu/lokalizace) je důležité i potlačení pozornosti vůči irelevantním datům
- Je-li nalezen objekt, který je sledován nezajímavým, je na něj při dalším hledání nahlíženo jako na irrelevantní, pozornost je tímto směrem potlačena
- Toto orientované chování je ve zrakovém, sluchovém, ale i v somatosenzorickém systému a v systému percepce bolesti kontrolováno skrze colliculus superior

# Anticipace podnětu a pozornost

- Při anticipaci podnětu z určité lokality je potlačeno vnímání ostatních lokalit
- Např. při očekávaném stimulu na špičku prstu ještě před jeho aplikací dochází k poklesu perfuze (PET) v oblastech SI reprezentujících obličej.

# Ovlivnění vnímání doteku zrakovou informací

- Orientovaný pohled na určitou tělesnou lokalitu facilituje percepci doteku z této lokality
- Tato facilitace funguje i při nemožnosti získání zrakové informace (absolutní temnota) a není závislá na změně propriocepce, ke které dochází při změně polohy hlavy apod.

# Pozornost = synchronizace aktivity

- Zvýšení relevantního signálu + generalizovaná suprese aktivity, která tvoří pozadí = extrakce relevantních dat
- Např. neurony SII pro relevantní stimul synchronizují výboje, zatímco okolní SII neurony výboje desynchronizují
- Poruchy pozornosti jako ADHD sy.= poruchy synchronizace neuronální aktivity



# Synchronizace neuronální aktivity

- „Změny v synchronizaci, které mohou vést ke změnám v účinnosti synapsí, mohou být základem pozornostního výběru (attentional selection) v somatosenzorickém systému“ (Steinmetz et al.)

# K čemu je to dobré ve fyzioterapii?

- Odvedení pozornosti od bolestivého podnětu vč. jeho tlumení neurofyzilogickými mechanismy
- Selektivní somatosenzorická pozornost velmi silně ovlivňuje kortikální plasticitu
- Selektivní somatosenzorická pozornost vytváří dlouhotrvající změny v kortikální reprezentaci

# Neuroplastické změny v SS kortexu

- Opakovaný a selektivní senzorický input z určité tělesné oblasti modulovaný somatosenzorickou pozorností vede k dlouhodobým neuroplastickým změnám v SI a k reorganizaci senzorických kortikálních map
- Např. somatotopické mapy ruky u hudebníků nebo osob čtoucích Brailovo písmo se významně liší od normálu

# Neuroplastické změny v SS kortexu

- Tytéž mechanismy a faktory, které vedou k neuroplastickým změnám v somatosenzorické kůře v případě mechanoceptivních podnětů se uplatňují i v systému percepce bolesti a představují zásadní mechanismus při vzniku chronické bolesti

# Neuroplastické změny v SS kortexu

- U chronické bolesti již může chybět nociceptivní aference z periferie. Neuroplastické změny persistují.
- Cíleným ovlivňováním mechanosenzorických funkcí somatosenzorického kortexu lze tyto změněné kortikální mapy ovlivnit směrem k fyziologii

# Prostředky fyzioterapie

- Taktilní kontakt a pasivní pohyby (za přítomnosti vědomí)
- Aktivní pomalé a procítěné cvičení s maximální snahou o uvědomění
- Edukace pacienta o podstatě problému a jeho vtažení do aktivní spolupráce
- Omezení rozptýlení pozornosti mimo řešení zdravotního problému – lázně, lůžková RHB
- Jiné

# Závěry

- S výjimkou pacientů s centrální lézí, kde při porušení inhibičních mechanismů dochází k deliberaci kožně-motorických reflexů, nelze terapeuticky využívanou stimulaci kůže vnímat odděleně a považovat ji za jednoduchý exteroceptivní stimulus. Tam, kde je přítomna somatognostická funkce, ovlivňuje kožní stimulace skrze mechanismy somatosenzorické pozornosti vnímání tělesného schématu s určitou mírou akcentace na lokalitu, kam je terapie směřována.

# Závěry

- Fyzioterapie má celou řadu prostředků, jak měnit centrální reprezentaci somatické aference
- Tím může měnit kvalitu somatognozie → schopnost adekvátně regulovat motorickou aktivitu → lépe kompensovat periferní léze
- Fyzioterapie může ovlivnit i chronickou bolest





# Vývoj prostorové diskriminace

# Vývoj prostorové diskriminace

- Ve fyziologickém vývoji prostorové diskriminace lze vidět období, kdy jednotlivé subsystémy somatosenzorického systému v průběhu morfofunkčního zrání CNS začínají dozrávat nejprve relativně odděleně a později jsou postupně integrovány. Jejich integrací a následnou interpretací vzniká funkce prostorové diskriminace. Vnější obraz zrání těchto systémů a jejich funkcí se odráží v motorických projevech individua.

# Exterocepce v ontogenezi

- První motorické reakce na podráždění kůže jsou u lidského ebrya popsány již ve věku 7,5 týdne (Hooker et Humpfrey).
- „Caudally expanding total pattern reflexes”
- Celý vzor má nejprve abverzivní charakter, který se později mění na adverzivní.

# Exterocepce v ontogenezi

- Rozsah celkového reflexního vzoru se s vývojem šíří ve směru kraniokaudálním a proximodistálním.
- Izolované reflexní projevy orofaciální oblasti se objevují později v 9,5 týdne, izolované reflexní odpovědi na stimulaci dlaní a plant vidíme současně v 10,5 týdne. Ve stejném období reflexogenně dozrává i oblast anogenitální.

# Exterocepce v ontogenezi

- Zráním vyšších etází CNS jsou postupně inhibovány. Zejména je omezován rozsah total pattern, a tak déle přetrvávají reflexy více či méně lokalizované, takže perinatálně je vidíme již v podobě známých kožně motorických reflexů, které mají své projevy relativně izolované v závislosti na stimulované lokalitě.

# Exterocepce v ontogenezi

- Vyhasínání kožně motorických reflexů probíhá v prvním roce života, přičemž jednotlivé lokality vyhasínají v určité zákonité časové posloupnosti.
- Vyhasínání reflexu je vázáno na uzrávání stereognostické funkce v příslušné lokalitě.

# Propriocepce v ontogenezi

- Za počátky vývoje propriocepce můžeme považovat období objevení se svalového tonu a hlubokých šlachových reflexů.
- Studie u 42 předčasně narozených dětí , u kterých se později nevyvinula ICP.  
Sledován tonus, hluboké šlachové reflexy, primitivní reflexy a patologické reflexy.  
(Allen a Capute 1990)

# Propriocepce v ontogenezi

- Flexorový tonus dolních končetin je poprvé detekovatelný v 29 týdnech postmenstruačního věku při popliteálním úhlu a při „heel to ear” manévru.
- Maturace tonu, hlubokých šlachových reflexů, primitivních reflexů (, ale i patologických reflexů tam, kde se později vyvinula ICP) má stejné sekvenční pořadí s dobře definovaným vzorem kaudocephalickým (od dolních končetin k horním) a centripetálním (distoproximálním).



# Propriocepce v ontogenezi

- Trupový tonus se ve ventrálním závěsu objevil až těsně k období termínu (36-40 t.).
- Více než polovina dětí hodnocených v době termínu při trakční zkoušce neudržela hlavičku.

# Primitivní reflexy

(dle Vojtovy vývojové diagnostiky)

- Dvě skupiny reflexů:
  - 1) vzpěrná reakce HK i DK, chůzový automatismus, zkřížený extenční reflex, reflex suprapubický, reflex Babkinův a reflex patní
  - 2) reflex hledací, reflex sací, Galant, úchopový reflex ruky a nohy

# Vyhasínání primitivních reflexů

- První skupina reflexů vyhasíná shodně v období 4-6 týdnů.
- Mají extenční charakter odpovědi.
- 4 – 6 týden je obdobím nástupu dominance suprakmenové úrovně řízení, která je zodpovědná za interpretaci propriocepce.
- Nástup koaktivace. První trimenon je tak počátkem vývoje ereismatické motoriky v sagitálním směru.

# Vyhasínání kožních reflexů, nástup stereognozie a segmentálně izolovaných pohybů

- Provázanost jevů: zavzetí tělesné lokality do tělesného schématu spolu s nástupem stereognozie, mizení kožně-motorického reflexu, nástup segmentálně izolovaných pohybů.
- Jednotlivé lokality se do tělesného schématu dostávají postupně s jasně definovanou posloupností.

# Axiální a kořenová „vlna”

- Mizení šíjního reflexu s uzráním stereognozie v oblasti šíje a nástupem segmentálního pohybu hlavy (do 3. měsíce) → mizení Galantova reflexu s uzráním stereognozie v příslušné oblasti paravertebrálně (od ThI po LI) a nástupem rotačního pohybu páteře až po ThL přechod (4. – 5. měsíc) → mizení lumbálního reflexu s uzráním stereognozie v lumbální oblasti (paravertebrálně od LI po L5) stejně jako vymizení vzdálenější odezvy břišních reflexů (tj. lateroflexe se změnou polohy DK) a nástupem aktivních pohybů v lumbální oblasti spojených s počátky lokomoce (po 6. měsíci) → mizení úchopového reflexu nohy s uzráváním stereognozie na plantě a nástupem opěrné funkce a segmentálního pohybu nohy s počátky vertikalizace (9. - 10. měsíc).

# Akrální a orofaciální „vlna”

- Mizení hledacího a sacího reflexu s uzráváním stereognozie v oblasti úst a nástupem fázického sání, sociálního úsměvu a řetězení hlásek jakožto vývojového řečového projevu (3. měsíc) → mizení úchopového reflexu ruky s uzráváním stereognozie na dlani (3. – 5. měsíc) a nástupem aktivního úchopu nejprve v poloze na zádech (3,5 měsíce), poté i v poloze na bříšku (4,5 měsíce). Později pak dochází k uzrávání stereognozie na dorzu ruky (5. – 7. měsíc) se zkvalitňováním úchopu (pinzetový) (7,5 měsíce).

# Doporučená literatura

- Kandel, E.R., Schwartz, J.H.: Principles of neuroscience. Elsevier, Oxford, 1985.
- Fitzgerald, M.J.T, Folan-Curran, J.: Clinical neuroanatomy and related neuroscience. W.B. Saunders, Philadelphia, 2002.
- Králíček, P.: Úvod do speciální neurofyzologie. Karolinum, Praha, 1995.