



Zpracování nociceptivní aference

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

Mgr. Zdeněk Čech

Bolest

- Podle International Association for the Study of Pain je bolest definována jako nepříjemná senzorická a emocionální zkušenost spojená s aktuálním nebo potenciálním poškozením tkáně nebo popisovaná v termínech takového poškození

Bolest

- Bolest jako nemoc vs. bolest jako alarm
- Bolest jako varovný signál – chrání (resp. varuje) organismus před poškozením, nebo upozorňuje na poškození již vzniklé a vede k omezení jeho nárůstu.
- Výsledkem je komplex reakcí směřujících k odstranění nebo omezení iritace a vytvoření podmínek k autoreparaci vč. vlastního spuštění autoreparačních mechanismů

Nocicepce / bolest

- Bolestivý vjem může vznikat v CNS bez přítomnosti odpovídajícího periferního stimulu, ve většině případů se však jedná o výsledek dráždění periferních nocisenzorů
- Pokud nociceptivní stimul pronikne do vědomí – pocit diskomfortu až bolesti

Nocicepce

- Jako nociceptivní označujeme stimulus, který je spojen s poškozením nebo potenciálním poškozením tkáně
- Adekvátní podnět nociceptivního charakteru vede k aktivaci nocisenzorů a příslušných dostředivých vláken
- Zpracování na různých etážích CNS (mícha, kmen, subkortikální a kortikální centra)

Nocicepce

- Každá nociceptivní aference, která projde zadním míšním rohem, mění motorický výstup
- Průchod nociceptivního signálu aferentními systémy zásadní měrou ovlivňují kontrolní systémy senzitivních drah !!!
- Modulace nejen v zadním míšním rohu
- Neurohumorální tlumení nocicepce (endorfiny, enkefaliny, dynorfiny)

Nocicepce

- Celková odezva systému na nociceptivní iritaci do značné míry závisí na intenzitě, rozsahu a době trvání dráždění na jedné straně a centrální modulaci nociceptivního signálu na straně druhé
- Odlišný obraz odezvy při akutním a při chronickém dráždění
- Odlišnosti v případě, že stimulus proniká nebo neproniká do vědomí

Nocicepce

- Různá odezva systému podle etáže zpracování nociceptivního signálu
- V reakci na nocicepci lze vidět odezvu v systémech:
 - 1) somatomotorickém
 - 2) visceromotorickém (autonomním)
 - 3) humorálním a imunitním
 - 4) afektivně-motivačním
 - 5) kognitivně-evaluačním

Nocicepce

- Reflexy vznikající v přímé vazbě na podráždění nocisenzorů nazýváme:
 - 1) nocifenzivní
 - 2) nociautonomní

Lokalizace nocisenzorů

- Nocisenzory – neopouzdržené, rozvětvené terminály aferentních vláken typů III ($A\delta$) a IV (C).
- Tato volná nervová zakončení se nalézají ve všech pojivových tkáních s výjimkou stromatu mozku
- Lokalizace v kůži a podkoží, kloubních pouzdrech, ligamentech, šlachách, svalových fasciích, vazivovém stromatu svalu, periostu, zevních částech menisců a disců vč. intervertebrálních, stromatu všech cév s výjimkou kapilár, meningách a vazivových obalech periferních nervů, vazivových pouzdrech a stromatu vnitřních orgánů, vazivových výstelkách tělních dutin.

Lokalizace nociceptorů

- Existují variace v počtu volných nervových zakončení v různých orgánech a anatomicky definovaných tkáních
- Vysoká denzita je v kožní a podkožní tkáni, periostu, peritoneu a pojivové tkáni svalů.
- Nízká denzita ve stromatu gastrointestinálních orgánů

Charakter nociceptivních podnětů

- Poškození tkáně mechanické, termické a chemické, (event. radiační). Poškození určitým typem energie
- Při identifikaci ohrožení tkáně je dominujícím faktorem zejména exscesivní tahové napětí v příslušné tkáni

Povrchové vs. hluboké tkáně

- Při dráždění povrchových tkání mívá vyvolaný bolestivý vjem charakter ostrý, řezavý, píchavý a relativně dobře lokalizovaný.
- Při dráždění hlubokých tkání mívá vjem charakter tupé, pulzující a špatně lokalizované bolesti.
- Neliší se však ve schopnosti vyvolat patřičnou odezvu !!!!

Periferní regulace citlivosti nociceptoru

- Senzitivita nociceptorů je výrazně ovlivňována chemickým prostředím v okolí nociceptoru (bradykinin, prostaglandiny, histamin, H^+ , atd.) a neuromediátory, které jsou k nociceptoru dopravovány retrográdním axonálním prouděním v aferentním vlákně (substance P, CGRP, ...)

Axonové reflexy

- Periferní vlákna s nocisenzorovými terminály typicky tvoří mnoho periferních větví, které inervují sousedící oblasti.
- Avšak periferní větve některých $A\delta$ a C vláken s neurony ve spinálních gangliích v horní Th projikují své větve jak do brachálního plexu, tak do perikardu.
- Obdobnou viscero-somatickou inervaci lze předpokládat i v ostatních tělesných oblastech.

Vlastnosti zadního míšního rohu ve vztahu k nocicepci

- Periferní nervová vlákna vedoucí nociceptivní informaci končí na synapsích interneuronů zadních míšních rohů
- Tyto interneurony náleží k obvodu, který vyvolává únikové reflexy, nebo jsou součástí vzestupných drah, které vedou nociceptivní aferentní informaci k vyšším centřům

Vlastnosti zadního míšního rohu ve vztahu k nocicepci

- Projekční neurony zadních rohů míšních, jejichž axony formují anterolaterální systém drah, můžeme obecně rozdělit do dvou skupin:
 - 1) specifické nocicepční neurony
 - 2) konvergentní nocicepční neurony

Specifické nocicepční neurony zadního míšního rohu

- Neurony přijímající pouze nociceptivní signály. Nacházejí se převážně v povrchových vrstvách míchy (Rexedova vrstva I a II) a v jedné vrstvě v blízkosti středu (lamina VIII). Své axony projikují do spinothalamického a spinomezencephalického traktu

Konvergentní nocicepční neurony zadního míšního rohu

- Přijímají jak nocicepční, tak hmatové informace (vrstva V). Své axony projikují do spinoretikulárního traktu
- K interneuronům V vrstvy zadního míšního rohu konvergují kolaterály části myelinizovaných vláken, která vedou informace z dotykových receptorů. (Kolaterály vláken tvořících zadní provazce.)

Mechanismus hyperalgezie na podkladě senzitzace zadního míšního rohu

- Senzitivní aference přinášená vlákny o nejmenším průměru ($A\delta$ a C-vlákna) je převedena interneurony zadního míšního rohu zkříženým svazkem do ventrální části míchy na kontralaterální straně (anterolaterální systém).
- Tato dráha však díky kolaterálám vláken $A\alpha\beta\delta$ dorsálních provazců může být aktivována i informací z mechanoreceptorů.

Mechanismus hyperalgezie na podkladě senzitzace zadního míšního rohu

- Podle předpokladu Goldsheidera je tímto umožněno, že silné stimulace hmatových receptorů dovolují projít spinální synapsí, která ale nepředává informaci vyvolanou slabými podněty
- Tímto mechanismem se zřejmě dá vysvětlit vznik hyperalgezie, kdy senzitzace zadního míšního rohu změní prostupnost synapsí a způsobí, že taktilní podněty působí nociceptivně

Laterální dráha bolesti

(tr. Neospinothalamicus)

- Senzoricko – diskriminativní („kde a jak moc”). Somatotopické uspořádání, končí v SI a SII.
- V S I oblasti končí na nociceptivně-specifických neuronech, které odpovídající na intenzitu nociceptivní stimulace. Tyto neurony mají patřičně malá periferní receptivní pole – ideální pro kódování „kde a jak moc” aspektů bolesti.

Laterální dráha bolesti

(tr. Neospinothalamicus)

- Nociceptivní neurony v S II jsou méně početné a mnoho z nich dostává též vizuální inputy. Zdá se, že mohou být spojeny s vizuální pozorností na zdroj stimulu.
- tr. trigeminothalamicus - analogie spinothalamické dráhy z oblasti přední části hlavy

Laterální dráha bolesti

- Funkční účel:

1) rychle informovat mozek o ohrožujícím nebo poškozujícím podnětu

2) spustit mechanismy, které zaměří pozornost k podnětu a přednastaví senzorické filtry k přesnějšímu vyhodnocení VEŠKERÝCH !!! informací z afektované lokality

Mediální dráha bolesti

(tr. Paleospinothalamicus)

- Afektivně – motivační (emoční)
- Mediální dráha je polysynaptická. Jde cestou spinoretikulárního a trigeminoretikulárního traktu do nespecifického kontralaterálního thalamu (zejména intralaminárních jader) s další projekcí do předního cingulárního kortexu

Mediální dráha bolesti

(tr. Paleospinothalamicus)

- Anteriorní cingulum zodpovídá za afektivní komponentu bolestivého zážitku (jeho agresivní povahu). Nemá ale vliv na vnímání intenzity bolesti. Přesně stejný výsledek má injekce morfinu – anteriorní cingulum má nejvyšší počet opioidních receptorů z celé mozkové kůry.

Mediální dráha bolesti

(tr. spinomesencephalicus)

- Tr. spinomesencephalicus začíná v I. Rexedově zóně, probíhá v bočních provazcích míšních a končí v substantia grisea centralis mesencephala. Neurony této oblasti poté projikují své axony do fasciculus longitudinalis dorsalis Schützi. Jde o svazek vláken, který začíná v med. hypothalamu, prochází skrz PAG mesencephala do mozkového kmene. Některá jeho vlákna pokračují až do míchy k viscerálním motoneuronům v ncl. intermediolateralis.

Mediální dráha bolesti

(tr. spinomesencephalicus)

- Spinomesencephalický trakt vede výhradně algické signály (lamina I).
- Soudí se, že touto cestou jsou nociceptivní podněty přepojovány do autonomního systému centrálního nervstva a přes hypothalamus do emotivních a motivačních center limbického systému.

Mediální dráha bolesti

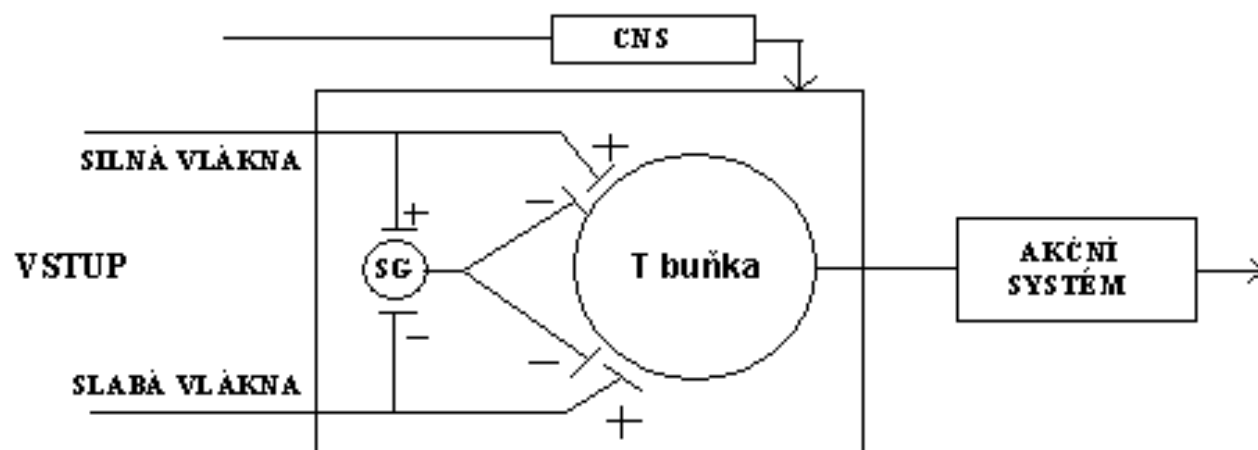
- Pomalejší vedení (polysynaptický přenos), difuznější projekce
- Funkční účel: I)
aktivace autonomních reakcí nutných k autoreparaci poškozené tkáně
2) změna chování na protektivní, podněcuje organismus k činnosti (motivace, emoce, ...)

Hlavní neuromodulační vlivy v transmisi nociceptivní informace

- 1) Segmentální inhibice neuronů zadních míšních rohů (Gate-Control Theory)
- 2) Descendentní antinociceptivní systém retikulární formace mozkového kmene
- 3) Descendentní (RF) facilitace nociceptiv-ních neuronů zadních míšních rohů
- 4) Korové dráhy s vlivem na míšní vstup

Míšní vrátkový mechanismus

(Melzack et Wall 1965)



Základní postuláty Gate control theory

(Melzack et Wall 1965)

- Přenos nervových vzruchů z aferentních vláken do míšních převodních buněk (T – transmissions cells v lamina V, tj. konvergentní nocicepční neurony) je modulován míšním vrátkovým systémem v zadních míšních rozích
- T – buňky z lamina V projikují své axony do spinoretikulárního traktu

Základní postuláty Gate control theory

(Melzack et Wall 1965)

- Míšní vrátkový systém (v substantia gelatinosa, lamina II a III) je ovlivněn poměrem aktivity ve vláknech s velkým a malým průměrem, přičemž aktivita v silných vláknech ($A\beta$) má tendenci tlumit přenos (zavírat vrátka), zatímco výsledkem aktivity slabých vláken ($A\delta$, C) je facilitace (otevírání vrátek)

Základní postuláty Gate control theory

(Melzack et Wall 1965)

- Míšní vrátkový systém je ovlivňován nervovými vzruchy přicházejícími z mozku
- Jestliže výstup z míšních převodních buněk (T) převýší kritickou hladinu, pak dojde k aktivaci „akčního systému“ – tj. těch nervových oblastí, které jsou podkladem pro složité, po sobě jdoucí charakteristické projevy a chování spojené s bolestí

Základní postuláty Gate control theory

(Melzack et Wall 1965)

- Specializovaný systém silných, rychle vedoucích vláken (centrální řídicí systém) aktivuje určité pochody ve vědomí, které pak ovlivňují pomocí descendentních vláken modulační vlastnosti míšního vrátkového mechanismu

Descendentní antinociceptivní systém retikulární formace mozkového kmene

- Axony specifických nocicepčních neuronů (lamina I a II) formující spinothalamický trakt ve svém průběhu vydávají kolaterály, které mají excitační synaptické kontakty s neurony rostrální meduly (zahrnující buňky v ncl. raphe magnus - NRM a periakveduktální šedi mezencefala - PAG).
(Z lamina I a II vychází také Tr. Spinomesencephalicus – končí v PAG)

Descendentní antinociceptivní systém retikulární formace mozkového kmene

- b)
 - Neurony NRM a PAG jsou tonicky aktivní a působí inhibici spinothalamických neuronů na míšní úrovni (zejména převodních T buněk v lamina V) prostřednictvím mnohočetných drah jdoucích descendentně v dorsolaterální míše.

Descendentní antinociceptivní systém retikulární formace mozkového kmene

- Tento Descendentní antinociceptivní systém však také zvyšuje poměr signál/šum v CNS tlumením slabě aktivních senzorických neuronů (laterální inhibice), čímž zvyšuje přesnost percepce periferního stimulu. Svůj vliv takto uplatňuje na míšní, kmenové, ale i thalamické a kortikální úrovně.

Descendentní (RF) facilitace nociceptivních neuronů zadních míšních rohů

- Zdrojem facilitačních drah jsou některá jádra v rostrální ventrální medule (ve stejné oblasti, kde jsou lokalizovány neurony antinociceptivního systému). Mohou působit inhibici (jako antinociceptivní systém) nebo facilitaci spinálních neuronů v závislosti na typech receptorových molekul přítomných na jejich membránách.

Korové dráhy s vlivem na míšní vstup

- Do retikulární formace se promítá i řada vláken z celé kůry, zejména pak z její frontální části. Proto mohou různé pochody ve vědomí (jako např. dřívější zkušenost a pozornost) ovlivnit míšní aktivitu prostřednictvím retikulospinálního projekčního systému.

Korové dráhy s vlivem na míšní vstup

- Pochody ve vědomí mohou také ovlivňovat míšní vrátkový mechanismus pomocí pyramidových (kortikospinálních) vláken, která mimo jiné končí i v zadních míšních rozích. Jsou to silná, rychle vedoucí vlákna, takže pochody ve vědomí mohou okamžitě a bezprostředně působit na přenos v zadních míšních rozích.

Korové dráhy s vlivem na míšní vstup

- Projekční vlákna předního parietálního kortexu jdou descendentně v rámci zadní části pyramidové dráhy a končí na interneuronech somatosenzorických jader, jmenovitě ncll. ventralis posterolateralis et posteromedialis thalamu téže strany, zadních provazcích míšních (ncll. gracilis et cuneatus) a šedi zadních míšních rohů strany kontralaterální.

Korové dráhy s vlivem na míšní vstup

- Senzorická transmise spinothalamickou drahou tak může být potlačena při rychlých volných pohybech jako např. běh.

(Jemnější modulace je na úrovni ncl. gracilis a ncl. cuneatus, kde vlákna pyramidové dráhy (po překřížení) jsou schopna zvýšit senzorickou transmissi při pomalých volných exploračních pohybech jako např. palpce strukturovaných povrchů, tak i redukovat přenos při rychlých volných pohybech.)

Komplexní zpracování nociceptivní aference

- Senzoricko-diskriminační složka - výběr a modulace senzorického vstupu
- Paramediální systém - účinná motivační síla, nepříjemný pocit, podnícení organismu k činnosti (aktivace retikulárních a limbických struktur)
- Diskriminační i motivační systémy jsou řízeny neokortikálními pochody nebo vyšší nervovou činností, např. zhodnocením vstupních signálů na základě předchozích zkušeností

Akční systém

- Je zodpovědný za pocit bolesti a odpověď na ni (zejména motorický výstup).
- Je uveden v činnost v okamžiku, kdy hladina integrovaných výbojů T buněk dosáhne nebo převýší určitou kritickou hladinu.
- Lokalizace: struktury v retikulární formaci a limbickém systému

Akční systém

- Tyto struktury ale nejsou aktivovány výhradně bolestivými podněty !!!
- K neuronům retikulární formace a limbického systému se dostávají také signály z kůže i z ostatních senzorických systémů
- Tyto oblasti jsou ve spojení jak s orientační, tak i s úhybovou reakcí a dráždění některých struktur může vyvolat oba druhy odpovědi

Akční systém

- Některé části RF plní funkci centrálního monitoru intenzity
- Dochází k sumaci signalizace z prostorově oddělených oblastí těla
- Nepřesáhne-li informace z těchto buněk kritickou hladinu, aktivují se ty oblasti mozku, v nichž se vybavují pozitivní pocity a orientační reakce. Jestliže ale signalizace tuto hladinu převýší, aktivují se ty oblasti, v nichž se vypracovávají negativní citové postoje a averzivní reakce

Mechanismus centrálního předpětí

- Určitá část RF působí jako mechanismus centrálního předpětí tak, že tonicky inhibuje (vkládá určité předpětí) na nejrůznější synaptické úrovně somatického projekčního systému, včetně míšního vrátkového mechanismu
- Modulace aktivity na míšní, kmenové, thalamické i kortikální úrovni

Mechanismus centrálního předpětí

- Nepřicházejí-li do systému žádné vstupní signály, inhibiční vliv klesá. Zvýšený senzorický vstup může naopak inhibici zvýšit
- Dráždění uvedených částí retikulární formace vyvolává v kůře silné vyplavování GABA, která je mediátorem vyplavovaným inhibičními neurony a podstatou mechanismu laterální inhibice

Závěry pro praxi

- Fyzioterapie má rozsáhlé možnosti ovlivnění bolesti i tam, kde nelze odstranit nebo snížit iritaci.
- Především různé formy zvýšení mechanocepce z periferie.
- Nociceptivní aference podstatným způsobem mění i transmisi signálu ostatních modalit.

Doporučená literatura

- Albe-Fessard, D.: Bolest –mechanismy a základy léčení. GradaPublishing, Praha, 1998.
- Rokyta, R., Kršiak, M., Kozák, J.: Bolest –Monografie algeziologie. Tigris, Praha, 2006.
- Wall, P.D., Melzack, R.: Textbook of pain. Churchill Livingstone, London, 1994.