Bolest

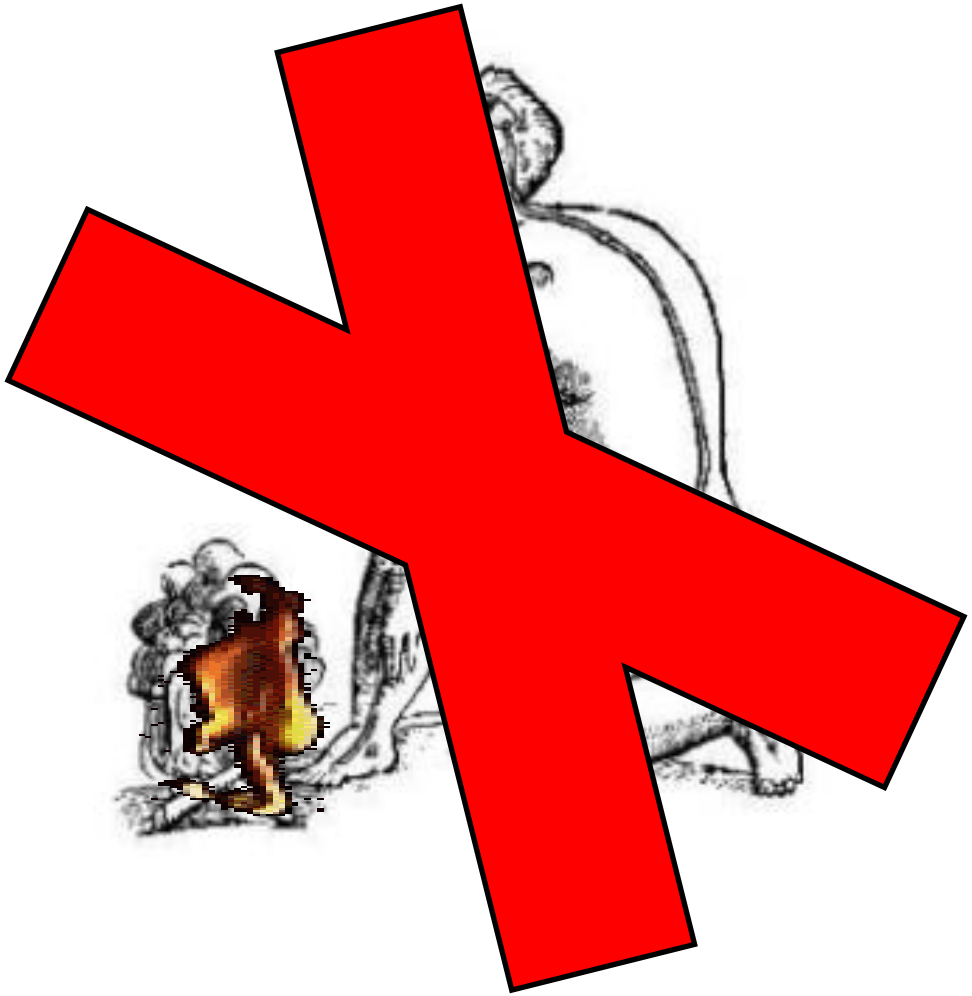
Martin Srp

Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd
Universita Karlova v Praze,
1. lékařská fakulta a Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

Bolest

Bolest je **komplexní senzorický a emoční zážitek**, který se může lišit mezi jednotlivci i v rámci jedné osoby v závislosti na **kontextu, významu bolesti a psychickém stavu**.

De Ridder, Dirk, Divya Adhia, and Sven Vanneste. "The anatomy of pain and suffering in the brain and its clinical implications." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 130 (2021): 125-146.



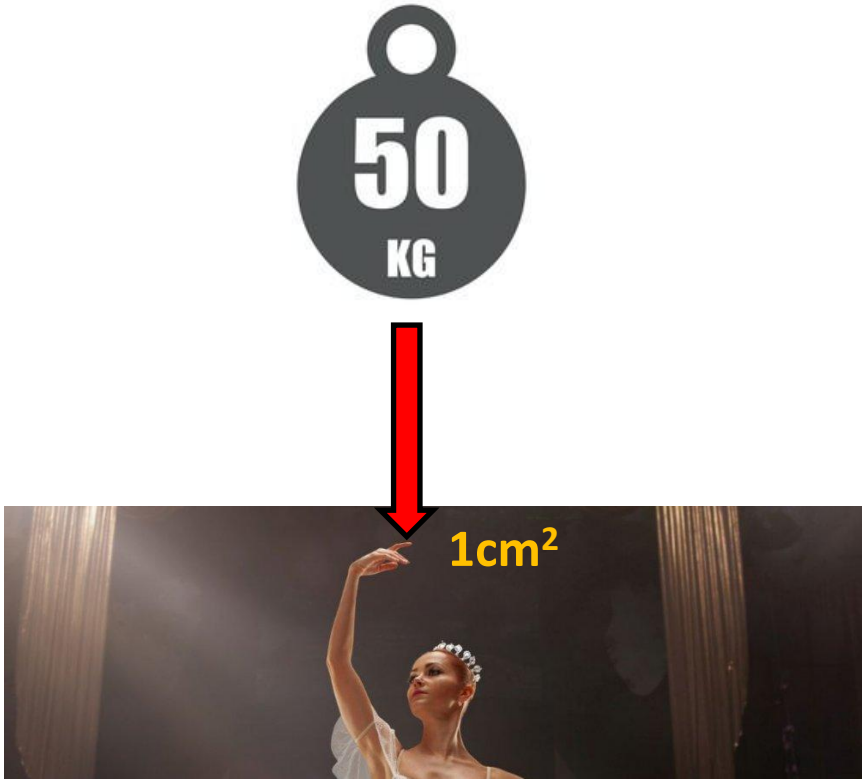
Descartes
16. století

Bolest

Míra bolesti vždy záleží, zda mozek považuje situaci za nebezpečnou

(Rozhoduje 100% případů)

Moseley, Lorimer, and David Butler. Explain Pain Supercharged, 2017.


50
KG
1cm²

50kg

Efekt kognitivních a emočních faktorů na vnímání bolesti

Bushnell, M. Catherine, Marta Čeko, and Lucie A. Low. "Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain." *Nature reviews neuroscience* 14.7 (2013): 502-511.

Bolest

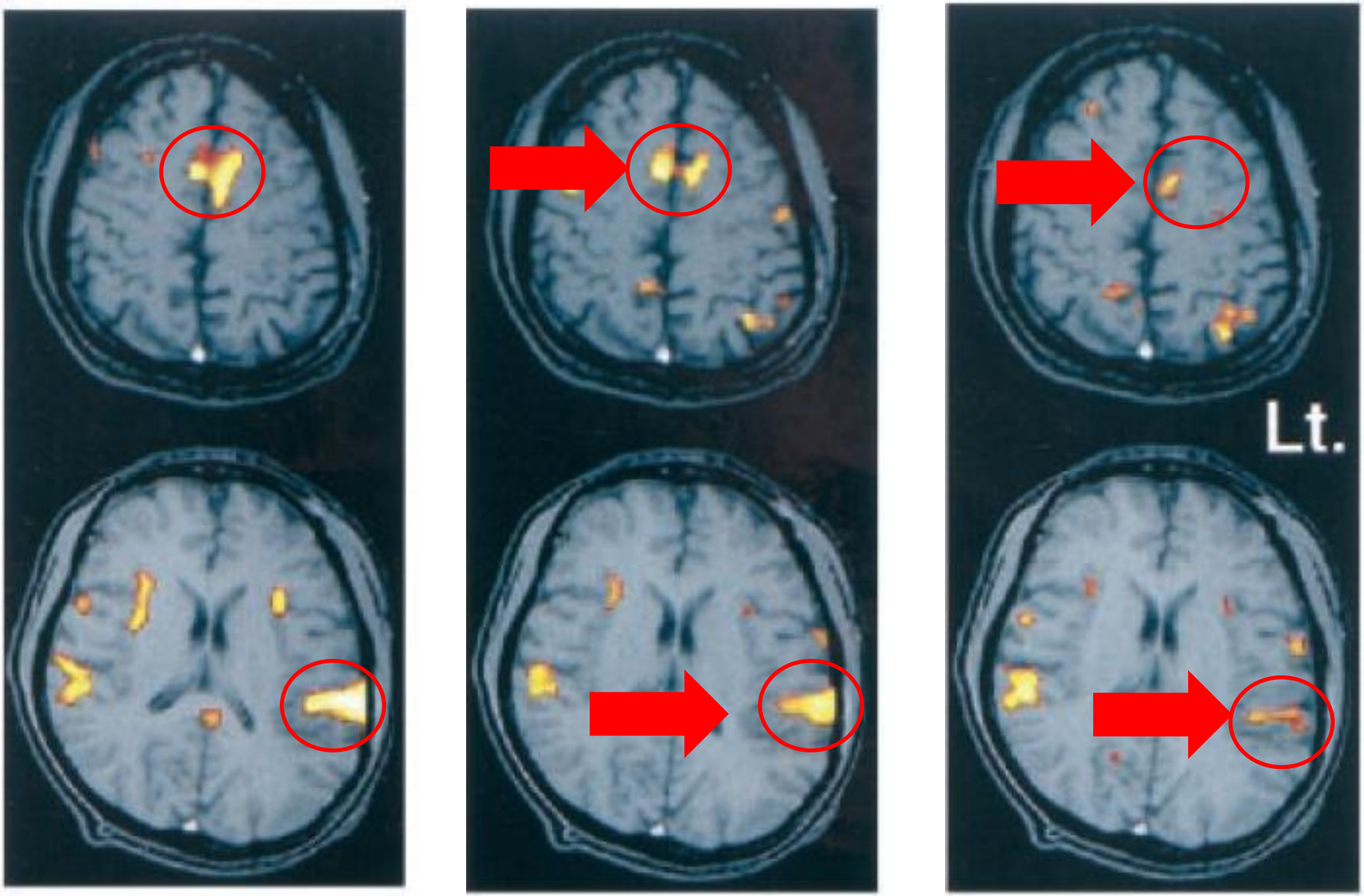
Očekávání

Dimsdale, Joel E., and Robert Dantzer. "A biological substrate for somatoform disorders: importance of pathophysiology." *Psychosomatic medicine* 69.9 (2007): 850-854.

Bolestivý
(očekává bolest)

Teplý
(očekává bolest)

Teplý
(očekává teplo)



Očekávání

Placebo

Henry Ward Beecher

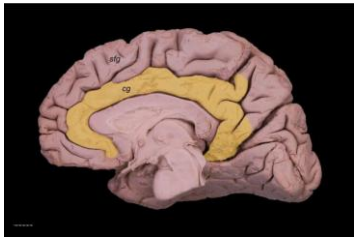
Chen, Chong, et al. "Neural circuit basis of placebo pain relief." *Nature* 632.8027 (2024): 1092-1100.

Očekávání = Placebo

- Mozek není jen pasivní přijímač bolesti – funguje jako výkonná biochemická laboratoř, která může sama produkovat opioidy, které tlumí bolest.

- Placebo efekt v bolesti je založen na očekávání úlevy od bolesti bez „skutečné“ léčby.

- Aktivace přední **cingulární kůry** a **pontinního jádra**, která spouští endogenní opioidy.



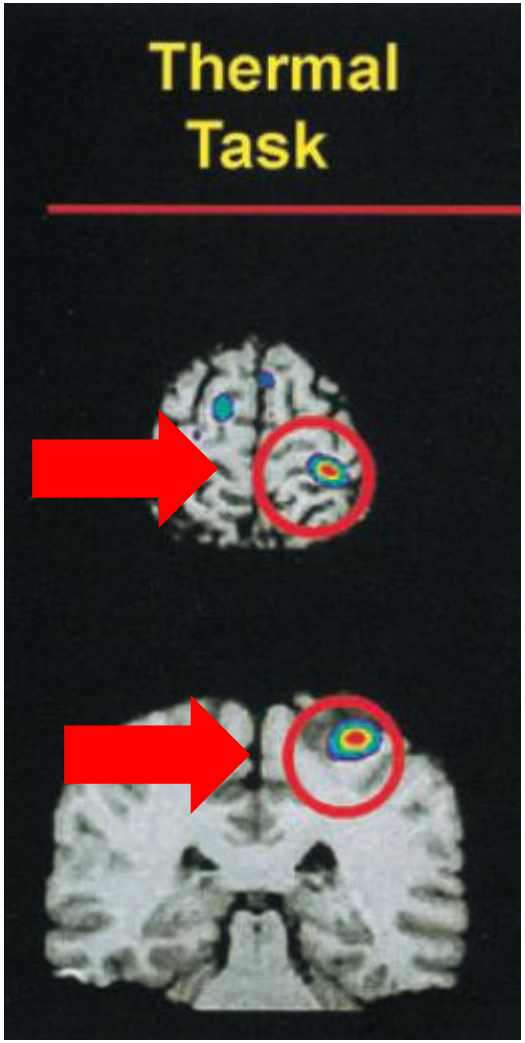
Chen, Chong, et al. "Neural circuit basis of placebo pain relief." *Nature* 632.8027 (2024): 1092-1100.

Bolest

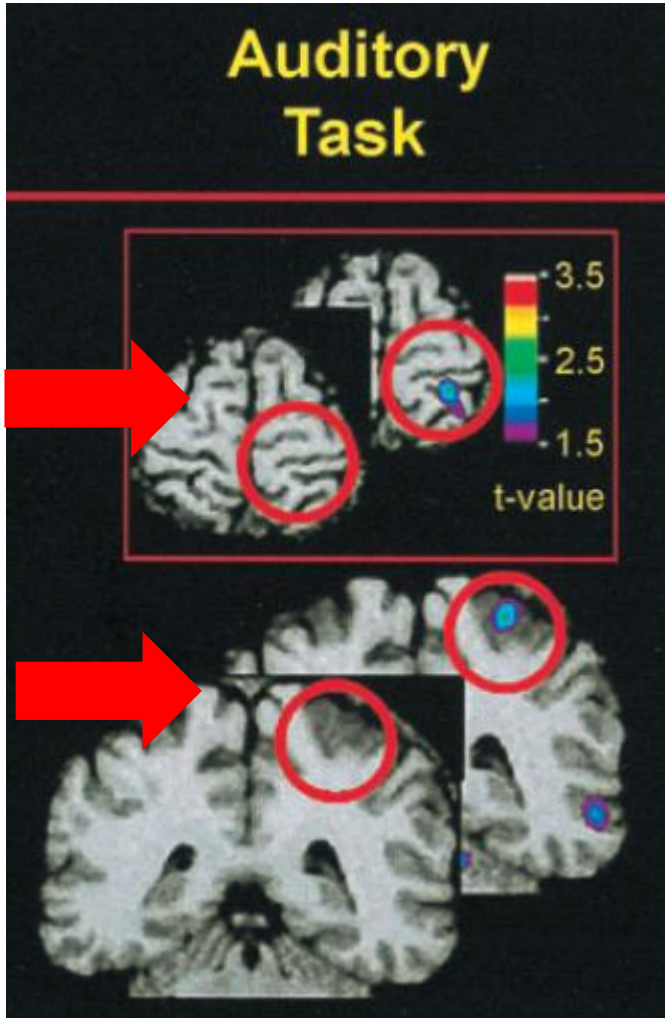
Očekávání → Pozornost

Dimsdale, Joel E., and Robert Dantzer. "A biological substrate for somatoform disorders: importance of pathophysiology." *Psychosomatic medicine* 69.9 (2007): 850-854.

Pozornost věnována stimulu



Pozornost věnována hudbě



Bushnell, M. C., et al. "Pain perception: is there a role for primary somatosensory cortex?." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96.14 (1999): 7705-7709.

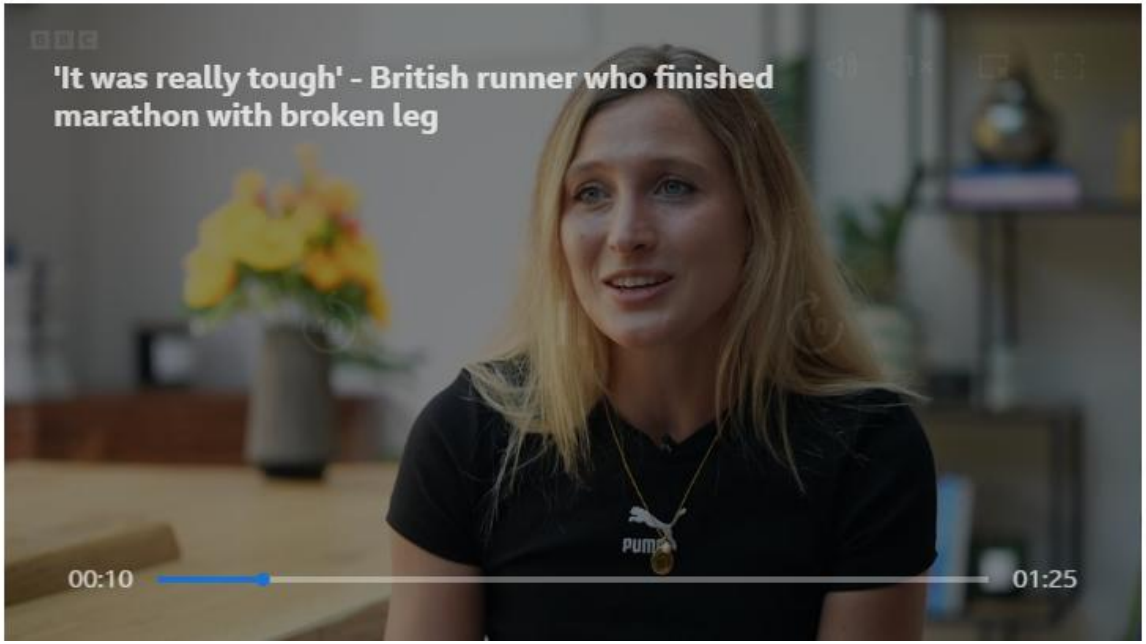
Sportovní zranění

Team GB runner finished marathon despite breaking leg

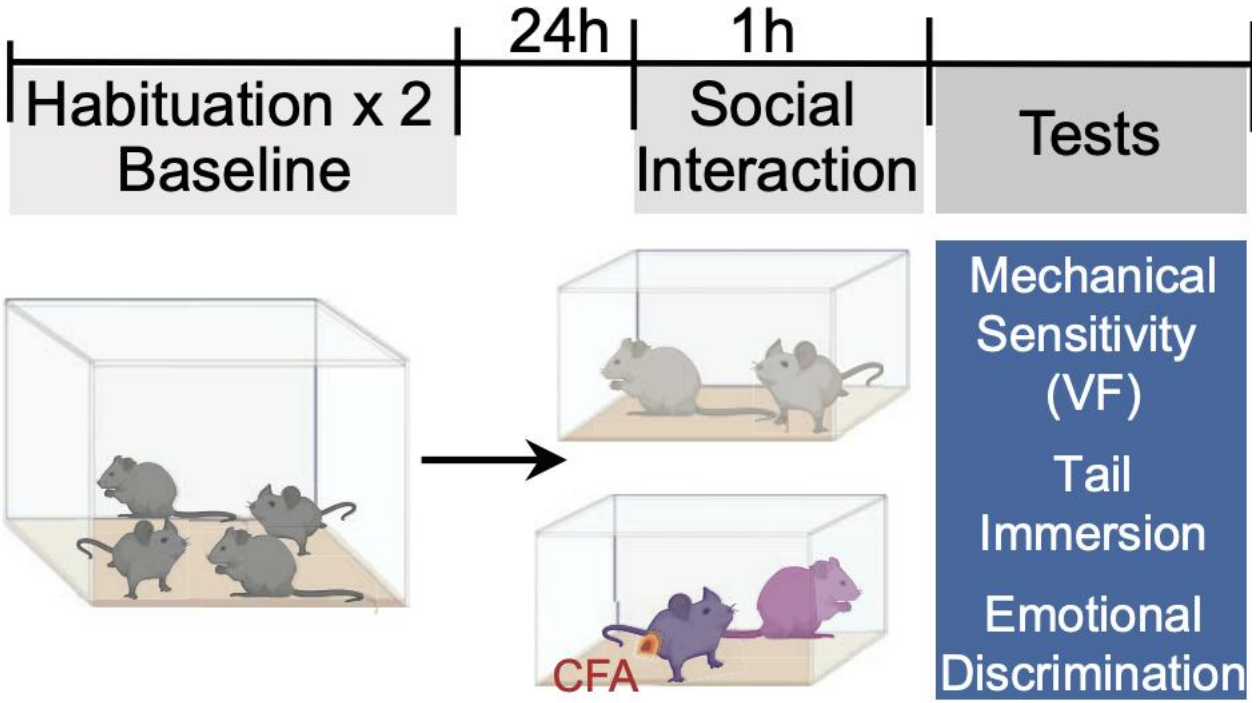
13 August 2024

Share Save

Sophie Raworth & Harrison Jones
BBC News



Sociální přenos bolesti a analgezie



Přenos bolesti a analgezie závisí na propojení mezi přední **cingulární kůrou a nucleus accumbens**.

Smith, Monique L., Naoyuki Asada, and Robert C. Malenka. "Anterior cingulate inputs to nucleus accumbens control the social transfer of pain and analgesia." *Science* 371.6525 (2021): 153-159.

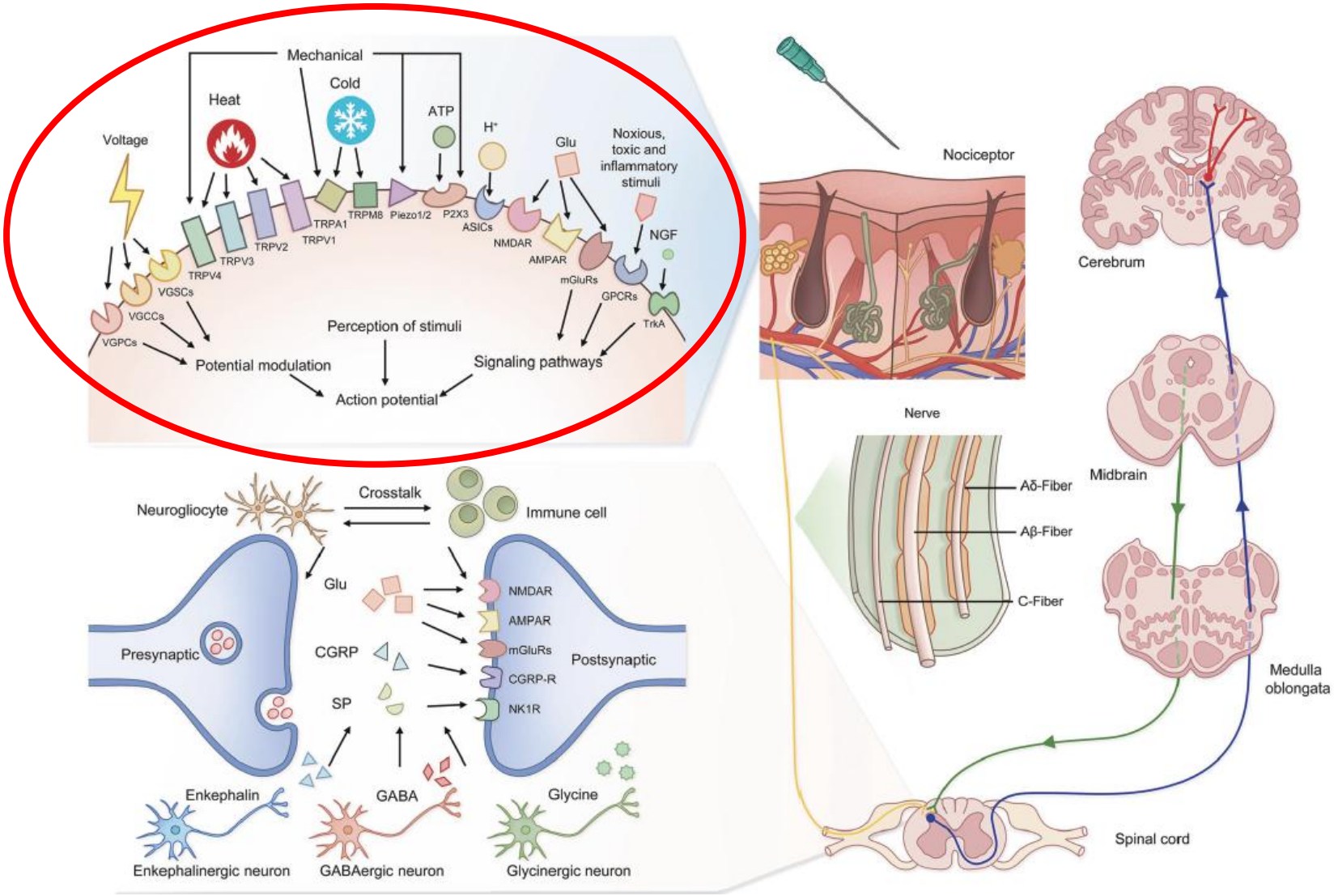
Explain pain „stories“

Typy bolestí

1. **Nociceptivní** - způsobené tkáňovým poškozením
2. **Nociplastická** – maladaptivní změny v centrálním nervovém systému
3. **Neuropatická** - způsobené poškozením nervového systému

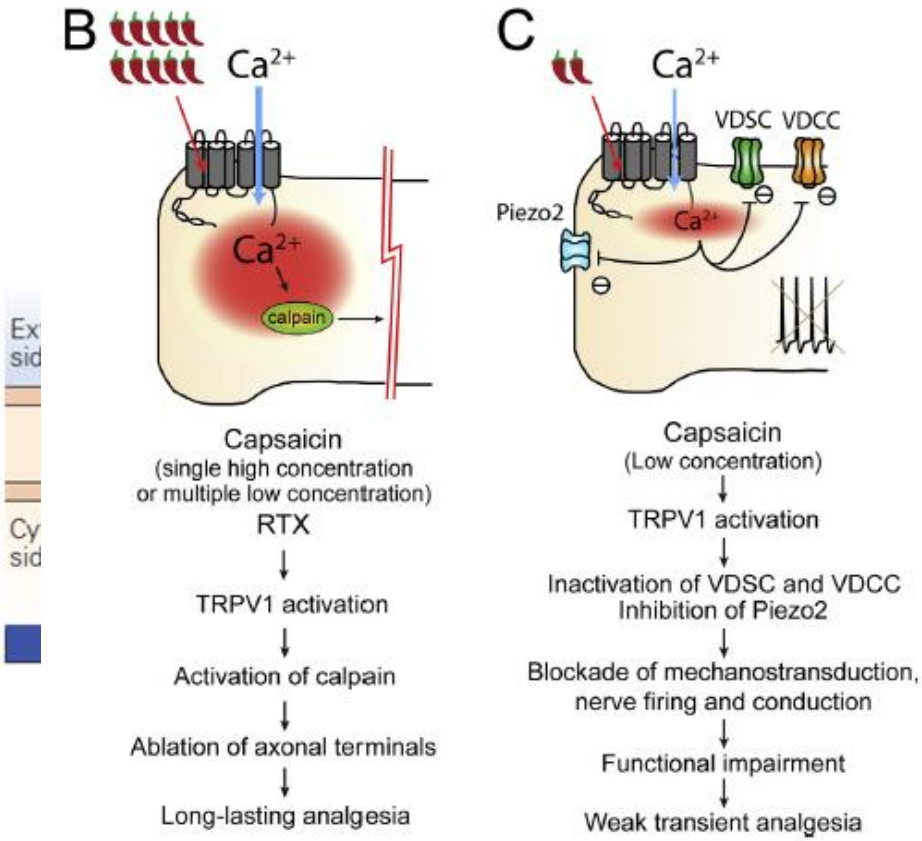
1. Aktivace nociceptorů

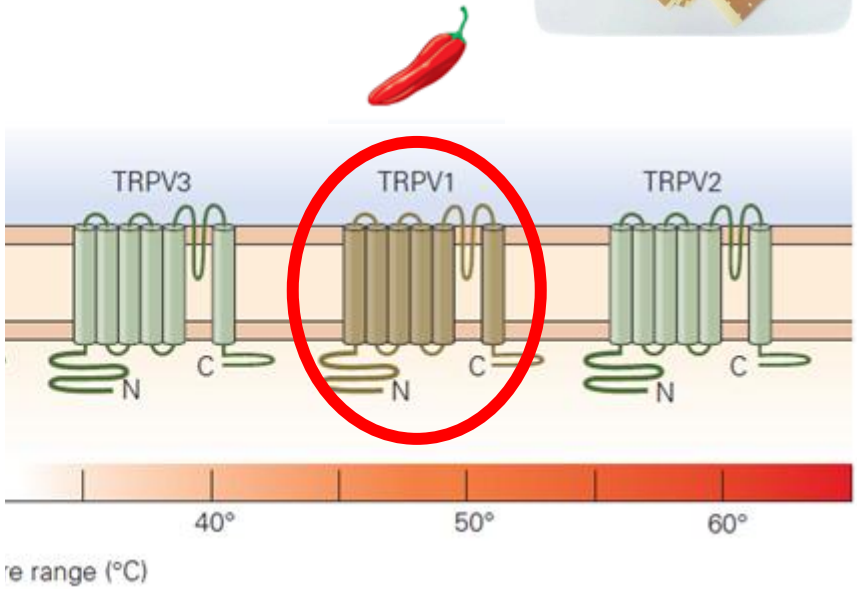
1. Aktivace nociceptorů



Cao, Bo, et al. "Pathology of pain and its implications for therapeutic interventions." *Signal Transduction and Targeted Therapy* 9.1 (2024): 155.

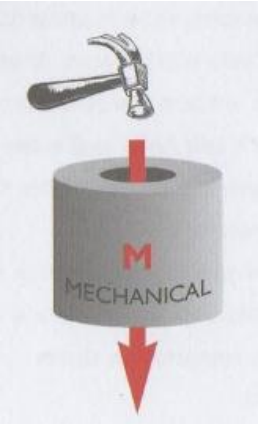
Termické nociceptory



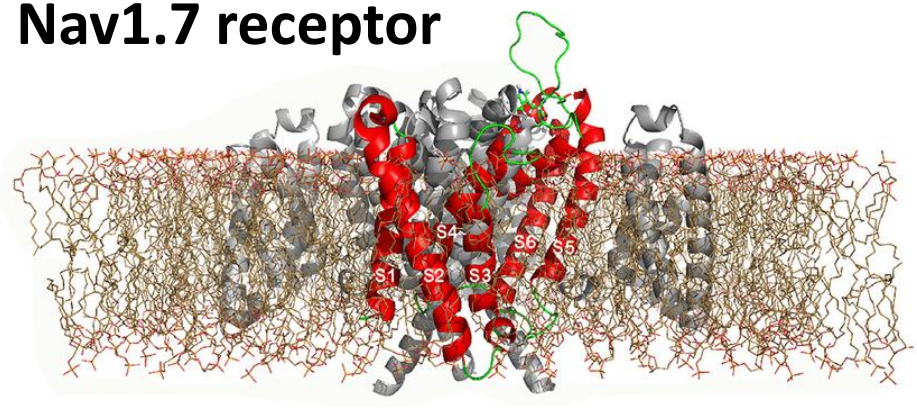


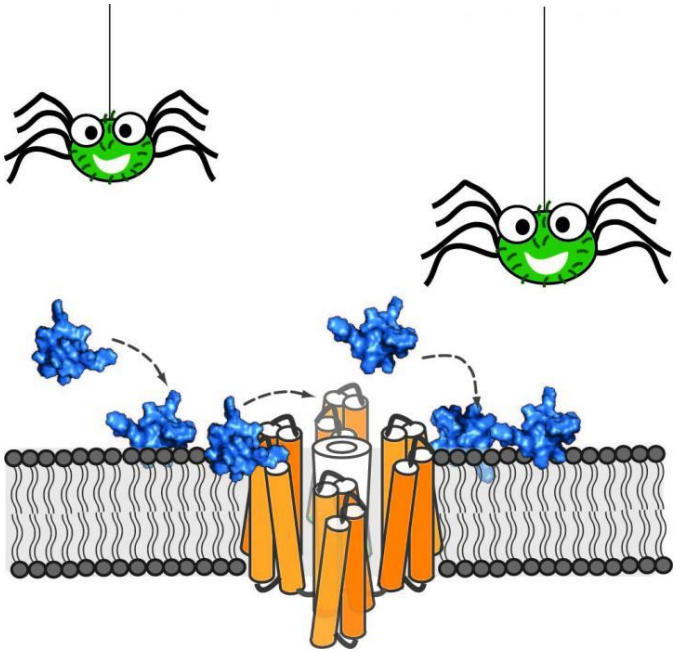
Arora, Vipin, James N. Campbell, and Man-Kyo Chung. "Fight fire with fire: Neurobiology of capsaicin-induced analgesia for chronic pain." *Pharmacology & therapeutics* 220 (2021): 107743.

Mechanické nociceptory



Nav1.7 receptor





Vrozené necitlivosti na bolest

- Mutace v genu **SCN9A →** kóduje sodíkový kanál **NaV1.7**
- Ostatní sodíkové kanály (NaV1.8, NaV1.9) stále fungují, takže nervy stále mohou přenášet signály.
- Přesto tito lidé necítí bolest vůbec (Inhibici přenosu bolesti, endogenními opioidy v zadním rohu míšním)

NaV1.7 klíčový pro zesílení signálu bolesti v periferním nervovém systému

Terapie kombinující inhibitory NaV1.7 s opioidní modulací by mohla přinést nový typ analgetik bez vedlejších účinků opioidů

MacDonald, Donald Iain, et al. "A central mechanism of analgesia in mice and humans lacking the sodium channel NaV1. 7." *Neuron* 109.9 (2021): 1497-1512.

Hustota nociceptorů

epineurium

Kloubní pouzdro

Dura mater

Kůže

vazivo !!

Zubní dřeň

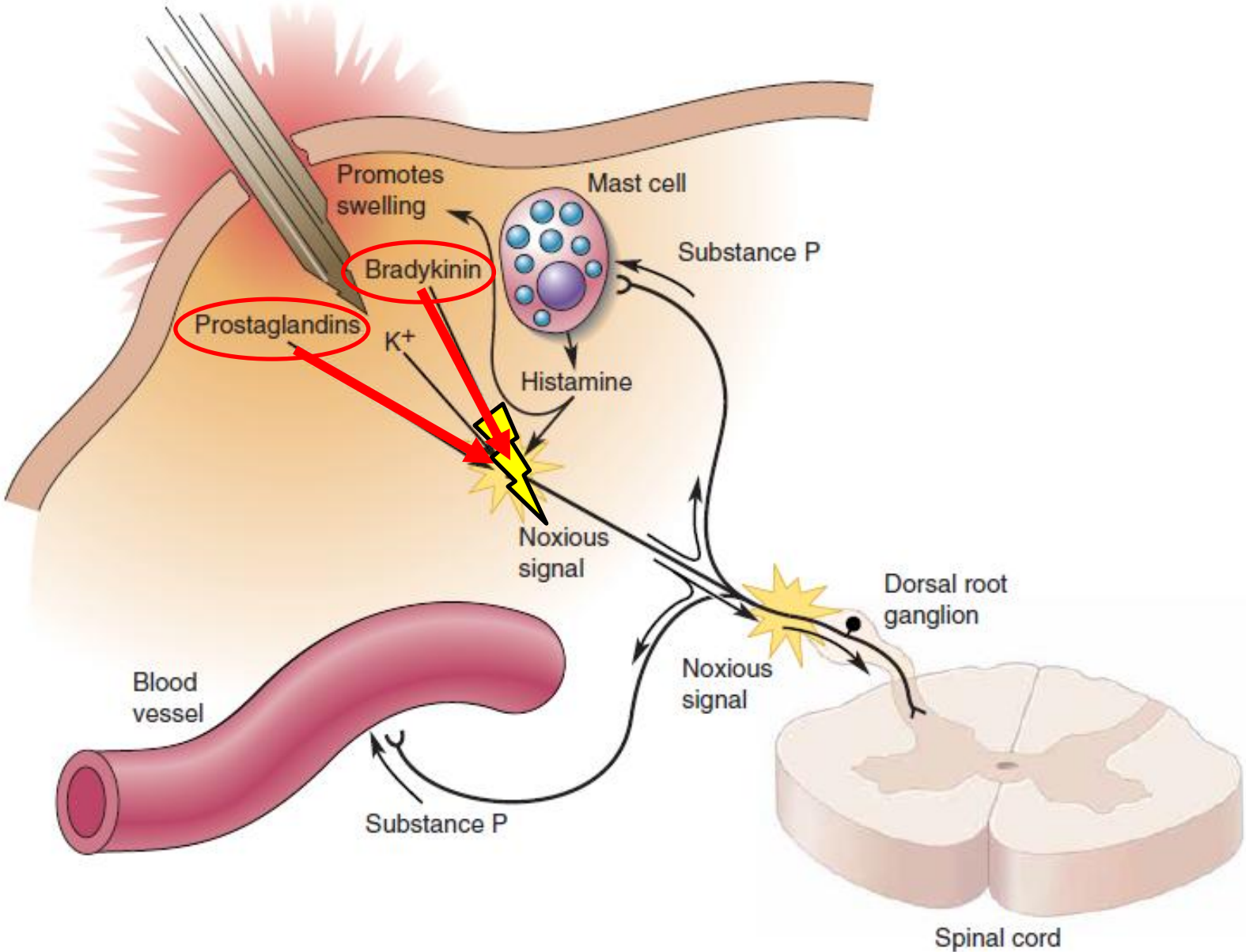
fascie

Periost

sval

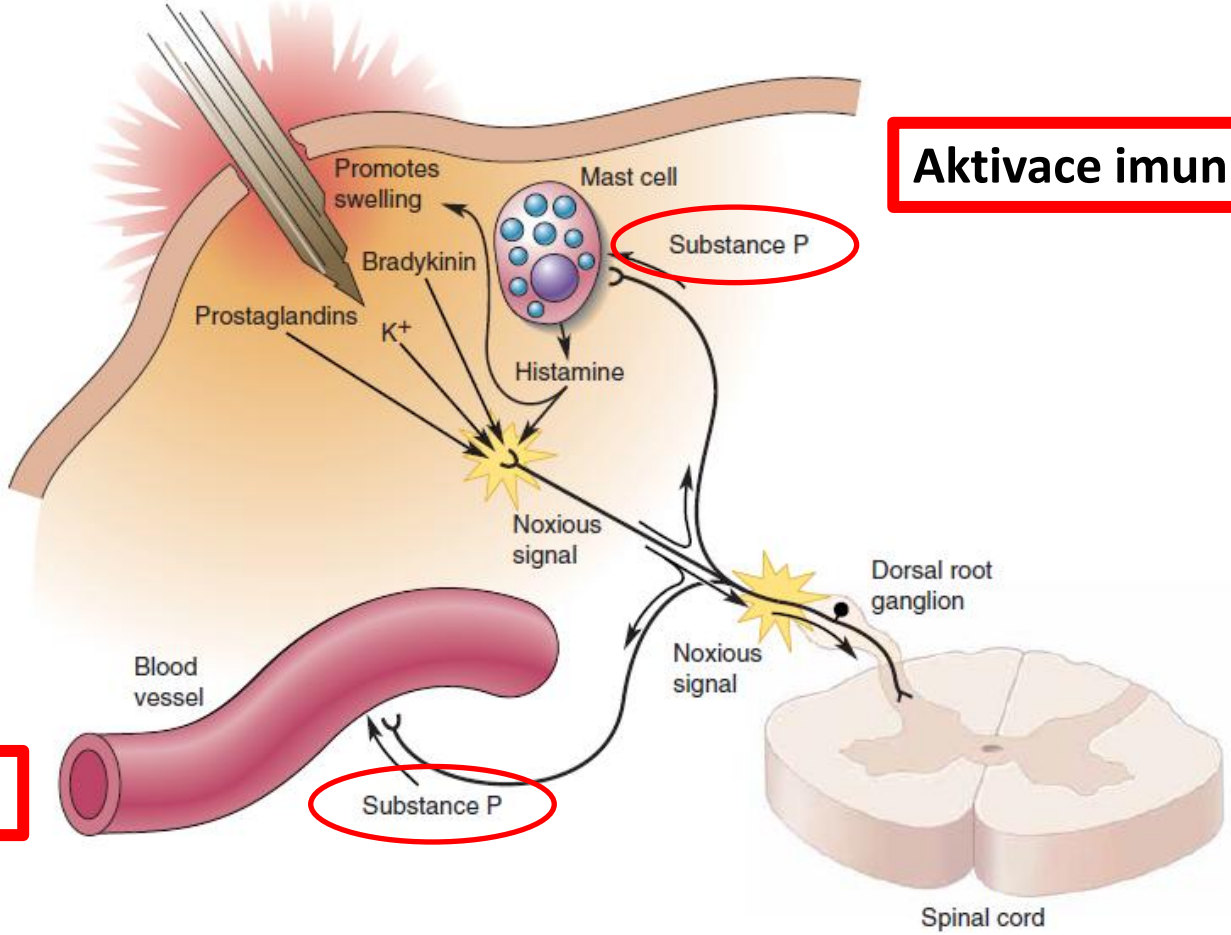
Ligamenta

Lokální zánětlivá odpověď



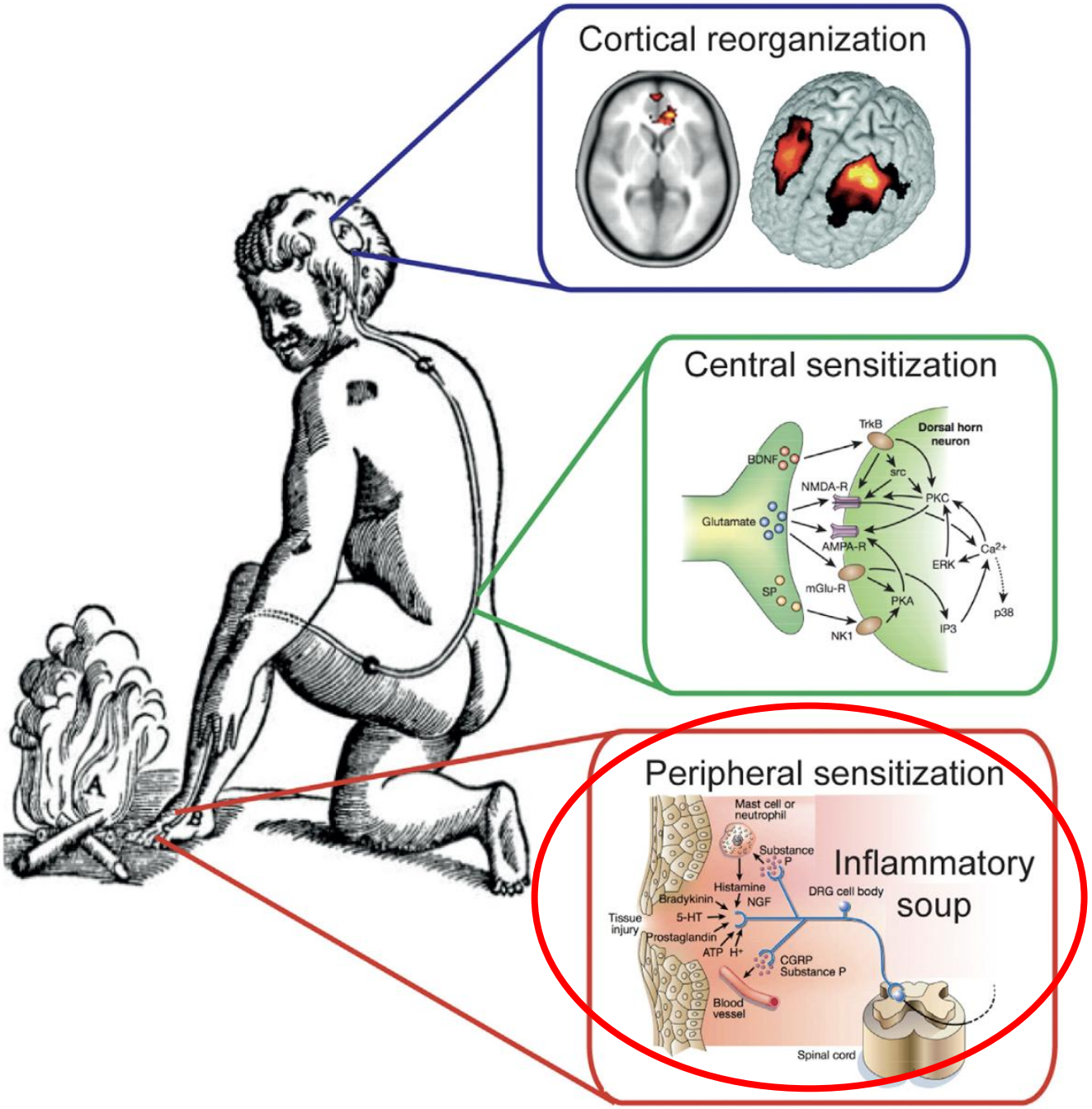
Léčebná funkce nociceptorů

- 3 druhy peptidů (substance P)



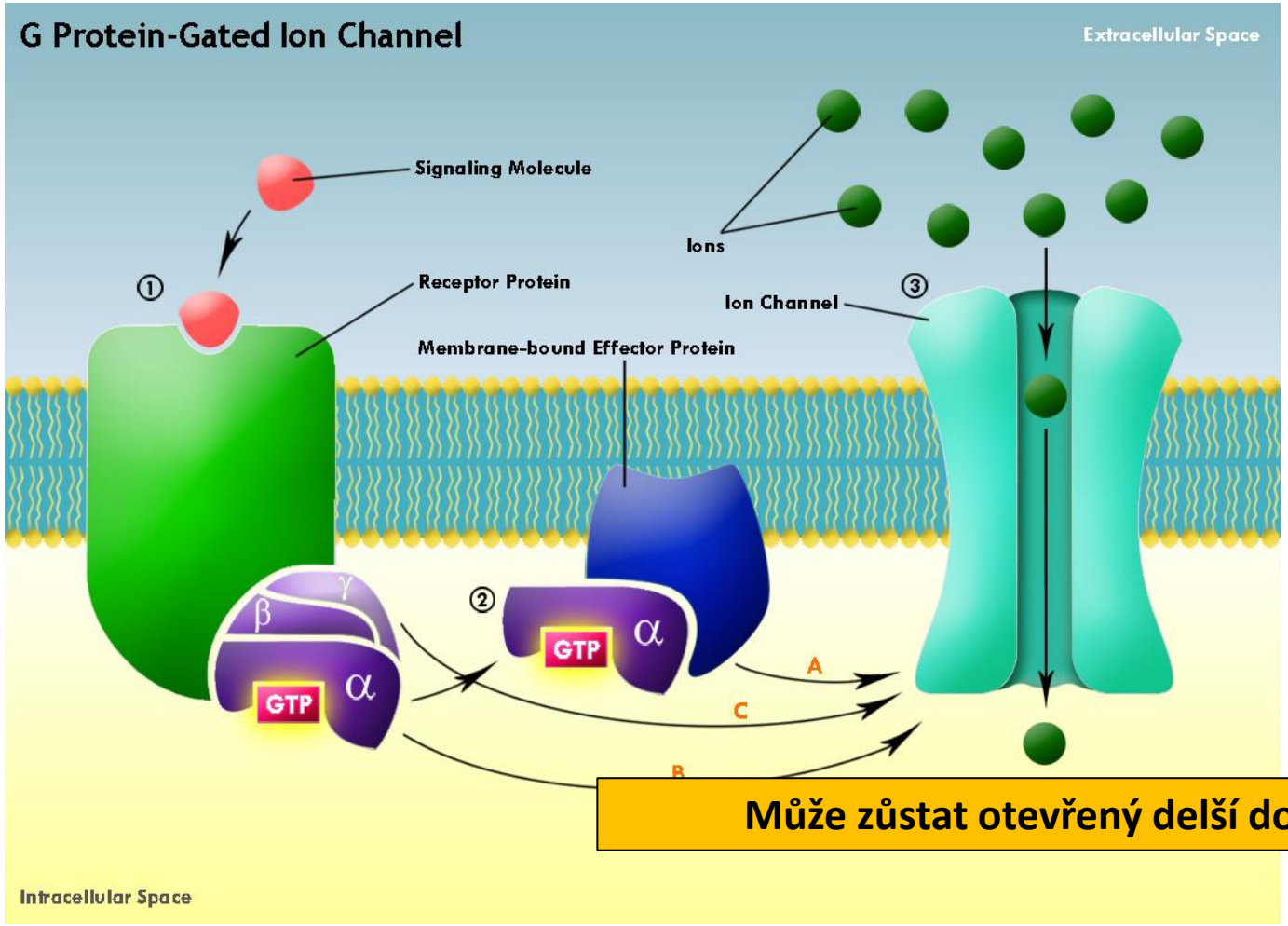
Aktivace imunitních buněk

vazodilatace


Cortical reorganization
Central sensitization
TrkB
Dorsal horn neuron
BDNF
src
NMDA-R
PKC
Glutamate
AMPA-R
Ca2+
ERK
SP
mGlu-R
PKA
p38
NK1
IP3
Peripheral sensitization
Mast cell or neutrophil
Substance P
Inflammatory soup
Histamine
NGF
DRG cell body
Bradykinin
5-HT
Tissue injury
Prostaglandin
ATP
H+
CGRP
Substance P
Blood vessel
Spinal cord

Periferní senzitizace

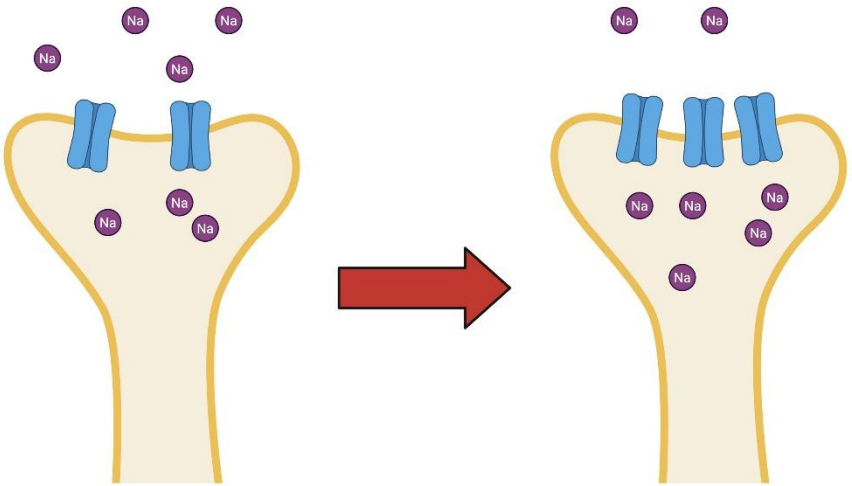
Iontové kanály řízené G proteinem



Může zůstat otevřený delší dobu

Periferní senzitizace

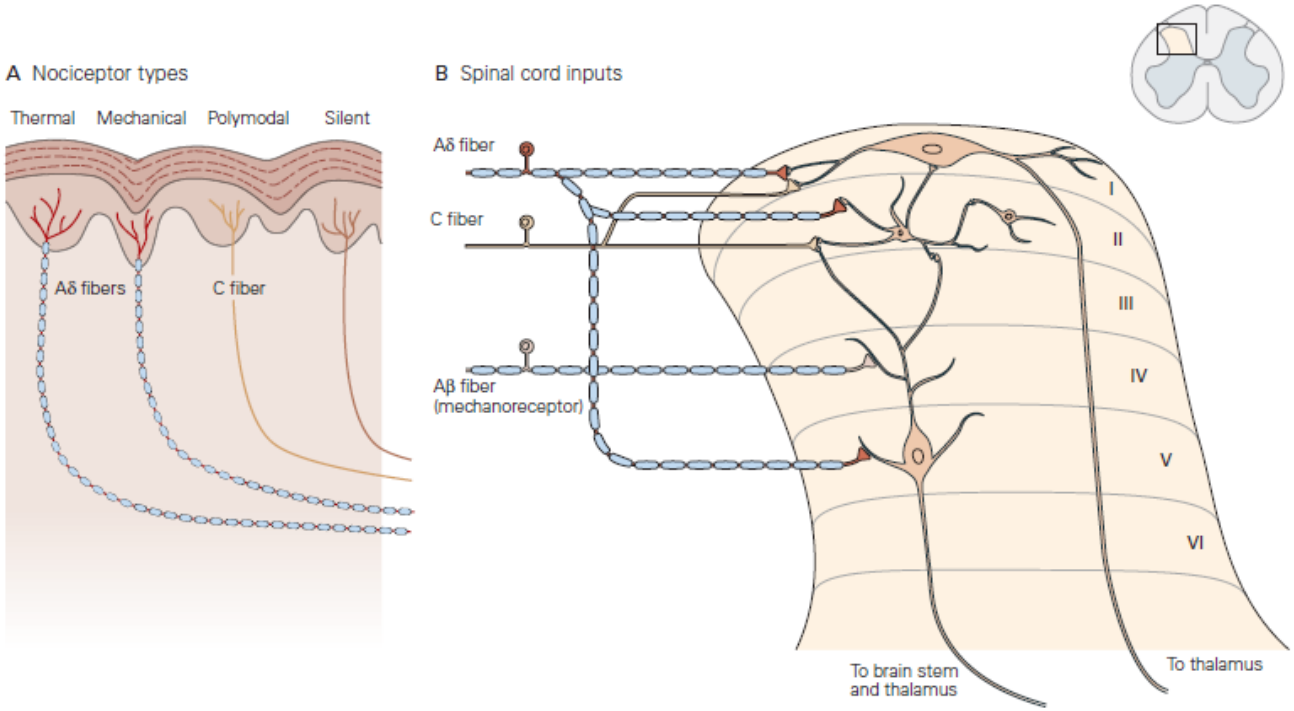
„Vmezeření“ nových iontových kanálů

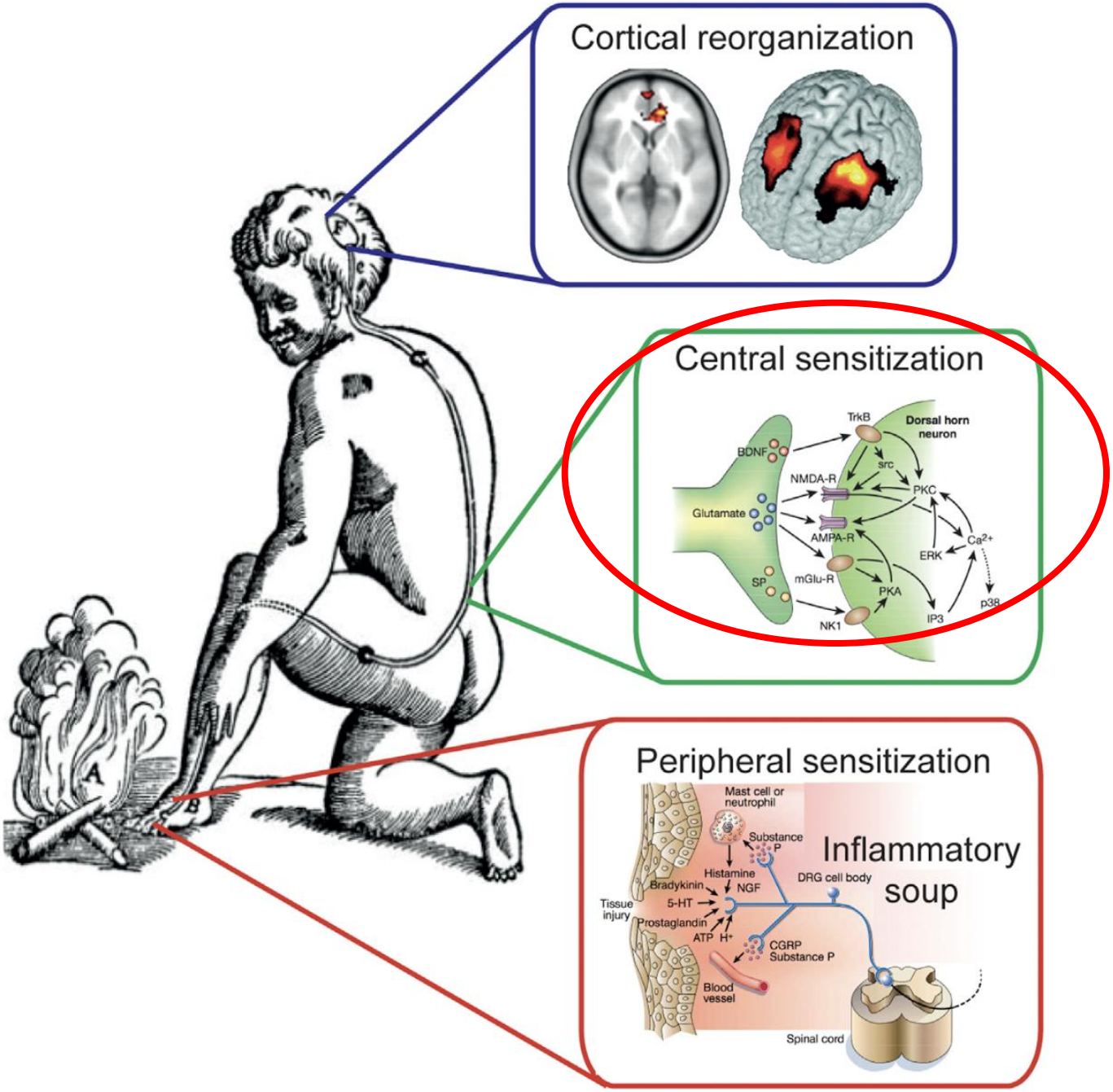


2. Přenos signálu do míchy

Nociceptory

Aδ, Aβ a C vlákna

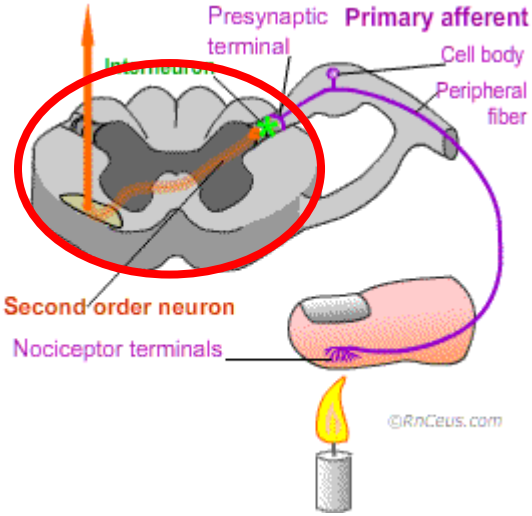



Cortical reorganization
Central sensitization
TrkB
Dorsal horn neuron
BDNF
src
NMDA-R
PKC
Glutamate
AMPA-R
Ca2+
ERK
mGlu-R
SP
PKA
p38
NK1
IP3
Peripheral sensitization
Mast cell or neutrophil
Substance P
Inflammatory soup
Histamine
NGF
DRG cell body
Bradykinin
5-HT
Tissue injury
Prostaglandin
ATP
H+
CGRP
Substance P
Blood vessel
Spinal cord

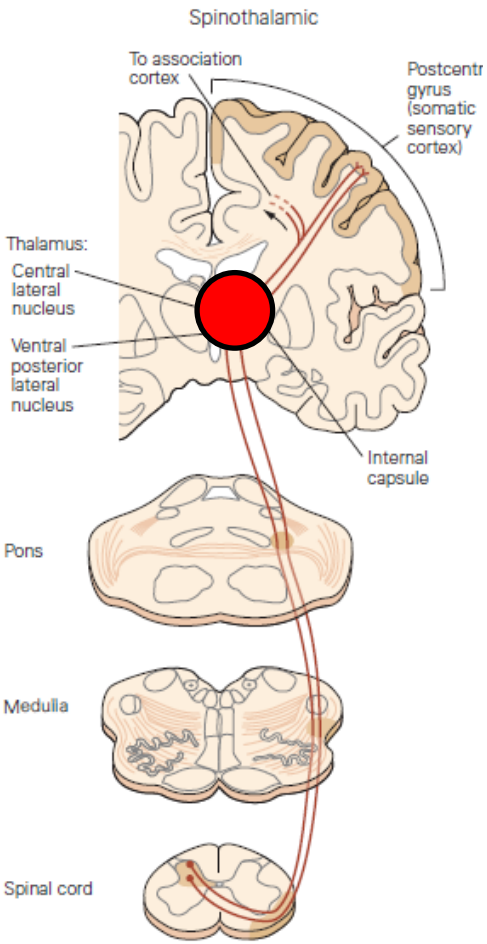
Centrální senzitizace

↓ membránový potenciál spinálních nociceptorů

↑ účinnost intových kanálů spinálních nociceptorů



Tr. spinothalamicus



3. Vstup do mozku

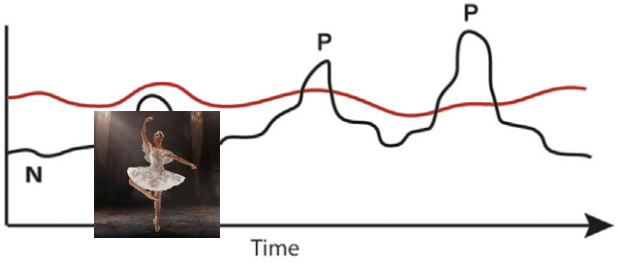
- Signál dorazí do **talamu.**
- Talamus přesměruje bolestivé signály do:
  - **Somatosenzorické kůry** (lokatita bolesti)
  - **Limbického systému** (cingulární kůra, insula, hippocampus a amygdala)
  - **Prefrontální kůra** (rozhodování, jak s bolestí naložit)

Baliki, Marwan N., and A. Vania Apkarian. "Nociception, pain, negative moods, and behavior selection." *Neuron* 87.3 (2015): 474-491.

Bolí nebo nebolí?

- **Bolest vzniká pouze tehdy, když nocicepční aktivita překročí určitý práh** (ovlivněn minulými zkušenostmi, emocemi a hodnotami).

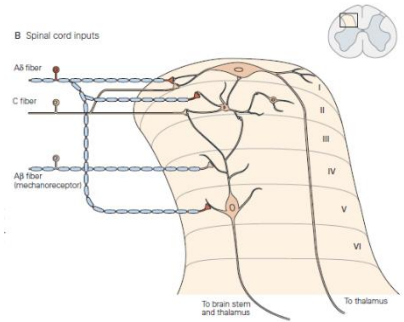
- Tento práh je řízen limbickým systémem a ventrálním striatem (amygdala, accumbens, hippocampus a prefrontální cortex).



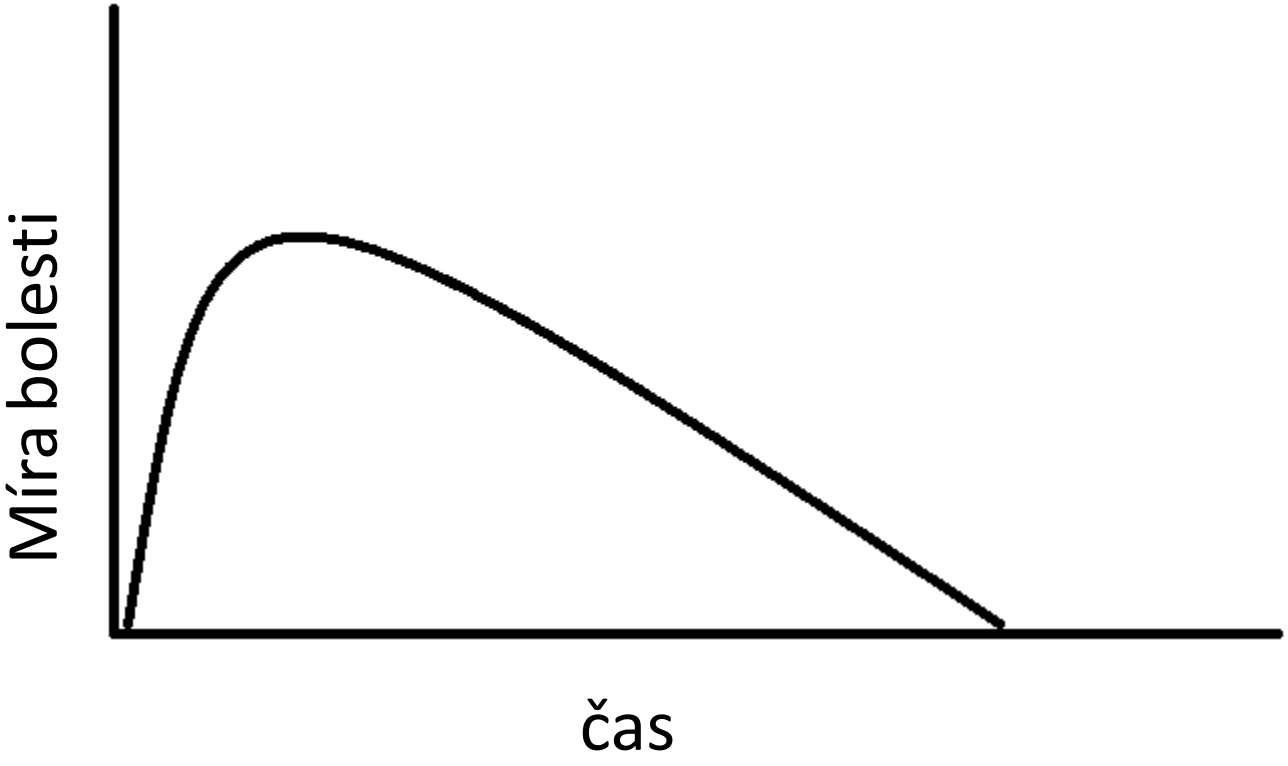
Baliki, Marwan N., and A. Vania Apkarian. "Nociception, pain, negative moods, and behavior selection." *Neuron* 87.3 (2015): 474-491.

Modulace bolesti – aktivace sestupných drah

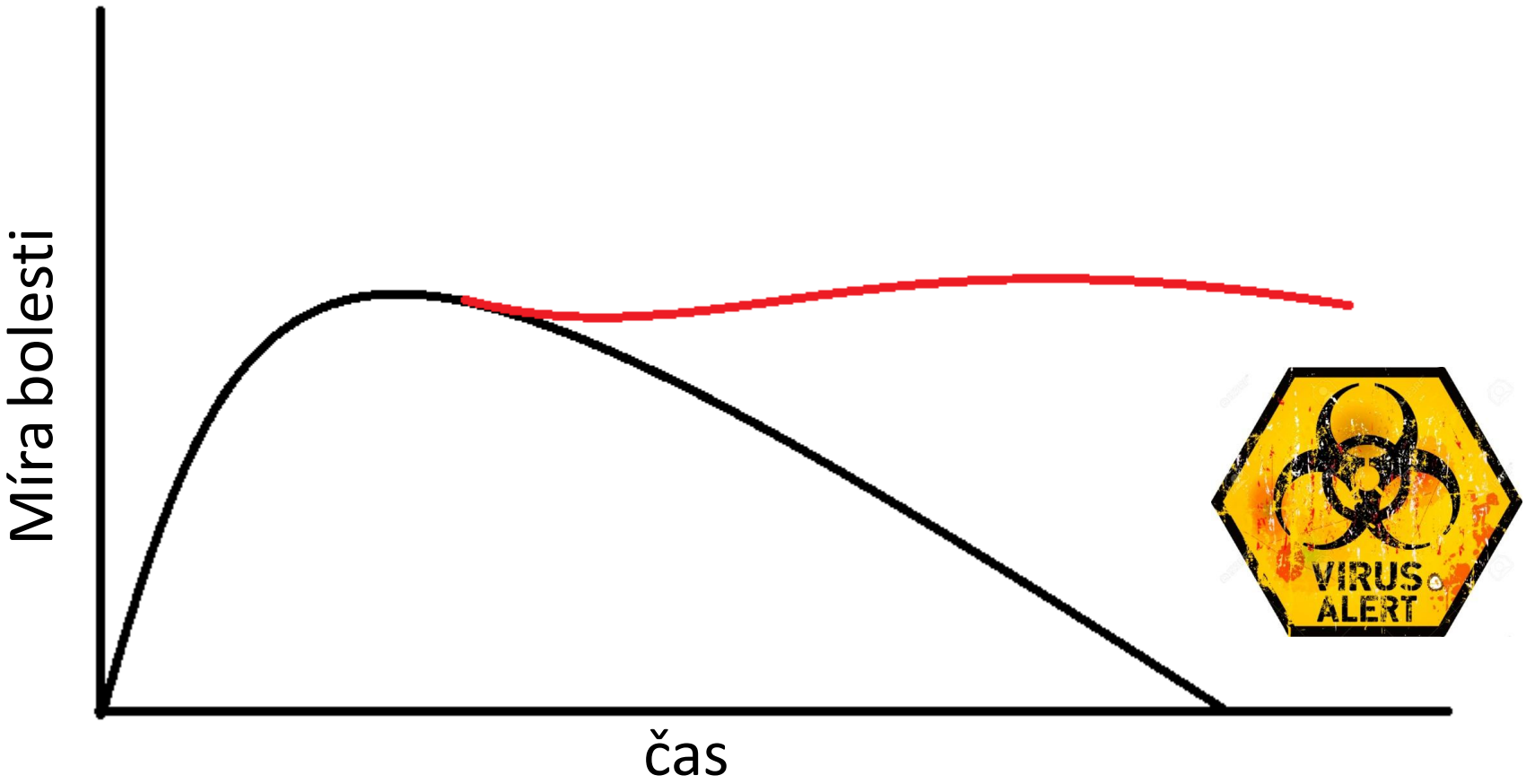
- **Periaqueduktální šedá hmota a mozkový kmen** mohou **tlumit bolest** aktivací sestupných inhibičních drah, které uvolňují endogenní **opioidy**.
- Tím se bolest subjektivně **zmírní** (např. sportovec často necítí bolest při výkonu).



Bolest



! Tohle je problém !



Video

https://www.youtube.com/watch?v=ruKVTOK8gTg

Nociplastická bolest

- **Chronická bolest** (trvající déle než 3 měsíce nebo bolest po zahojení tkáně) **není jen prodloužením akutní bolesti**, ale má odlišné mechanismy.

Akutní / **Chronická**

Nociplastická bolest

Klíčové charakteristiky:

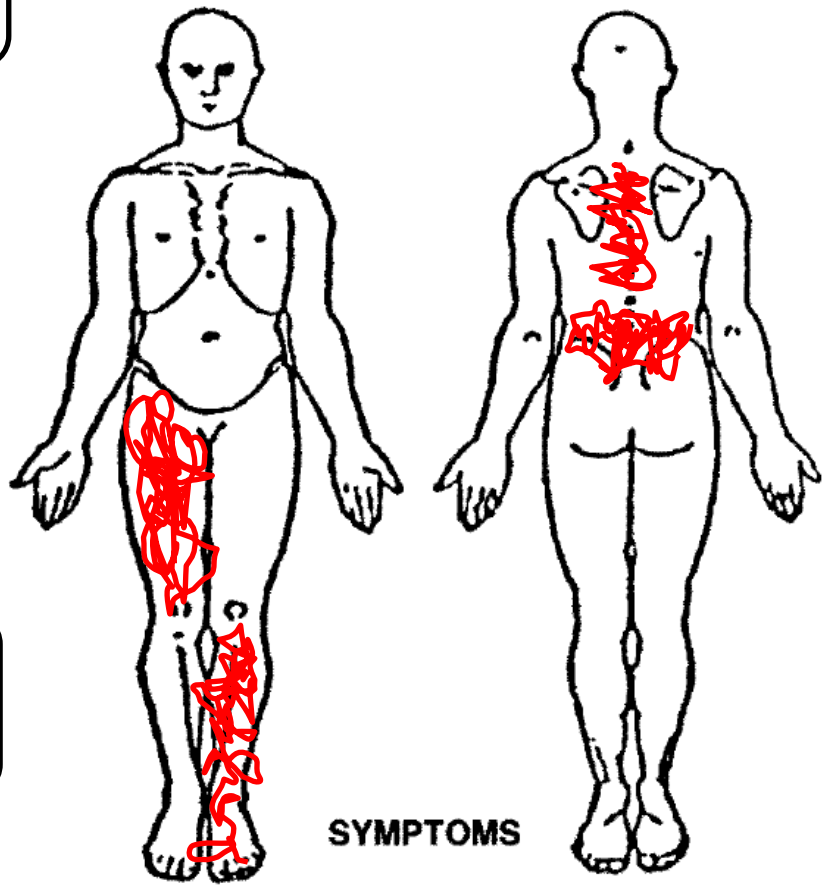
- Trvání > 3 měsíce
- Není přítomno zjevné periferní nebo centrální nervové poškození.
- Bolest je regionální, multifokální nebo rozšířená, nikoliv lokalizovaná.
- Přítomná je senzibilizace (hyperalgezie, allodynie), ale její příčina není jasná.
- Inkonzistence

Kosek, Eva. "The concept of nociplastic pain—where to from here?." *Pain* 165.11S (2024): S50-S57.

Anamnéza

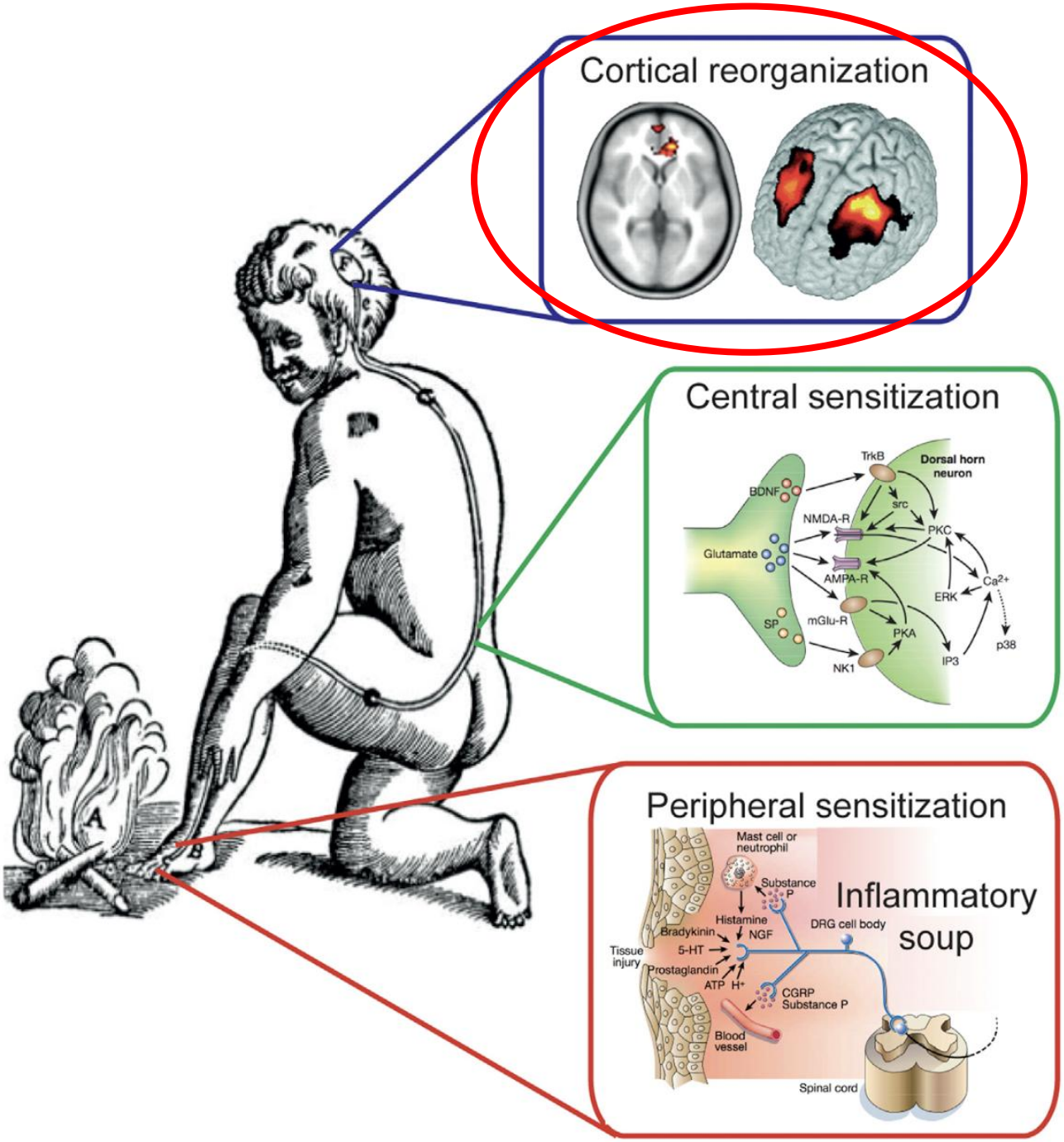
Bolest se stěhuje

Myšlenka pohybu vyvolá bolest



Bolest vzniká a mizí nezávisle na pohybu

Bojím se hýbat abych se nezranil


Cortical reorganization
Central sensitization
TrkB
Dorsal horn neuron
BDNF
src
NMDA-R
PKC
Glutamate
AMPA-R
Ca2+
ERK
mGlu-R
SP
PKA
p38
IP3
NK1
Peripheral sensitization
Mast cell or neutrophil
Substance P
Inflammatory soup
Histamine
NGF
DRG cell body
Bradykinin
5-HT
Tissue injury
Prostaglandin
ATP
H+
CGRP
Substance P
Blood vessel
Spinal cord

Změny v kortikálních a limbických oblastech mozku

- Zvýšená aktivita **cingulární kůry a insuly** → zesílené emoční zpracování bolesti.
- Snížená aktivita **prefrontální kůry** → horší kognitivní kontrola bolesti.
- Zvýšená aktivita **amygdaly** → zvýšená úzkost a stresová odpověď.
- Snížená funkce **nucleus accumbens** → nižší citlivost na přirozené odměny, což zhoršuje motivaci a kvalitu života.

Cao, Bo, et al. "Pathology of pain and its implications for therapeutic interventions." *Signal Transduction and Targeted Therapy* 9.1 (2024): 155.

Změny v kortikálních a limbických oblastech mozku

- Zvýšená aktivita **cingulární kůry a insuly** → zesílené emoční zpracování bolesti.
- Snížená aktivita **prefrontální kůry** → horší kognitivní kontrola bolesti.
- Zvýšená aktivita **amygdaly** → zvýšená úzkost a stresová odpověď.
- Snížená funkce **nucleus accumbens** → nižší citlivost na přirozené odměny, což zhoršuje motivaci a kvalitu života.

↑ Emocionální složky prožívání bolesti

Cao, Bo, et al. "Pathology of pain and its implications for therapeutic interventions." *Signal Transduction and Targeted Therapy* 9.1 (2024): 155.

Změny v kortikálních a limbických oblastech mozku

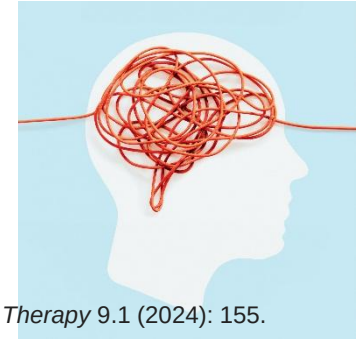
- Zvýšená aktivita **cingulární kůry a insuly** → zesílené emoční zpracování bolesti.
- Snížená aktivita **prefrontální kůry** → horší kognitivní kontrola bolesti.
- Zvýšená aktivita **amygdaly** → zvýšená úzkost a stresová odpověď.
- Snížená funkce **nucleus accumbens** → nižší citlivost na přirozené odměny, což zhoršuje motivaci a kvalitu života.

Andedonie

Cao, Bo, et al. "Pathology of pain and its implications for therapeutic interventions." *Signal Transduction and Targeted Therapy* 9.1 (2024): 155.

Změny v kortikálních a limbických oblastech mozku

- Zvýšená aktivita **cingulární kůry a insuly** → zesílené emoční zpracování bolesti.
- Snížená aktivita **prefrontální kůry** → horší kognitivní kontrola bolesti.
- Zvýšená aktivita **amygdaly** → zvýšená úzkost a stresová odpověď.
- Snížená funkce **nucleus accumbens** → nižší citlivost na přirozené odměny, což zhoršuje motivaci a kvalitu života.



↓ Zvládnutí bolesti

Cao, Bo, et al. "Pathology of pain and its implications for therapeutic interventions." *Signal Transduction and Targeted Therapy* 9.1 (2024): 155.

Katastrofizace bolesti

Negativní kognitivní a emoční reakce na bolest, která zahrnuje tři hlavní složky:

- Neustálé přemýšlení o bolesti (rumifikace).
- Přehnané vnímání závažnosti a důsledků bolesti (magnifikace).
- Pocit, že bolest nelze kontrolovat nebo zmírnit (bezmocnost).

Kinesiofobie je nadměrný, iracionální strach z pohybu kvůli obavě, že pohyb způsobí bolest nebo poškodí tělo.

Martinez-Calderon, Javier, et al. "Pain catastrophizing and function in individuals with chronic musculoskeletal pain: a systematic review and meta-analysis." *The Clinical journal of pain* 35.3 (2019): 279-293.

Pain Catastrophizing Scale

Magnifikace **

Bezmocnost *

Rumifikace

Tvrzení	Vůbec ne (0)	Trochu (1)	Středně (2)	Hodně (3)	Pořád (4)
Neustále se obávám, jestli bolest někdy skončí	0	1	2	3	4
Mám pocit, že už to nezvládnu	0	1	2	3	4
Je to hrozné a myslím si, že se to nikdy nezlepší	0	1	2	3	4
Je to strašné a mám pocit, že mě to zcela přemáhá	0	1	2	3	4
Mám pocit, že už to nevydržím	0	1	2	3	4
Začínám se bát, že bolest se zhorší	0	1	2	3	4
Neustále myslím na jiné bolestivé zážitky	0	1	2	3	4
Úzkostně si přeji, aby bolest zmizela	0	1	2	3	4
Nedokážu ji dostat z hlavy	0	1	2	3	4
Neustále myslím na to, jak moc to bolí	0	1	2	3	4
Neustále přemýšlím o tom, jak moc chci, aby bolest přestala	0	1	2	3	4
Mám pocit, že nemohu nijak snížit * intenzitu bolesti	0	1	2	3	4
Přemýšlím, zda se mi nemůže stát něco vážného * *	0	1	2	3	4

Sullivan, Michael JL, Scott R. Bishop, and Jayne Pivik. "The pain catastrophizing scale: development and validation." *Psychological assessment* 7.4 (1995): 524.

Tampa Scale of Kinesiophobia

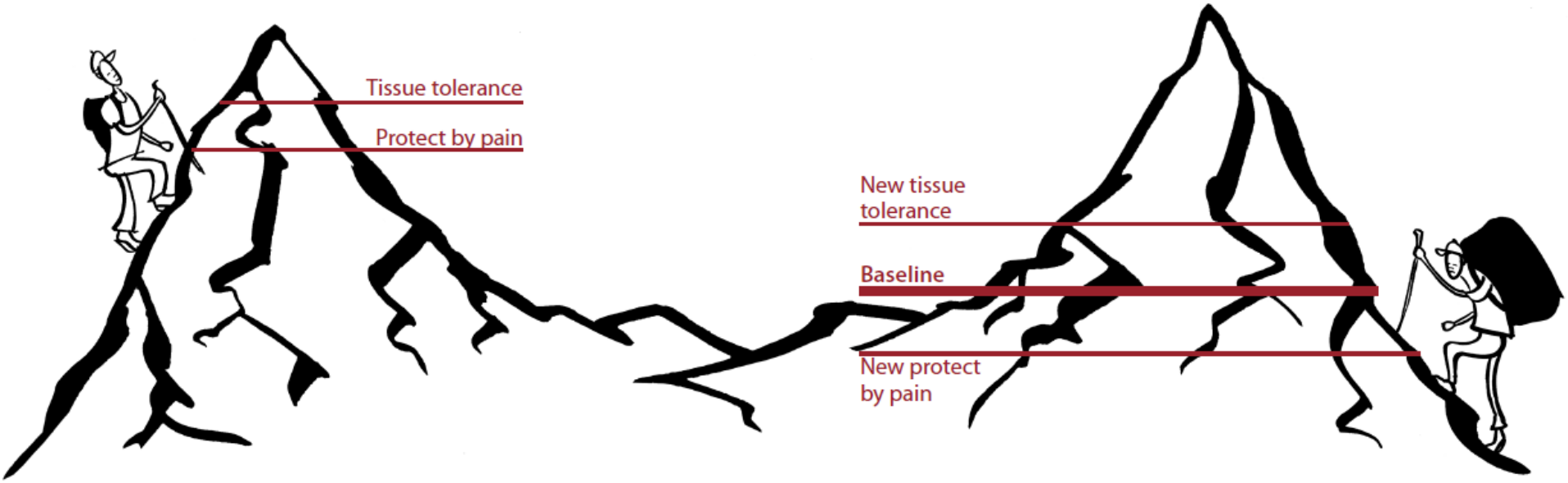
"Bojím se, že bych se mohl zranit, pokud budu cvičit”

"Pokud bych se pokusil to překonat, moje bolest by se zhoršila”

"Jednoduše být opatrný a vyhnout se zbytečným pohybům je to nejbezpečnější, co mohu udělat, abych zabránil zhoršení bolesti."

SH, KORI. "Kinesiophobia: a new view of chronic pain behavior." *Pain Manage* 3 (1990): 35-43.

Změny v kortikálních a limbických oblastech mozku

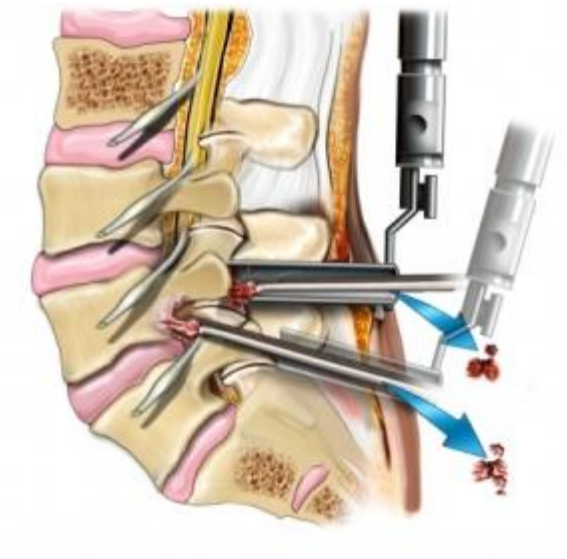


Katastrofizace Kineziophobie

Moseley, Lorimer, and David Butler. Explain Pain Supercharged, 2017.

Terapie nociplastické bolesti

Terapie



Opich fasetového kloubu

Disektomie

Mckenzie

Posilování HSSP

Terapie: Explain pain

Žádný problém nevyřeší stejná mysl, která ho vytvořila (Albert Einstein)

Moseley, Lorimer, and David Butler. Explain Pain Supercharged, 2017.

Fyzioterapie u nociplastické bolesti

1: Edukace pacienta – základ úspěchu

- **Porozumění bolesti** → „Bolest ≠ poškození tkáně“
- Pacient musí pochopit, že jeho bolest není důkazem strukturálního poškození, ale výsledkem změněného zpracování bolesti v mozku (kognitivní reframing).

Nejistota nás děsí

Porucha softwaru

Moseley, Lorimer, and David Butler. Explain Pain Supercharged, 2017.

Fyzioterapie u nociplastické bolesti

Systematic Review and Meta-Analysis

PAIN

Short-term impact of combining pain neuroscience education with exercise for chronic musculoskeletal pain: a systematic review and meta-analysis

Benjamin Siddall[a], Adrian Ram[b], Matthew D. Jones[b,c], John Booth[b], Diana Perriman[a,d,e], Simon J. Summers[f,g,h,*]

PNE + cvičení vs. cvičení

Systematic Review

Effectiveness of Pain Neuroscience Education in Patients with Chronic Musculoskeletal Pain and Central Sensitization: A Systematic Review

Beatrice Lepri [1], Daniele Romani [2,3], Lorenzo Storari [4] and Valerio Barbari [4,*]

PNE individual vs. PNE skupina

Fyzioterapie u nociplastické bolesti

Bolest → katastrofizace → větší bolest

stres → obavy → bolest

“Autopilot”

Ulpívavé myšlení, které krmí sebe samo

2: Pochopit: spouštěč → chování → výsledek

2hodinový kurz s edukací o bolesti a strategií jejího zvládání (empowered relief)

- Jediná 2hodinová lekce Empowered Relief je stejně účinná jako 8 týdnů CBT při snižování katastrofizace bolest

- Empowered Relief: 1)Explain pain,2) techniky zvládání bolesti – **mindfulness**, relaxační techniky, kognitivní restrukturalizaci, 3) techniky zvládání stresu

Všímavost mění aktivitu sítě výchozího nastavení
(tam je ulpívavé myšlení/ chronická bolest

Darnall, Beth D., et al. "Comparison of a single-session pain management skills intervention with a single-session health education intervention and 8 sessions of cognitive behavioral therapy in adults with chronic low back pain: a randomized clinical trial." *JAMA network open* 4.8 (2021): e2113401-e2113401.

Optimální délka „Pain Neuroscience Education“

Minimum clinically important difference

- **100 minut PNE** – klinicky významná změna v kineziofobii.
- **400 minut PNE** – klinicky významná změna v katastrofizaci bolesti.

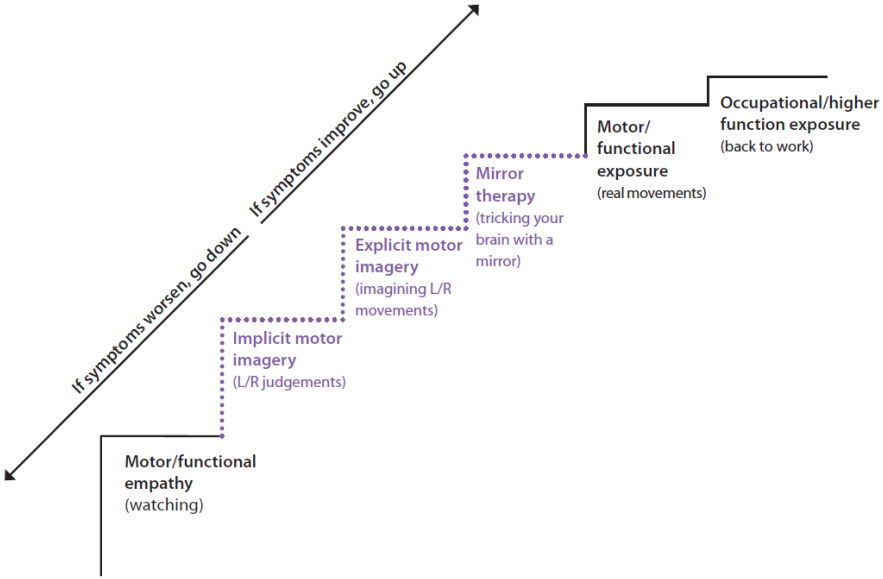
Studie tedy doporučuje přizpůsobit délku PNE podle cílené psychologické proměnné

Salazar-Mendez, Joaquin, et al. "Dosage matters: Uncovering the optimal duration of pain neuroscience education to improve psychosocial variables in chronic musculoskeletal pain. A systematic review and meta-analysis with moderator analysis." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 153 (2023): 105328.

Fyzioterapie u nociplastické bolesti

2: Postupná expozice pohybu (Graded Exposure)

- **Cíl:** Bezpečné zvyšování pohybové aktivity, aby se snížila citlivost nervového systému.

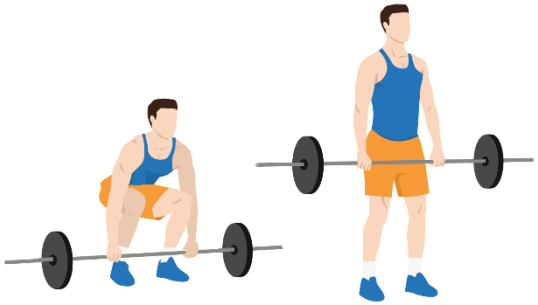


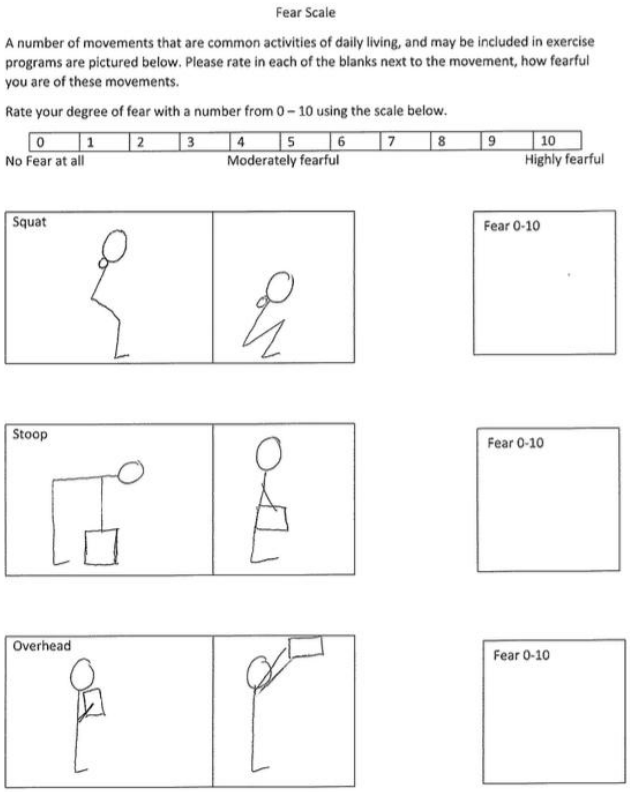
Postupná expozice konkrétním pohybům je klíčová pro redukci strachu z pohybu

Moseley, Lorimer, and David Butler. Explain Pain Supercharged, 2017.

Bordeleau, Martine, et al. "Treatments for kinesiophobia in people with chronic pain: A scoping review." *Frontiers in behavioral neuroscience* 16 (2022): 933483.

Fyzioterapie u nociplastické bolesti





Fear Scale

A number of movements that are common activities of daily living, and may be included in exercise programs are pictured below. Please rate in each of the blanks next to the movement, how fearful you are of these movements.

Rate your degree of fear with a number from 0 – 10 using the scale below.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No Fear at all					Moderately fearful					Highly fearful

Squat		Fear 0-10
Stoop		Fear 0-10
Overhead		Fear 0-10

Z toho vyplývá, že redukce strachu je pohybově specifická a **je třeba, aby pacient byl přímo vystaven danému pohybu**

Gibbs, Mitchell T., et al. "Reductions in movement-associated fear are dependent upon graded exposure in chronic low back pain: An exploratory analysis of a modified 3-item fear hierarchy." *Musculoskeletal Care* 21.1 (2023): 25-34.

Co NEfunguje u nociplastické bolesti?

- **Pasivní terapie** (elektroterapie, masáže, manipulace) bez aktivního zapojení pacienta → neposkytují dlouhodobé výsledky.

- **Tlačení přes bolest** – mozek se musí postupně naučit, že pohyb je bezpečný, ne že musí „přetrpět“ bolest.

Neuropatická bolest

Neuropatická bolest

- **Neuropatická bolest** je typ bolesti, který vzniká v důsledku **poškození** nebo **dysfunkce** nervového systému, a to buď na úrovni **periferních nervů**, **míšní dráhy**, nebo **mozku**.
- Bolest vzniká v důsledku **abnormální aktivace nervových drah**

Colloca, Luana, et al. "Neuropathic pain." *Nature reviews Disease primers* 3.1 (2017): 1-19.

Klinické projevy

- **Spontánní bolest**
- **Hyperalgezie**
- **Allodynie**.
- **Senzorické deficity** (hypestezie, anestezie).

Periferní neuropatická bolest

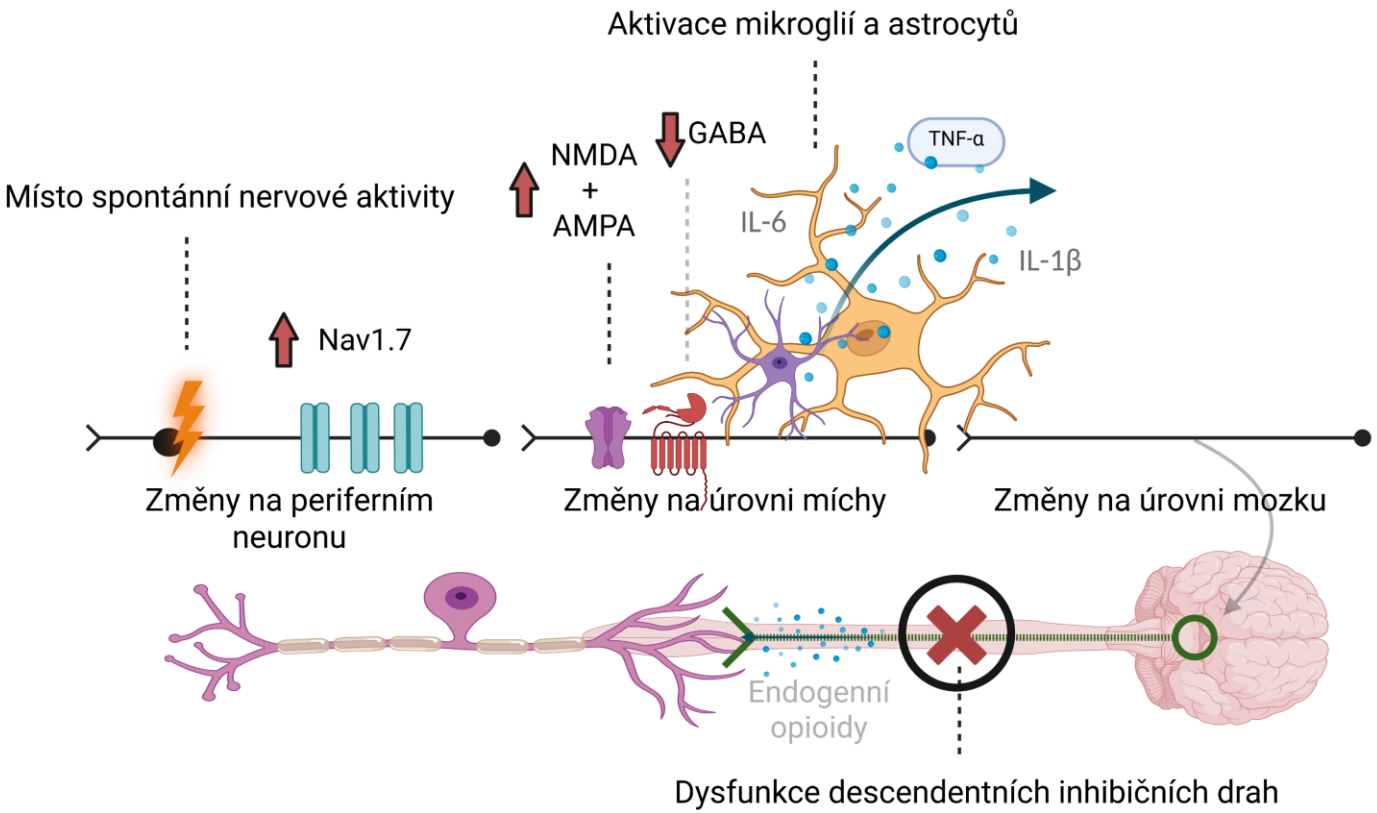
Nejčastější příčiny:

- **Diabetická neuropatie** (nejčastější příčina neuropatické bolesti).
- **Chemoterapií indukovaná neuropatie**
  Radikulopatie (krční a lumbosakrální).
- **Mechanické neuropatie** (syndromy útlaku nervů).

Murphy, Douglas, et al. "Peripheral neuropathic pain." *NeuroRehabilitation* 47.3 (2020): 265-283.

Periferní neuropatická bolest

Mechanismus vzniku



Periferní neuropatická bolest

Mechanismus vzniku

1. Periferní mechanismy neuropatické bolesti

- Periferní nervová poranění vedou ke změnám v excitabilitě senzorických neuronů

- Po poškození periferního nervu dochází ke zvýšené expresi napěťově řízených sodíkových kanálů (Nav1.7) = hyperexcitabilitě neuronů

- Po poškození periferního nervu se v místě léze vytvářejí ektopická místa spontánní nervové aktivity

Colloca, Luana, et al. "Neuropathic pain." *Nature reviews Disease primers* 3.1 (2017): 1-19.

Periferní neuropatická bolest

Mechanismus vzniku

2. Změny na úrovni míchy

a) Centrální senzitizace

- Dochází ke zvýšení aktivity glutamátergních receptorů (např. NMDA, AMPA) v druhoneuronových neuronech míšní dráhy, což vede ke **zvýšené odpovědi na stimuly**.
- Dochází také ke ztrátě inhibičních GABAergních a glycinergních neuronů, což vede ke **snížení míšní inhibice bolesti**.

b) Aktivace gliových buněk

- Mikroglie a astrocyty v míše se aktivují po poškození nervů a produkují prozánětlivé cytokiny (TNF-α, IL-1β a IL-6), které zvyšují senzitizaci nociceptorů

Colloca, Luana, et al. "Neuropathic pain." *Nature reviews Disease primers* 3.1 (2017): 1-19.

Periferní neuropatická bolest

Mechanismus vzniku

3. Změny v mozku a sestupných drahách bolesti

a) Dysfunkce descendentních inhibičních drah

- snížení inhibiční kontroly bolesti v periaqueduktální šedé hmotě

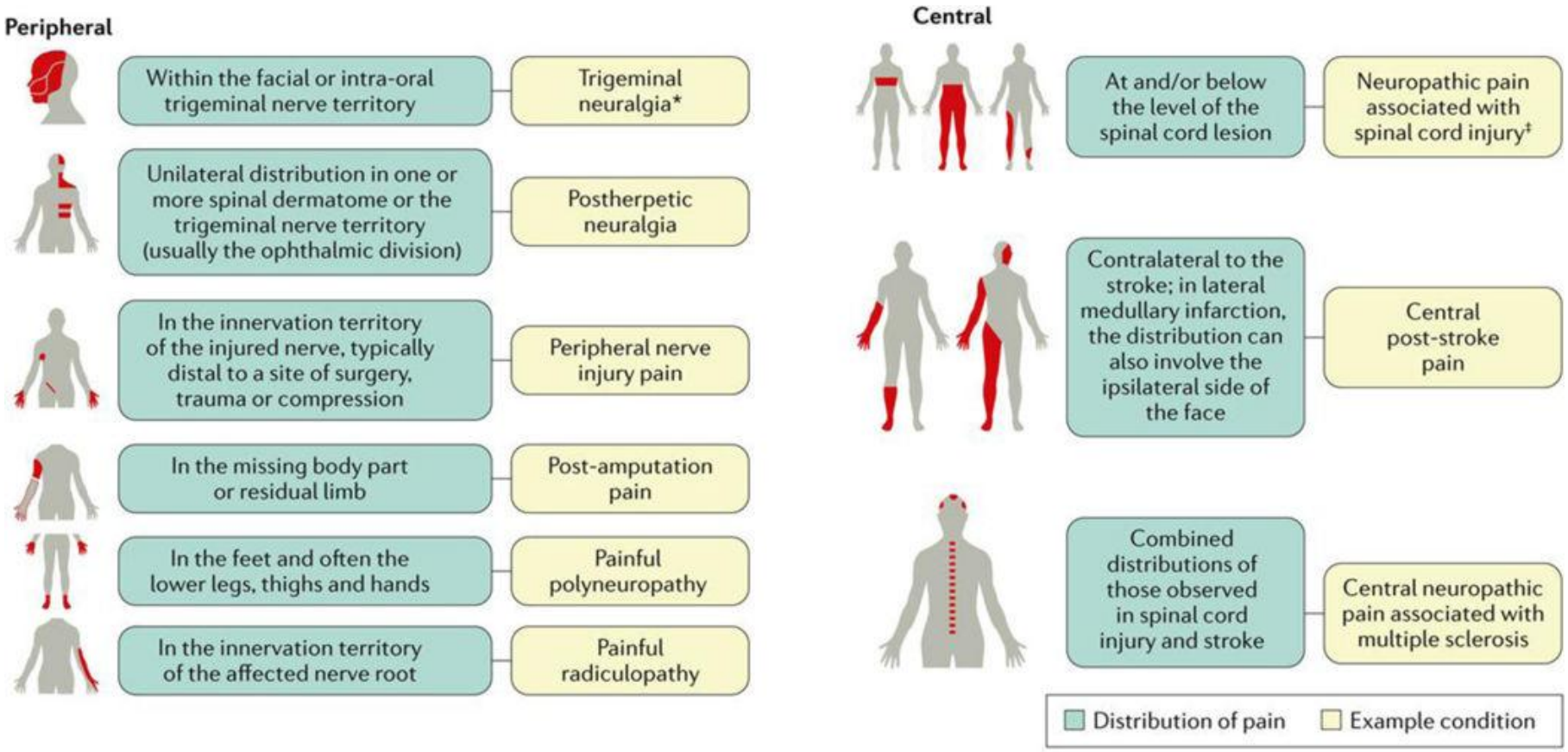
Colloca, Luana, et al. "Neuropathic pain." *Nature reviews Disease primers* 3.1 (2017): 1-19.

Centrální neuropatická bolest

- Vzniká v důsledku léze centrálního somatosenzorického nervového systému.
- Hlavní příčiny zahrnují poranění mozku, poranění míchy, cévní mozkovou příhodu, roztroušenou sklerózu.
- Hyperexcitabilita neuronů, neuron-glia interakce a změny v mozkové konektivitě.

Rosner, Jan, et al. "Central neuropathic pain." *Nature Reviews Disease Primers* 9.1 (2023): 73.

Neuropatická bolest



Colloca, Luana, et al. "Neuropathic pain." *Nature reviews Disease primers* 3.1 (2017): 1-19.

Fyzioterapie u neuropatické bolesti

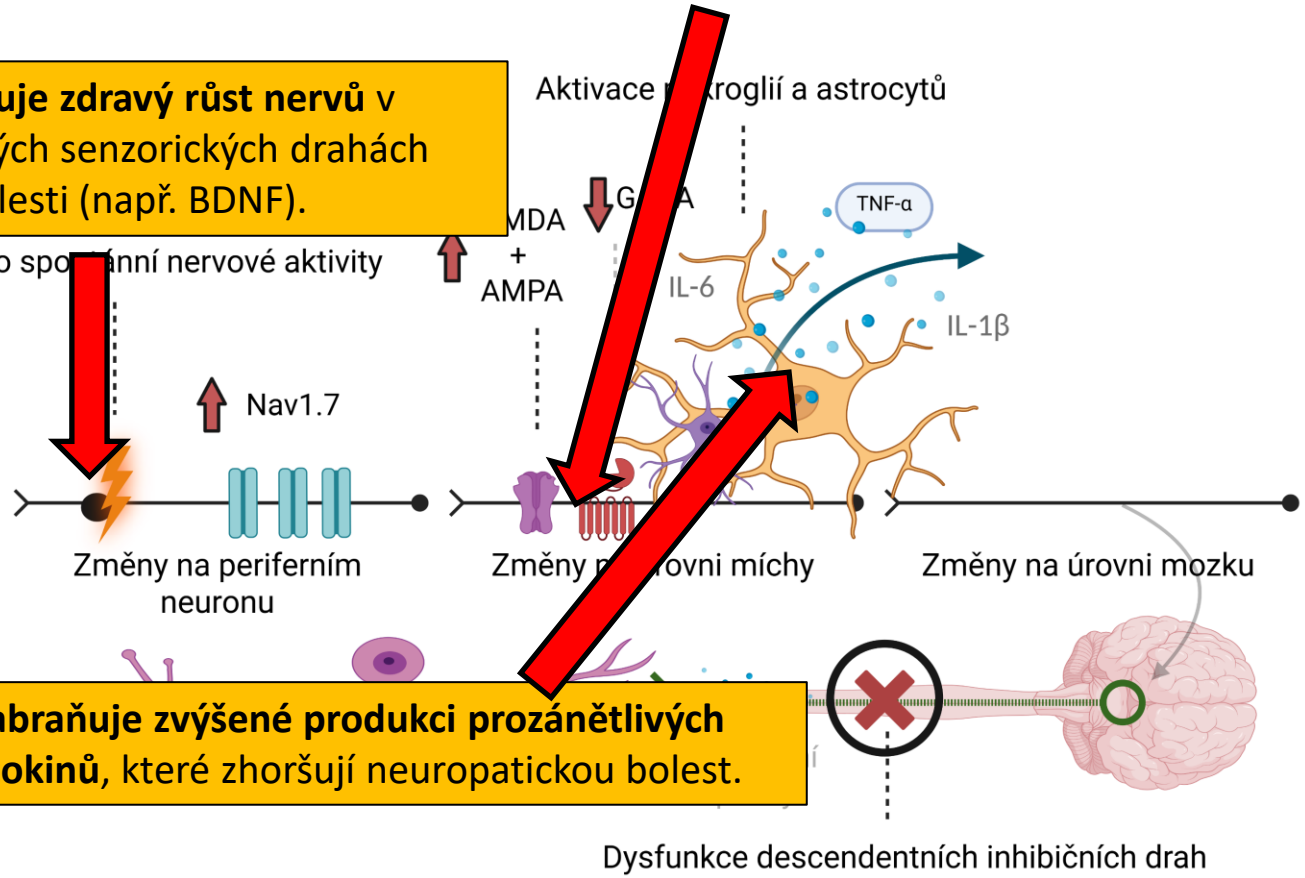
- Cvičení se ukazuje jako efektivní nefarmakologická strategie **ke snížení hyperalgezie, alodynie a zlepšení funkce analgetického systému mozku**.

Leitzelar, Brianna N., and Kelli F. Koltyn. "Exercise and neuropathic pain: a general overview of preclinical and clinical research." *Sports medicine-open* 7 (2021): 1-16.

Fyzioterapie u neuropatické bolesti

Aerobní cvičení a silový trénink aktivuje analgetický systém

Podporuje zdravý růst nervů v poškozených senzorických drahách bolesti (např. BDNF).



Zabraňuje zvýšené produkci prozánětlivých cytokinů, které zhoršují neuropatickou bolest.

Fyzioterapie u neuropatické bolesti

Aktivace analgetických systémů

- **Opioidní system a endokanabinoidní systém** → snížení bolesti.

Table 1: Mechanisms of exercise-induced hypoalgesia in different types of exercise.

Type of exercise	Pain threshold	Mechanisms	References
Isometric	Decrease	Endocannabinoid	Koltyn et al. [41]
Acute short-time	Decrease	Opioid + nonopioid	Stagg et al. [62]
Running wheel	Decrease	Opioid + inflammatory mediators + neurotransmitter system (catecholaminergic)	Dunn et al. [92]; Grace et al. [103]
Aerobic exercise	Decrease	Opioid system + oxidative stress + neurotransmitter system (catecholaminergic) + inflammatory mediators + neurotrophic factors + gene expression	Stagg et al. [62]; Almeida et al. [26]; Safakhah et al. [30]; Rostami et al. [31]; Azarbayjani and farzanegi [127]

Leitzelar, Brianna N., and Kelli F. Koltyn. "Exercise and neuropathic pain: a general overview of preclinical and clinical research." *Sports medicine-open* 7 (2021): 1-16.

Ukázkový protokol

1. 10–12 týdnů středně intenzivního kombinovaného tréninku (tj. aerobního a silového cvičení).
2. 15 týdnů HIIT

Vedlo k redukci senzorických složek neuropatické bolesti:

- ↓ Intenzity bolesti
- ↓ Afektivní složky (tj. jak obtěžující bolest je)

Leitzelar, Brianna N., and Kelli F. Koltyn. "Exercise and neuropathic pain: a general overview of preclinical and clinical research." *Sports medicine-open* 7 (2021): 1-16.

Fantomová molest

- Neuropatická bolest, která se vyskytuje po amputaci nebo deafferentaci končetiny.

- Je výsledkem **maladaptivní plasticity CNS** (změny na úrovni míchy, mozkového kmene, thalamu a somatosenzorické kůry).

Flor, Herta, Lone Nikolajsen, and Troels Staehelin Jensen. "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?." *Nature reviews neuroscience* 7.11 (2006): 873-881.

Fantomová molest

- Fantomová bolest se projevuje jako **pálení, bodání, křečovité stahy nebo tlak** v neexistující končetině.

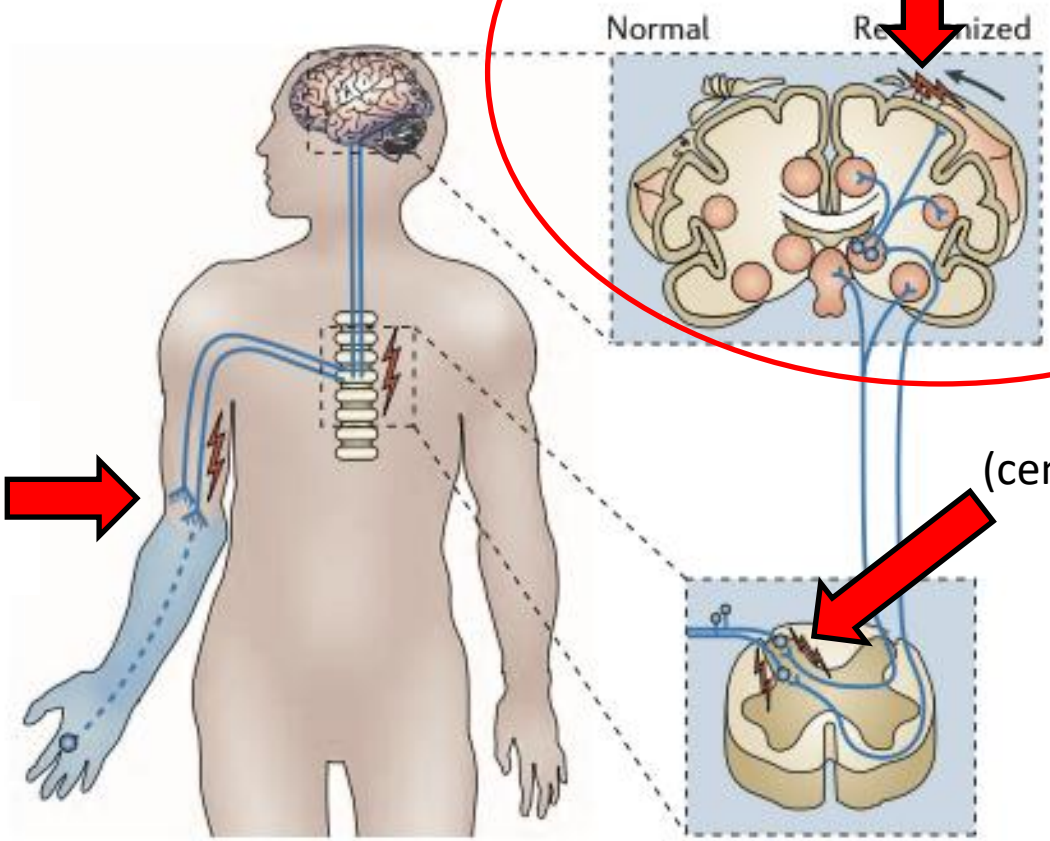
- Častěji postihuje distální části fantomové končetiny (např. prsty)

Flor, Herta, Lone Nikolajsen, and Troels Staehelin Jensen. "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?." *Nature reviews neuroscience* 7.11 (2006): 873-881.

Fantomová bolest

Mechanismus vzniku

Změny v mozku (kortikální reorganizace a maladaptivní plasticita)



Periferní změny (neuromata a ektopická aktivita)

Spinální změny (centrální senzitizace a ztráta inhibice)

Flor, Herta, Lone Nikolajsen, and Troels Staehelin Jensen. "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?." *Nature reviews neuroscience* 7.11 (2006): 873-881.

Fantomová bolest

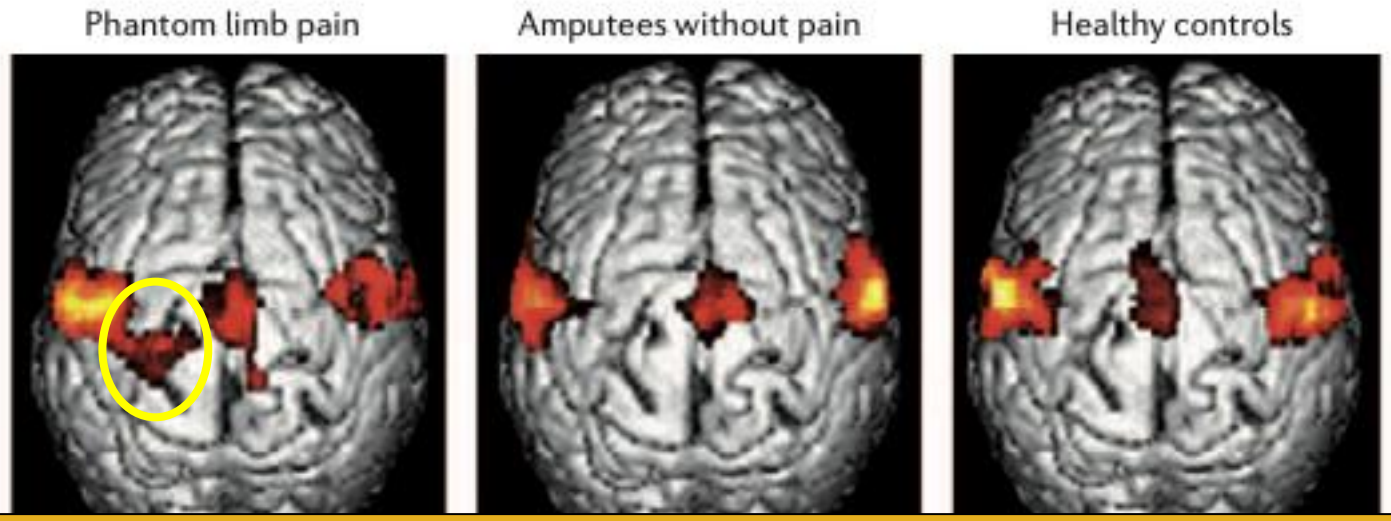
Maladaptivní neuroplasticita

- V somatosenzorické kůře (S1) je každá část těla reprezentována určitým kortikálním polem. Po amputaci dojde ke ztrátě vstupních signálů z chybějící končetiny.
- Sousední oblasti v kortexu převezmou neaktivní prostor, což způsobí, že dotyk na jiné části těla (např. na obličeji) může být vnímán jako bolest ve fantomové končetině.
- Funkční magnetická rezonance (fMRI) ukazuje, že čím větší reorganizace somatosenzorické kůry, tím silnější fantomová bolest.

Flor, Herta, Lone Nikolajsen, and Troels Staehelin Jensen. "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?." *Nature reviews neuroscience* 7.11 (2006): 873-881.

Fantomová molest

Maladaptivní neuroplasticita



U amputovaných pacientů s fantomovou bolestí se kortikální reprezentace úst rozšiřuje do oblasti ruky a paže

Flor, Herta, Lone Nikolajsen, and Troels Staehelin Jensen. "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?." *Nature reviews neuroscience* 7.11 (2006): 873-881.

Fyzioterapie

SR (11 RCT a 6 pilotních studií).

- Všechny analyzované studie ukázaly pozitivní efekt fyzioterapie na snížení intenzity fantomové bolesti.

Metody:

- Mirror therapy
- Transkutánní elektrická nervová stimulace (TENS)
- Virtuální realita (VR) a rozšířená realita (AR)
- Transkraniální magnetická stimulace (TMS) a transkraniální stejnosměrná stimulace (tDCS)

Gautam, Sunny, Adarsh Kumar Srivastav, and Digvijay Sharma. "Physiotherapy: A potential and novel treatment approach for phantom limb pain in post-amputee patients–A systematic review." *British Journal of Pain* 18.1 (2024): 5-27.

Fyzioterapie

SR (11

- Vše
  fyzioterapie na snížení intenzity fantomové bolesti.

Pokud dojde k nesouladu mezi **očekávanými senzorickými vstupy (z chybějící končetiny) a skutečnými podněty**, může to vést ke vzniku **chronické fantomové bolesti**

Signifikantní redukce bolesti v 51 % případů ($p < 0.0001$).

Nejslibnější metody:

- Mirror therapy
- Transkutánní elektrická nervová stimulace (TENS)
- Virtuální realita (VR) a **rozšířená realita** (AR)
- **Transkraniální magnetická stimulace** (TMS) a **transkraniální stejnosměrná stimulace** (tDCS)

Signifikantní redukce PLP v 62 % případů ($p < 0.01$).

Gautam, Sunny, Adarsh Kumar Srivastav, and Digvijay Sharma. "Physiotherapy: A potential and novel treatment approach for phantom limb pain in post-amputee patients–A systematic review." *British Journal of Pain* 18.1 (2024): 5-27.

Závěr

Klinická klasifikace bolestí

1. Nociceptivní bolest

- Vzniká při aktivaci nociceptorů v důsledku mechanických, tepelných nebo chenických podmětů

- **Diagnostické znaky:**
- Bolest je lokalizovaná v místě poranění,
- Proporcionální odpověď na nociceptivní podnět,
- Reaguje dobře na NSAID (nesteroidní protizánětlivé léky) a opioidy.

Klinická klasifikace bolestí

2. **Neuropatická bolest**

- způsobená poškozením nebo onemocněním somatosenzorického nervového systému.

- **Diagnostické znaky:**
- Bolest má neuroanatomickou distribuci (kopíruje průběh nervu).
- Často spojená s pálením, brněním, elektrickými výboji.
- Může se objevit alodynie (bolest na dotyk) a hyperalgezie (zesílená bolest na bolestivé podněty).
- Diagnostika zahrnuje neurofyziologické testy (EMG)

Klinická klasifikace bolestí

3. **Nociplastická bolest**

- změna zpracování nocicepce v centrálním nervovém systému.

- **Diagnostické znaky:**
- Neexistuje jasný důkaz o poškození tkáně nebo nervů, které by vysvětlovalo bolest.
- Bolest se může měnit v čase a prostoru (není fixována na jedno místo).
- Přítomnost alodynie, hyperalgezie, zhoršení bolesti při stresu.
- Často spojeno s poruchami spánku, únavou a depresí.

Děkuji

martin.srp@vfn.cz

Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd
Universita Karlova v Praze,
1. lékařská fakulta a Všeobecná fakultní nemocnice v Praze