



**Prostorová paměť, navigace a mozkové mapy**  
Jak mozek mapuje prostor kolem nás 264

**Povodně v Praze a historická paměť**  
Karlín vždy zaplavovala velká voda, a přeče se tu stále staví 268

**Mikrostruktura paměti v mozku**  
Jak se v mozkové tkáni zapisují a ukládají nové informace 272

**Paměť hornin**  
I horniny mají v sobě skryto něco jako paměť 274

➤ další články k tématu na [www.vesmir.cz](http://www.vesmir.cz)

### Restaurování paměti

Jak rudimenty paměti fungují u lidí, kteří jsou považováni z hlediska mozkových funkcí za „odepsané“. Jak jim lze vrátit alespoň elementární schopnost komunikace. Jak s tímto fenoménem zacházet v gerontopsychiatrii, psychologii, terapii.

### Co o sobě prozradil poškozený mozek

„Slavní“ pacienti, jejichž zranění, choroby nebo operace mozku prozradily mnohé o fyziologii paměti.

...a další příspěvky

# Prostorová paměť, navigace a mozkové mapy

Prostor je základním a všudypřítomným prvkem našeho světa. Trávíme v něm čas, pozorujeme jej, pohybujeme se v něm, abychom našli cíle, nebo se jim naopak vyhnuli, vymezujeme v něm svoji vlastní polohu. Na podstatě prostoru a úlohy mozku v jeho mapování se však vědci dlouho nemohli shodnout.

text **ALEŠ STUHLÍK**

**PRVNÍ SNAHY** o formalizaci pojetí prostoru se objevovaly už u starověkých filozofů. Řecký filozof Aristoteles tvrdil, že svět, a tedy i prostor, je spojitě plénem vyplněné hmotou a že povrch každého objektu v prostoru se „vlévá“ do svého okolí. O dvě tisíciletí později přichází anglický fyzik Isaac Newton s myšlenkou „absolutního prostoru“, který má existovat nezávisle na jakékoliv živé bytosti a který není přímo přístupný lidskému vnímání.

### PROSTOR SUBJEKTIVNÍ A OBJEKTIVNÍ

Newtonovský absolutní prostor sestává z oddělených pevných částic - atomů, oddělených „ničím“. V tomto absolutním prostoru vyznačil Newton absolutní a relativní pohyb, lišící se vzájemně silami, působícími na danou částici. Německý filozof Gottfried Leibniz odmítl Newtonovu myšlenku atomů jako základních stavebních kamenů prostoru a zavedl pojem monád, nečásticových prvků. Angličan George Berkeley zaserazil myšlenku, že prostor a mysl neexistují nezávisle; považoval prostor za produkt lidského vnímání a přemýšlení. Jako první také načrtl rozdíl mezi dotykovým prostorem a prostorem vnímaným zrakem, tedy rozdíl založený na odlišném způsobu smyslového vnímání.

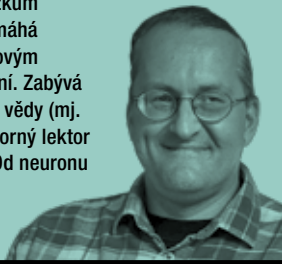
Německý filozof Immanuel Kant později rozpracoval koncepci těchto přístupů ve známém díle *Kritika čistého rozumu*, vydaném v roce 1878. Zdůrazňoval absolutní prostor, definovaný uvnitř lidské mysli. Takto

pojatý prostor však nebyl pochopitelně přístupný experimentálnímu zkoumání. To přispělo k odklonu od tohoto modelu, během 19. století vzrostl zájem o experimentální přístup k řešení psychologických otázek a hypotéz.

Patrně prvním, kdo rozpracoval pojetí prostoru ve smyslu chování a jeho reprezentace v mozku, byl Edward Chase Tolman (1886-1959). Tolman prováděl experimenty, kde testoval potkany v bludištích. Jeho myšlenky se střetly s tehdy převládající školou behavioristů, razících názor, že nemá smysl sledovat jakékoliv subjektivní procesy a že cestou je pouze studium odpovědí živočichů včetně lidí na fyzikální podněty.

### Prof. ALEŠ STUHLÍK (\*1974)

pracuje jako vědecký pracovník a vedoucí oddělení neurofyziologie paměti Fyziologického ústavu AV. Zabývá se především výzkumem učení, paměti a prostorové navigace. Věnuje se též studiu kognitivních deficitů a dalších změn chování doprovázejících zvířecí modely neuropsychiatrických onemocnění, výzkum jeho týmu napomáhá porozumět nervovým základům chování. Zabývá se i popularizací vědy (mj. působil jako odborný lektor překladu knihy *Od neuronu k mozku* z nakl. Academia).



1. KARETA obecná.

Volné dílo, CC BY-SA 2.0

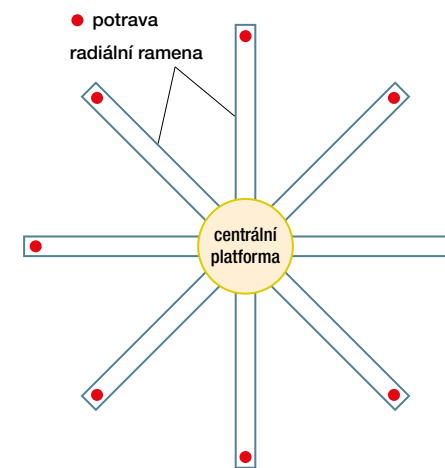
Behavioristé tvrdili, že veškeré chování lze vysvětlit řetězcem podnět-odpověď. Tolman provedl řadu experimentů, které prokázaly, že tato koncepce nemůže v řadě případů vysvětlit pozorovatelné chování. Byl také prvním, kdo použil termín „kognitivní mapy“ - tento pojem je dokonce v názvu jednoho ze série jeho článků z roku 1948 v časopise *Psychological Review: Kognitivní mapy u potkanů a u lidí*. Kognitivními mapami chápeme mozkové, nebo chcete-li, „mentální“ reprezentace vnějšího a vnitřního světa daného jedince. Přestože zmínění behavioristé tyto mentální procesy neuznávali, moderní neurobiologie chování nakonec dala Tolmanovým myšlenkám za pravdu. Na jeho teorii kognitivních map je vystavěna celá neurovědní škola zabývající se pamětí a prostorem, ale své využití našly i v psychologii, kybernetice, teorii rozhodování a dalších vědních disciplínách. Na rozdíl od Tolmana dnes už neurovědci vědí mnohem více o tom, jak mapy v mozku vypadají a fungují. Na schopnosti různých živočichů se účinně orientovat v prostoru podle jejich map zaměříme následující řádky.

### NAVIGACE – PRŮLET ŽIVOČIŠNOU ŘÍŠÍ

Téměř všichni živočichové s výjimkou přisedlých (např. žahavců) mají v určité míře schopnost se orientovat v prostoru. Tohoto účelnému chování říkáme prostorová navigace a je dokladem prostorové paměti. Z hlediska rozsahu prostředí prostorovou

navigaci rozčleňujeme na geografickou a topografickou.

Geografická navigace představuje tahy živočichů na velké vzdálenosti. Netýká se zdaleka pouze tažných ptáků, ačkoliv u nich je nejznámější. Na velké vzdálenosti migrují také třeba motýli monarchové stěhovaví (*Danaus plexippus*; urazí cca 4000 kilometrů) nebo mořské želvy jako kareta obecná (*Caretta caretta*; v roce 1996 překonala želva Adelita 14 500 km z Mexika přes celý Tichý oceán). Rekordmanem v překonané vzdálenosti je patrně rybák dlouhoocasý (*Sterna paradisaea*), který průměrně zdolává vzdálenost 70 900 km, a u ptáků původem z Islandu a Grónska může dosáhnout 90 tisíc



3. MORRISOVO vodní bludiště.

Kresba Barbara Stuhlíková



2. MONARCHA stěhovavý na Kanárských ostrovech.

kilometrů. Geografickou navigaci může řídit magnetické pole Země a také sluneční nebo hvězdný kompas. Tyto kompas mají některé velmi zajímavé vlastnosti. Magnetický kompas u tažného ptáka neposkytuje informaci o absolutním směru sever-jih, ale registruje náklon a intenzitu magnetických siločar, a proto ukazuje danému jedinci směr „k pólu“ a „k rovníku“. Je tedy jasné, že při překročení nejdelší rovnoběžky musí být „vynulován“.

Zvíře si ale musí sluneční a hvězdný kompas upravovat podle svých vnitřních hodin určujících den a noc - vždyť poloha slunce i hvězd se v průběhu celého dne mění. V drtivé většině případů jsou tyto kompasy zrozené, ale někdy se kalibrují ještě po vylíhnutí na hnízdě, jako je tomu např. u papouška indigového (*Passerina cyanea*).

Velmi zajímavý komplex navigace pak můžeme pozorovat u zmíněných karet obecných. Mláďata po zpravidla nočním vylíhnutí na mořském břehu směřují do oceánu a orientují se podle jasnější oblohy nad ním díky odrazu svitu hvězd a měsíce od mořské hladiny. V příbojových vlnách putují kolmo k linii břehu díky schopnosti rozeznat nejvyšší amplitudu krouživých pohybů těla kolmo k mořské vlně. Na otevřeném oceánu, kde již směr vln neodpovídá pobřeží, se pohybují pomocí magnetického kompasu.

Topografická navigace představuje orientaci na menší vzdálenosti, typicky v přirozeném prostředí daného druhu. Vyskytuje se opět u celé škály živočichů od hmyzu až po savce (vzpomeňme na včelí tanec, jímž

si včely sdělují směr, vzdálenost a kvalitu zdroje potravy, za jehož objev a popis dostal Karl von Frisch v roce 1973 Nobelovu cenu za fyziologii a medicínu). Fascinující je také chování pouštního mravence *Cataglyphis fortis*, který žije v saharské poušti. Tento drobný tvor opouští svůj úkryt a vydává se na klikatou cestu dlouhou několik stovek metrů. Po nalezení potravy se však překvapivě vydá přímou trajektorií směrem ke svému hnízdu, jako by si během svého křivolakého výletu pamatoval přesný vektor zpět. Mravenci kromě vnitřního krokoměru a čichových vodítek pomáhá také sluneční kompas. U savců se schopnost účinné navigace v prostoru vyvinula díky specializaci mozku, a to především struktur středního spánkového laloku jako hipokampus nebo entorhinální kůra.

V laboratořích velice často používaný potkan bývá testován v Morrisově vodním bludišti, bazénu o průměru zhruba dvou metrů, napuštěném zakalenou vodou, s ostrůvkem na určitém místě pod hladinou. Potkan, vypuštěný z náhodných míst na okraji bazénku, velmi rychle – během několika plaveb – pochopí, kde se ostrůvek nalézá, a to pouze pomocí jeho prostorových vztahů, tedy souřadnic vzhledem k okolním orientačním bodům v místnosti, kde se celý experiment odehrává.

Navigace potkanů nebo i myší v Morrisově vodním bludišti (vynalezeném roku 1981) je mimořádně silným důkazem pro existenci kognitivní mapy, umožňující orientovat se v prostředí. Zajímavým experimentálním bludištěm, které neurovědci také často využívají, je i radiální bludiště. Z platformy vybihají paprscitá ramena; zpravidla jich je devět či dvanáct (vědci však experimentovali až se čtyřiceti osmi rameny). Před pokusem ukryje badatel v ramenech kousky potravy, třeba čokolády. Úkolem zvířete je navštívit postupně všechna ramena a pamatovat si ta, kde už byl, kde potrava není, a jímž se má tudíž vyhnout. Ať už se topografická orientace odehrává v přirozeném prostředí, nebo v experimentálních bludištích, nikdy není nouze o zajímavé typy chování a překvapující nálezy ve vztahu k fungování mozku. Na to, jak právě mozek zajišťuje tyto funkce, se zaměříme v následujících řádcích.

## A MOZEK? CO VÍME DNES?

Mozek savců obsahuje řadu nervových buněk kódujících prostor. Nejdéle známé jsou buňky místa. Tyto buňky objevili John O'Keefe a Jonathan Dostrovsky v roce 1971. Pyramidové a zrnité neurony v hipokampu začínou silně spouštět vzruchy, pokud se subjekt nachází v definované a omezené části prostoru (aktivním nebo receptivním poli). Tyto buňky se analyzují v otevřeném arénu, kde se potkan pohybuje volně, ale

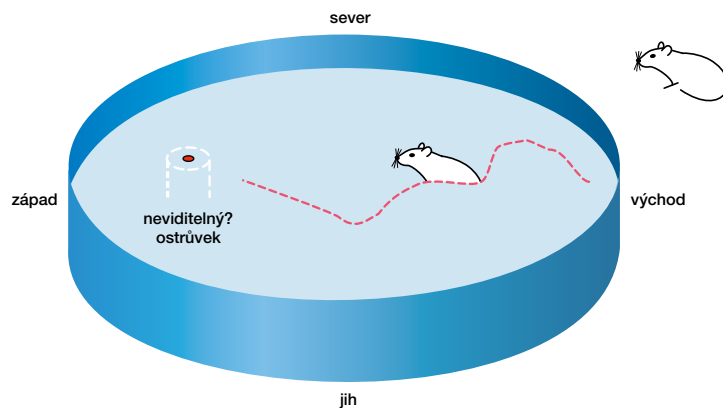
## 4. RYBÁK dlouhoocasý v letu.

Volné dílo,  
CC BY-SA 2.0



## 5. RADIÁLNÍ bludiště.

Kresba  
Barbara Stuchlíková



i v radiálním nebo Morrisově vodním bludišti. Ukázalo se, že buňky místa u pozemních savců (např. potkana) mají ve svislém rozměru nižší citlivost, avšak pokud jsou bezdrátově snímány například u netopýrů pohybujících se v trojrozměrném prostoru, je citlivost ve všech třech základních směrových osách velmi vysoká.

Další funkčně specializované buněčné typy jsou buňky směru hlavy, které se dokonce nacházejí v několika mozkových strukturách spojených s hipokampem. Jeffrey Taube tyto buňky objevil v roce 1990. Buňky směru hlavy spouštějí vzruchy, pokud se zvíře dívá určitým směrem. Je to tedy takový vnitřní kompas, ale ne magnetický (tento smysl nebyl u potkanů zatím dokázán, ačkoliv se objevují zajímavé spekulace a hypotézy). U těchto buněk téměř nezáleží, kde v prostoru zvíře je, klíčový je úhel pohledu.

Mřížkové buňky objevili v roce 2005 norští manželé May-Britt a Edvard Mose- rovi, o devět let později dostali společně s Johnem O'Keefem Nobelovu cenu za lékařství a fyziologii. Mřížkové buňky vytvářejí vzruchy na mnoha místech, která pravidelně pokrývají celý prostor šestiramennou mřížkou. U potkanů nejsou tyto neurony vůbec citlivé na svislý rozměr. V hipokampu byly nalezeny také buňky s citlivostí na směr hlavy a zároveň polohu zvířete. Jiné typy buněk reagují na hranice a okraje prostředí

a vědci také objevili „buňky rychlosti“, kódující rychlost pohybu, a „buňky času“, pomáhající zpracovávat časový aspekt vzpomínek.

V dalších oblastech mozku se vyskytují buňky, jejichž aktivita se váže k cíli v pokusném bludišti nebo k objektům, s nimiž se zvíře v prostoru setkává. Badatelé dnes soudí, že všechny tyto typy neuronů fungující v širších populacích označovaných jako neuronové ansámblы se podílejí na komplikovaných mozkových výpočtech zajišťujících účinnou navigaci savců v prostředí. Bez zajímavosti není, že takovéto buňky existují i u člověka – tento fakt popsali vědci u epileptických pacientů. Voperovali jim elektrody, aby mohli určit polohu epileptického ohniska v mozku pro další léčbu. Tyto pacienty vyšetřovali za pomoci orientace v prostoru virtuální reality tím, že snímali aktivitu jejich neuronů. Lékařská věda a snaha o pomoc pacientům tak napomohla i vědeckému zkoumání. Badatelé se dnes shodují na tom, že právě tyto různé typy neuronů by mohly být samotnou podstatou oněch kognitivních map, které předpověděl v polovině 20. století E. Ch. Tolman. ●

Tato práce byla podpořena grantem GA ČR 17-04047S a grantem AZV 17-30833A. Institucionální podpora byla poskytnuta projektem RVO:67985823.