

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Fyziologický ústav

Testování a statistické hodnocení kognitivních schopností
potkana

Diplomová práce

Praha 2008

Vedoucí diplomové práce:

MUDr. RNDr. Michal Wittner, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Michal Tůma

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použil jsem jen prameny uvedené v seznamu literatury.

Souhlasím, aby práce byla uložena na Karlově univerzitě v Praze v knihovně 1. lékařské fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům.

.....

podpis

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce panu MUDr. RNDr. Michalu Wittnerovi, Ph.D. za odborné vedení této práce, za velké množství cenných rad a podnětů, a také za kritické připomínky a opravy, které měl v průběhu vzniku této práce.

Děkuji paní Doc. MUDr. Marcele Lippertová-Grünerová z Klinik für Allgemeine Neurochirurgie der Universität zu Köln za pečlivé přečtení práce a za cenné podněty týkající se této práce.

Děkuji také Fyziologickému ústavu 1. LF UK za to, že mi bylo umožněno provádět měření v Laboratoři kognitivní psychologie.

Děkuji také [*****Grantové agentuře Univerzity Karlovy](#), která experimentální práci podpořila grantem [číslo 25/2005](#).

Údaje o průběhu obhajoby bakalářské práce

Obhajoba konána dne

Vedoucí práce: MUDr. RNDr. Michal Wittner, Ph.D.
Fyziologický ústav 1.LF UK

Oponent: MUDr. Ing. Michael Ort
Fyziologický ústav AV ČR

Přisedící:

Hodnocení:

Abstrakt

Michal Tůma

Testování a statistické hodnocení kognitivních schopností potkana

Diplomová práce

Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Fyziologický ústav 2008

Tato diplomová práce shrnuje průběh a výsledky behaviorálního experimentu studujícího kognitivní schopnosti potkanů. Zkoumanými kognitivními schopnostmi byla schopnost prostorové orientace potkanů a dále schopnost rovnováhy. Schopnost prostorové orientace potkanů byla testována pomocí úkolu nalezení skrytého cíle v Morrisově vodním bludišti, schopnost rovnováhy pak pomocí modifikovaného testu rovnováhy na kladině.

Zvířaty použitými v experimentu byli 30-ti denní potkani kmene Wistar, kteří byli rozděleni do skupin odpovídající sledovaným faktorům. Těmito faktory byly: životní prostředí potkanů, krátkodobý hypoxický stres, podaná anestezie a vliv pořadí experimentálního dne na dosažený výkon. Vliv těchto faktorů na sledované kognitivní schopnosti byl zkoumán jednak pro každý z faktorů samostatně, tak i pro vzájemné interakce těchto faktorů.

Zjištěné výsledky ukazují velkou variabilitu, která je patrná z popisných statistik a která je u behaviorálních studií poměrně častá. Samostatný vliv faktorů typu prostředí a podstoupené hypoxie na kognitivní schopnosti nebyl prokázán jako statisticky významný ani pomocí *t*-testu, ani jednofaktorovou analýzou rozptylu. Jako statisticky významný byl zjištěn vliv výkonu v závislosti na testovaném jedinci ($p < 0,001$). Při použití vícerozměrné vícefaktorové analýzy na data celého experimentu se na kognitivní schopnosti potkanů ukázaly jako statisticky významné vlivy faktorů pořadí experimentálního dne ($p < 0,0001$), typu prostředí ($p = 0,0072$) a úrovně podstoupené hypoxie ($p = 0,0001$). Pro data související pouze s tréninkem v Morrisově vodním bludišti byl zjištěn také statisticky významný vliv interakce faktorů prostředí a podstoupené hypoxie ($p = 0,0215$).

Abstract

Michal Tůma

Testing and statistical evaluation the cognitive abilities of rats

Diploma paper

Charles University in Prague, 1st Faculty of Medicine, Institute of Physiology

The presented paper shall summarize process and results achieved during a behavioural study of cognitive abilities of rats, in particular of space orientation ability and balance ability. The space orientation ability was examined in the course of task of searching a hidden object in the Morris water maze whereas a modified beam balance test was to prove the latter ability. In the experiment there were employed 30-days old Wistar rats, further divided into the groups according to examined factors. Such factors comprise living environment of the rats, short-time hypoxic stress, anaesthesia applied and impact of order of an experimental day on the performance. Influence of the aforementioned factors on examined cognitive abilities was assessed both upon each of such factor separately and on the basis of mutual interaction among such factors.

The recorded results show high variability which is more apparent from the descriptive statistics and relatively often in such behavioural studies cases. Neither the *t*-test nor single-factor analyses of variance were able to prove the influence of either environmental factor or hypoxia factor on the cognitive abilities as statistically relevant. The influence of performance in dependence on a tested individual was ascertained as statistically relevant ($p < 0,001$). When the multidimensional and multi-factor analyses of the total amount of data were employed, the following factors proved to be statistically relevant: order of an experimental day ($p < 0,0001$), type of environment ($p = 0,0072$) and level of hypoxia sustained ($p = 0,0001$). In relation to the data gained by examination solely in the Morris water maze also the influence of interaction of environmental factor and hypoxia factor ($p = 0,0215$) showed to be as statistically relevant.

Obsah

1. Cíl práce	9
2. Teoretický úvod	10
2.1. Kognitivní schopnosti a možnosti jejich testování	10
2.1.1. Historický vývoj	10
2.1.2. Anatomické struktury mozku podílející se na procesech učení a paměti	11
2.1.3. Fyziologie chování a paměti.....	14
2.1.3.1. Učení	14
2.1.3.2. Paměť	16
2.1.4. Orientace v prostoru	19
2.1.4.1. Formy prostorové orientace.....	20
2.1.4.2. Experimentální metody zkoumání některých typů učení	20
2.1.4.3. Kognitivní mapa	22
2.1.4.4. Experimentální metody studia orientace v prostoru	23
2.1.4.4.1. Prostorové učení	23
2.2. Popis použitých statistických metod	25
2.2.1. Historický vývoj	25
2.2.2. Základní popisné statistiky	27
2.2.2.1. Míry polohy.....	27
2.2.2.2. Míry variability	28
2.2.3. Testování statistických hypotéz	29
2.2.3.1. Test shody středních hodnot (test shodnosti).....	31
2.2.4. Analýza rozptylu (ANOVA - ANalysis Of VAriance).....	32
2.2.4.1. Jednofaktorová analýza rozptylu	32
2.2.4.2. Vícefaktorová analýza rozptylu	33
2.2.5. Grafické znázornění výsledků.....	34
3. Materiál a metody	37
3.1. Systém pro zaznamenávání pohybu potkana	37
3.2. Morrisovo vodní bludiště	38
3.3. Hypobarická komora	39
3.4. Obohacené prostředí	39
3.5. Motorický trénink	41

3.6.	Hrazda	41
3.7.	Anestezie.....	42
3.8.	Průběh experimentu.....	42
3.9.	Použité statistické metody	46
4.	Výsledky a diskuze.....	48
4.1.	Charakteristika experimentálních skupin a měřených veličin	48
4.2.	Výsledky a statistické testování	52
4.2.1.	Hodnocení pozitivního vlivu obohaceného prostředí	53
4.2.2.	Hodnocení možného negativního působení anestetika	58
4.2.3.	Hodnocení stimulačního působení podstoupené hypoxie	61
4.2.4.	Vícefaktorové testování pro všechny faktory současně	66
4.2.4.1.	Vícefaktorová analýza všech měřených veličin	67
4.2.4.2.	Vícefaktorová analýza pro měřené veličiny – únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost.....	69
4.3.	Diskuse výsledků.....	70
5.	Závěr	74
6.	Seznam názvů a zkratk.....	76
7.	Použitá literatura	78
Příloha č.1a	Výsledky potkanů v jednotlivých dnech tréninku.....	75
Příloha č.1b	Výsledky testovaných skupin v jednotlivých dnech experimentu..	79
Příloha č.2	Krabicové grafy veličin pro testování dvouvýběrovým t -testem....	80
Příloha č.3	Grafy pro testování jednofaktorovou analýzou rozptylu	83
Příloha č.4	Grafy efektů jednotlivých faktorů a jejich interakcí pro vícefaktorovou analýzu rozptylu.....	86
Příloha č.5	Jednorozměrné testování (pro každou sledovanou veličinu samostatně) při vícefaktorové analýze rozptylu	93
Příloha č.6	Popisné statistiky pro vícefaktotovou analýzu rozptylu	94
Příloha č.7	Analýza rozptylu – Graf závislosti výsledku na test. jedinci.....	100

1. Cíl práce

Cílem předkládané práce je shrnout průběh a výsledky behaviorální studie zkoumající vliv hypoxie a životního prostředí na kognitivní schopnosti potkanů. Práce je předkládána jako diplomová práce pro navazující magisterský studijní program Zdravotnická technika a informatika na 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

Prostředkem pro vyhodnocení naměřených dat jsou jednak základní popisné statistiky a testování hypotéz párovým t -testem. Hlavní důraz je ovšem kladen na vyhodnocení výsledku pomocí jednofaktorové, i vícerozměrné vícefaktorové analýzy rozptylu, které umožňují nejen oddělené hodnocení jednotlivých sledovaných faktorů pro více měřených veličin, ale i společných interakcí těchto faktorů.

Data použitá v této práci jsem naměřil v Laboratoři kognitivní psychologie na Fyziologickém ústavu 1. Lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze pod vedením RNDr. MUDr. ~~RNDr.~~ Michala Wittnera, Ph.D., který byl hlavním řešitelem dvouletého vědeckého grantu ~~*****~~ Grantové agentury Univerzity Karlovy číslo 25/2005 s názvem Fysiologie prostorové orientace u potkana – behaviorální studie. Jedná se o behaviorální studii kognitivních schopností potkana a svá měření jsem prováděl jako studentský spoluřešitel tohoto grantu.

Tématem studie bylo prokázat vliv zlepšeného životního prostředí potkanů v experimentu na jejich schopnost učit se. Současně byl tento vliv zkoumán i se současným vystavením potkanů hypobarické hypoxické zátěži. Ve své práci jsem použil data, která jsem sám naměřil.

Jako pracovní cíle práce jsem si stanovil zodpovězení následujících otázek:

- Dosahují potkani chování v obohaceném prostředí (při testování v Morrisově vodním bludišti) signifikantně lepších výsledků než potkani držení ve standardních klecích?
- Má hypoxické působení nějaký vliv na kognitivní schopnosti potkanů?
- Lze vyloučit negativní efekt podání anestetika v průběhu experimentu na kognitivní schopnosti potkanů?

2.1. Kognitivní schopnosti a možnosti jejich testování

2.1.1. Historický vývoj

Počátky výzkumu učení a paměti u zvířat jsou spjaty především s ruským vědcem Ivanem Petrovičem Pavlovem (1849 – 1936), který ve svých pracích definoval základní principy učení, jež je dnes označováno jako klasické (pavlovské) podmiňování. Na základě tohoto principu se experimentální zvíře učí asociovat dva nebo více podnětů. Pokud je jeden z podnětů vázán na nepodmíněnou reakci a zároveň je tato reakce asociována s jiným (podmíněným) podnětem, pak tento podnět vyvolá stejnou reakci, ale už jde o reakci podmíněnou. [[+Telenský, et al., 2006](#)]

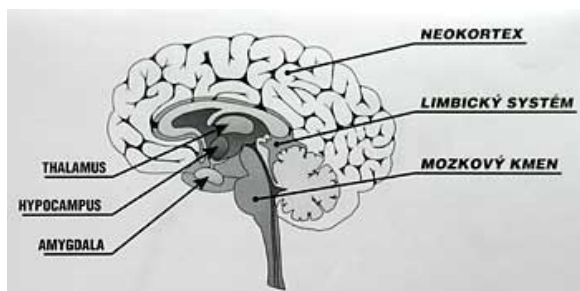
Na základě Pavlovových výzkumů a principu podmíněných reflexů prosazoval americký vědec John Broadus Watson (1878 – 1958) přístup označovaný jako behaviorismus. Tento směr zkoumá v psychologickém výzkumu pouze chování živočichů na rozdíl od strukturalistického přístupu, kde se jako experimentální metoda užívá introspekce. Watson považoval jakékoli chování živočichů za naučené a učení vysvětloval právě na principu podmíněných reflexů. Proto považoval zkoumání vědomí a vnitřních mentálních procesů za bezvýznamné. Tento přístup je označován jako S-R paradigma (stimulus – response, podnět – odpověď). Vývojově mladším směrem je tzv. metodologický behaviorismus, který považuje studium chování za nejvhodnější metodu výzkumu v psychologii a jehož studiem lze pochopit vnitřní procesy. Behaviorální odpověď nemusí totiž být přímou reflexní reakcí na podnět, ale může být vnitřními procesy (myšlením) adaptována. Tento přístup je označován jako S-O-R (stimulus-organism-response). Představitelem tohoto směru byl Edward Chace Tolman (1886 – 1959). Jako radikální behaviorismus je označován směr, jehož zakladatelem byl Burrhus Frederic Skinner (1904 – 1990) a který uplatňoval koncepci operantní odpovědi. Experimentálně prokázal rozpor mezi S-R přístupem a skutečností. Dle tohoto přístupu by podmíněnou odpovědí mohl být pouze konkrétní motorický úkon, v experimentu ale byly prokázány celé třídy úkonů, které měly různé provedení, avšak z hlediska funkce byly rovnocenné. Množinu těchto úkonů nazval právě operantní odpovědí. [[+Telenský, et al., 2006](#)]

Na začátku sedmdesátých let dvacátého století došlo při výzkumu navigačního chování zvířat ke zjištění zvláštního chování pyramidových buněk v hipokampu (viz. níže) potkana. Tyto pyramidové buňky vykazovaly výraznou prostorovou specifitu. To dalo vzniknout teorii hipokampální kognitivní mapy, podle níž je hipokampus neurálním substrátem vnitřní reprezentace prostředí, jakousi mapou, která zachycuje prostorové vztahy mezi jednotlivými místy a umožňuje rozpoznání pozice ve vztahu k nim. Díky tomuto může zvíře efektivně objevovat nové cesty, tzn. je schopno najít správnou cestu od jakéhokoli místa na mapě k jakémukoli jinému. Nalezení fyziologického podkladu kognitivních map (viz níže) umožnilo korelovat behaviorální studie s elektrofyziologickými daty, což napomohlo dalšímu vývoji výzkumu v této oblasti. Vyvinuté způsoby tréninku experimentálních zvířat a způsoby jejich testování umožňují ve spojení s moderní technikou získat data, která lze s výhodou zpracovávat pomocí počítačových algoritmů a lze je využít pro konstruování obecných matematických modelů chování. Dále lze pomocí těchto studií srovnávat učení živých (např. potkan) a neživých (autonomní počítačový robot řízený evolučním systémem) objektů ve stejném typu prostorových úloh. To může sloužit ke zlepšení znalostí v oblasti strojového učení a automatického rozpoznávání.

[+Telenský, et al., 2006]

2.2.2.1.2. Anatomické struktury mozku podílející se na procesech učení a paměti

Naformátováno: Odrážky a číslování



Obr. č. 1 Paměťová centra mozku

[PIHAN, Roman. Fotografie v psychologii. Fotoroman \[online\]. \[cit. 2007-08-26\].](#)

[Dostupný z: http://www.fotoroman.cz/techniques/photo_psycho.htm](http://www.fotoroman.cz/techniques/photo_psycho.htm)

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Odsazení: Vlevo: 0 cm, První řádek: 0 cm

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: zarovnání na střed, Odsazení: Vlevo: 0 cm, První řádek: 0 cm

Znalost, která je uchovávána jako explicitní paměť (tj. jako paměť, která je vybavována vědomě), je nejprve získána neuronálními procesy v polymodální asociační kůře

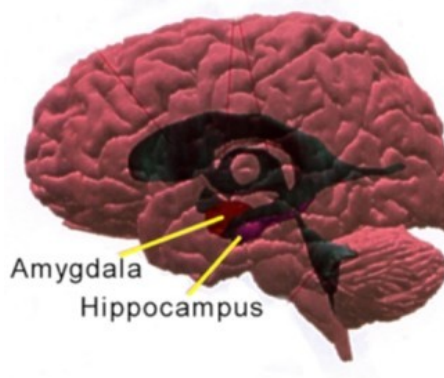
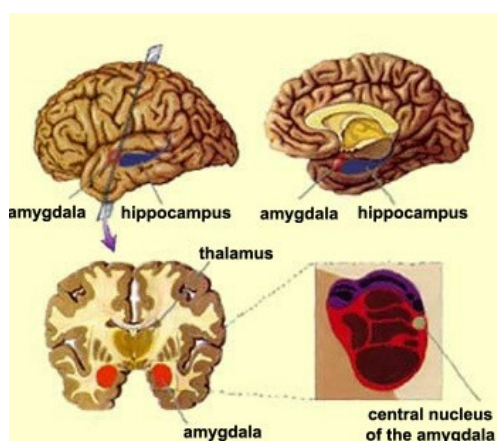
(prefrontální, limbická, parieto-okcipitálně-temporální) – tj. v kůře, která spojuje zrakové, sluchové a somatické informace. Poté je informace vedena přes parahipokampální a perirhinální kůru do entorhinální kůry, pak do gyrus dentatdentatus, hipokampu, subiculumsubicula a zpět do entorhinální kůry. [[2Kalinová](#), [cit 2007-08-26]]

Entorhinální kůra

Její funkce je dvojitá, vstupují skrze ní informace z polymodální kůry do hipokampu (perforant pathway) a vystupují z ní informace z hipokampu (nejčasnější změny nastávající při Alzheimerově nemoci ovlivňují explicitní paměť a jsou vázány na poškození entorhinální kůry)

Hipokampus

Zpracovává informace z mozkové kůry a dalších oddílů limbického systému. Je vývojově příslušný k čichovému analyzátoru a v průběhu evoluce převzal úlohu rozlišování novosti a důležitosti všech signálů. Dále řídí reakci na aktuální podnět. Když došlo k vytvoření schopnosti určit význam signálu, začala se tvořit schopnost přenosu informace z krátkodobé paměti do trvalejších složek. Reverbační okruhy hipokampu pravděpodobně opakují novou ale závažnou informaci tak dlouho, až je zapsána do synaptických okruhů dlouhodobé paměti. Jedná se o relativně pomalý zápis. [[3Trojan](#), 1994]



Obr. č.2 Hypokampus a amygdala

[PAZDERA, Roman. Gen rozhoduje o naší paměti \[online\]. \[cit. 2007-08-31\].](#)

Dostupný z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=443>.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

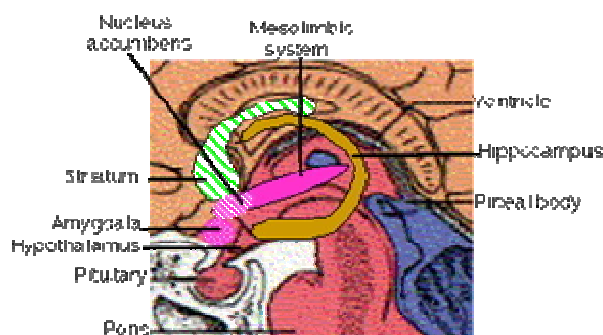
[\[The Amygdala and its allies \[online\]. \[cit. 2007-08-31\].](#)

Dostupný z: http://thebrain.mcgill.ca/flash/i/i_04/i_04_cr/i_04_cr_peu/i_04_cr_peu.html.

Amygdala

Jde o párovou mozkovou strukturu, která ovlivňuje řadu prvků chování (cítění, náladu, paměť atd.). Je to funkční celek s bohatými vnitřními spoji a vstupními a výstupními drahami do ostatních částí limbického systému a do mozkové kůry. Kortikomedialní část je odpovědná za příjem informací z čichových receptorů, centrální část je spojena s chuťovými centry. Bazolaterální část je spojena s parietálními a temporálními oblastmi mozkové kůry (tyto oblasti zajišťují přístup, s výjimkou čichových, všech sensorických informací). Tato část amygdaly určuje emoční význam informací a na pozadí předchozích zkušeností a vrozených hodnotících mechanismů k nim přiřazuje emoční náboj.

[Trojan, 1994]



Obr. č.3 Amygdala – detail

KIMBALL, John W. *Kimball's Biology Pages* [online]. [cit. 2007-08-31].

Dostupný z: <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/S/Striatum.gif>.

Cerebellum (mozeček)

Zajišťuje udržování rovnováhy a řízení přesnosti pohybů. V procesu učení je jeho nejdůležitější funkcí odpovědnost za motoriku, ale má význam i při ostatních typech učení.

Striatum

Subkortikální část koncového mozku (telencephalon). Společně s pallidiem ovlivňují aktivitu neuronů premotorické a motorické korové oblasti. Tímto okruhem je ovlivňována činnost sestupných korových motorických drah a striatum se tak podílí na motorickém učení.

Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Poškození těchto oblastí či strukturální a metabolické změny nebo změny neuromediátorových systémů (zejména acetylcholinu, glutamátu, dopaminu a noradrenalinu) má za následek poruchy učení a paměti. Učení a paměť mohou být též ovlivněny změnami pozornosti, motivace a emocí, tj. změnami aktivity jednotlivých sensorických systémů. Výkonná složka naučeného chování závisí především na funkci motorického systému. [\[Trojan, 1994\]](#)

2.3.2.1.3. Fyziologie chování a paměti

Naformátováno: Odrážky a číslování

Živé organismy jsou schopny přizpůsobení svých životních projevů změnám vnějšího a vnitřního prostředí. Po přijetí informace o stavu zevního nebo vnitřního prostředí porovnají tyto informace s informacemi uloženými v nervové soustavě a při rozpoznání odlišnosti vyberou a uskuteční vhodnou odpověď. Řídící mechanismy využívají informace uložené genetickou cestou a informace získané v průběhu života. To znamená, že chování každého živočicha obsahuje jak prvky vrozené, tak prvky získané.

V období vývoje jedince se budují struktury organismu a tedy stavba a vzájemné propojení jednotlivých neuronálních okruhů mozku determinuje ve velké míře vrozené mechanismy adaptace. Jde o mechanismy řídící chování na základě vrozených informací a jsou jimi nepodmíněné reflexy, motivace, emoce a instinkty. Učení a paměť jsou podkladem schopnosti ukládat a užívat informace v průběhu života (jde tedy o mechanismy řídící chování na základě získaných informací). Ukládání nových informací je možné díky plasticitě nervového systému. Ta je největší v raných obdobích života. I v dospělosti, přestože už nevznikají žádné nové dráhy, dochází k rozsáhlým přestavbám. To je nutné nejen k ukládání nových informací, ale také k průběžnému obnovování informací stávajících, schopnosti adaptovat se na změněné životní podmínky. Dále jsou nezbytné pro obnovu a regeneraci nervových struktur. [\[Trojan, 1994\]](#)

V dalším textu jsou stručně uvedeny informace o mechanismech řídící chování na základě získaných informací, tj. o mechanismech učení a paměti.

2.3.2.1.2.1.3.1. Učení

Naformátováno: Odrážky a číslování

Procesem učení myslíme změnu chování jedince na základě předchozí zkušenosti. Tato zkušenost vstoupí do paměti, kde důsledkem opakování podnětů dojde k postupnému vytváření paměťové stopy. Jedná se vlastně o vytvoření dočasného nervového spojení.

Typy učení

Učení neasociativní

Jedná se o nejstarší formu učení. Při tomto procesu nedochází k asociaci více podnětů, mění se pouze reakce na jeden podnět. Rozlišují se dva způsoby změny reakce na podnět. Jde o **habituaci** (přivykání), kdy intenzita reakce na daný podnět klesá, a **senzitivizaci** (zvýšení citlivosti), kdy dochází ke zvyšování intenzity reakce na daný podnět.

[\[Trojan, 1994\]](#)

Učení asociativní

Při tomto typu učení dochází k asociaci dvou nebo více podnětů, které působí současně (nebo v úzkém časovém vztahu) a které mají určitý vztah k dané činnosti. Takto sdružené podněty mohou být využity k jejímu dalšímu pozdějšímu řízení. Přednostně se sdružují podněty vhodné či nezbytné k zachování daného jedince či druhu. Základním typem asociativního učení jsou **podmíněné reflexy**, při nichž dochází ke vzniku vazby nepodmíněného reflexního děje na nový podnět, který tak přebírá signální úlohu nepodmíněné reakce. Rozlišují se dva druhy podmíněných reflexů. Při klasickém (pavlovském) podmiňování má jedinec pasivní úlohu a odpověď je zprostředkována buď autonomním nervstvem, nebo nemotorickým systémem. Při instrumentálním (operantním) podmiňování je vypracování odpovědi založeno na dosažení úspěchu cestou „pokusů a omylů“, jde o spojení nepodmíněného podnětu se vzorcem chování. Dalšími druhy asociativního učení jsou **učení hrou**, kdy se jedná o nacvičování vzorců chování, **napodobování**, při kterém učení probíhá opakováním chování pozorovaného u jiného jedince, **učení vhladem**, kde jde o pochopení vztahů mezi ději a podněty, a **vtištění** (imprinting), u kterého k asociaci dojde již při jediném spojení podnětů. [\[Trojan, 1994\]](#)

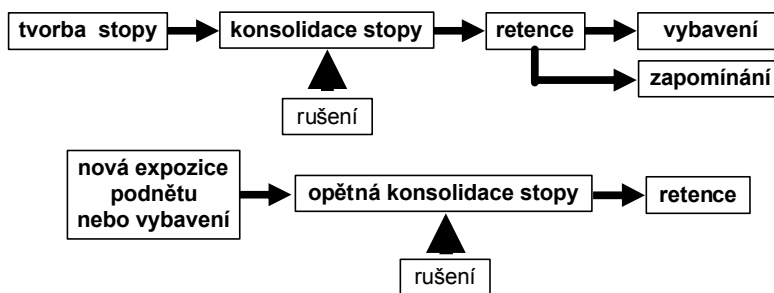
Nepodmíněné reflexy představují pro organismus pohotovou zásobu programů pro reakce na podněty prostředí. Adaptace je možná jen v určitém okruhu změn vnějšího prostředí a nový vrozený prvek chování se vytváří jen cestou změny genetické informace. Podmíněné reflexy umožňují modifikovat programovou výbavu podle aktuální situace a násobně tak zvyšují schopnost adaptace. Také se mohou v krátké době měnit. Musí jim ale nutně předcházet učení, a proto jsou životně důležité reakce zpravidla doménou nepodmíněných reflexů. [Trojan, 1994]

3}

2.3.2.2.2.1.3.2. Paměť

Naformátováno: Odrážky a číslování

Paměť rozumíme ukládání a uchovávání informací pro pozdější využití, jejich následné vybavování a použití v okamžiku potřeby. Kromě neuronální paměti je v organismu přítomna také paměť genetická a imunitní. V neuronální paměti se do nervového systému ukládají jednotlivé stopy, které představují časové a prostorové kombinace podnětů.



Obr. č.4 Vznik paměťové stopy

[Patofyziologie učení a paměti \[online\], LFP UK, \[cit. 2007-08-31\].
Dostupný z: http://www.lfp.cuni.cz/patofyziologie/materialy/uceni/uceni.ppt](http://www.lfp.cuni.cz/patofyziologie/materialy/uceni/uceni.ppt)

Znalost je produkt integrace mnohačetných reprezentací v mozku. Schopnost vybavit si a použít znalost se nazývá kognitivní efektivnost. Závisí na tom, jak dobře dokážeme asociovat informace z různých reprezentací. Každá reprezentace však může být dosažena nezávisle (s použitím zrakových, verbálních nebo jiných klíčů). Na procesu zapamatování si a používání znalostí se spolupodílí přinejmenším čtyři pochody: osvojení nové informace, její konsolidace, uskladnění a vybavení. [Trojan, 1994]

Osvojení (encoding) je proces, kterým je nová informace získána a zpracována. Osvojení musí být důkladné a hluboké. Nejlepší je pokud se nová informace asociuje (nebo integruje) se znalostmi, které jsou již dobře známé. Paměť je také silnější, když je silná

Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Změněn kód pole

Naformátováno: Hypertextový odkaz, Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

motivace. **Konsolidací** se rozumí proces, který mění nově uloženou (a stále labilní) informaci tak, aby byla trvalá a odolná proti poškození. Při konsolidaci se exprimují geny a syntetizují nové proteiny. **Uložení** se vztahuje k procesům a místům, kde je paměť dlouhodobě ukládána. **Vybavováním** rozumíme procesy, které umožňují vyvolání uložené informace. Umožňuje kombinaci různých informací, které jsou uskladňovány izolovaně. Jde o konstruktivní proces a místo, kde dochází ke zkreslení. Vybavování je nejučinnější, když k němu dochází ve stejném kontextu jako při získávání informace a za přítomnosti stejných klíčů (retrieval cues), které byly používány během učení. [Trojan, 1994]

Proces konsolidace paměťové stopy je citlivý vůči rušivým vlivům. Ve fázi retence je naopak paměťová stopa stabilní. Opakováním podnětu nebo novou expozicí jeho působení (reaktivací stopy) se prodlužuje retence informace v paměti a snižuje se pravděpodobnost zapomenutí. [Kalinová, cit 2007-08-26]

Naformátováno: Písmo: 10 b.

Klasifikace paměti dle trvání

V závislosti na době trvání se rozlišují tři druhy paměti. Tzv. senzorycké registry jsou paměti s velmi krátkou dobou zapamatování (zlomky sekund), jde zejména o ikonickou paměť (čtení) a echoickou (sluchovou) paměť. Má omezenou kapacitu a z tohoto důvodu jsou starší informace vytěšňovány informacemi novými. Dalším typem je paměť krátkodobá, jedná se o paměť pracovní. Má rovněž omezenou kapacitu a dobu zapamatování několik minut. Z této krátkodobé paměti je informace buď dále přesunuta do dlouhodobé paměti, nebo je zapomenuta. Záznamy v dlouhodobé paměti mají dobu trvání hodiny, dny, roky, nejvýznamnější informace jsou zapamatovány trvale. Informace se z ní vybavují různě rychle v závislosti na frekvenci vybavování a době od jejich uložení. [Tulving, 1983]

Zvláštní formou dlouhodobé paměti jsou paměťové stopy s vysokou stabilitou, které vznikají mnohonásobným opakováním a jsou snadno a okamžitě přístupné. Jsou v ní uloženy především praktické dovednosti (čtení, psaní) a vědomosti (vlastní jméno). [Wittner, How to experiment..., 2005]

	Doba	Rychlost	Doba	Odhadovaná	Kapacita
--	------	----------	------	------------	----------

	zapamatová ní	zpracování	přístupu	„přístupová“ metoda	
Senzorická paměť (např. fonologická smyčka)	krátká (zlomky sekund)	rychlá	krátká (zlomky sekund)	přísně sekvenční	několik položek
Krátkodobá paměť (pracovní paměť)	minuty	střední	střední	přímý přístup ke každé položce	omezená (několik položek)
Dlouhodobá paměť (referenční paměť)	stálá (celý život)	pomalá	různě dlouhá (minuty)	heteroaso- cia- tivní	neměřitelná (horní hranice není známa)

Obr. č.5 Hierarchický model paměti

WITTNER, Michal. How to experiment with a "sense" of orientation?. In: KELEMEN, J.; KVASNIČKA, V.; POSPÍCHAL, J. *Kognice a umělý život 5*. Slezská univerzita v Opavě, 2005. str. 625-635. ISBN 80-7248-310-2.

Klasifikace paměti dle možnosti vědomého vybavení

Podle možnosti vědomého vybavení rozlišujeme paměť deklarativní, kdy obsah paměti může být vědomě vybaven ve formě verbální, nonverbální (jako myšlenková představa) nebo konání, a paměť nedeklarativní, která je součástí různých mimovolních vzorců chování, její součástí si většinou neuvědomujeme.

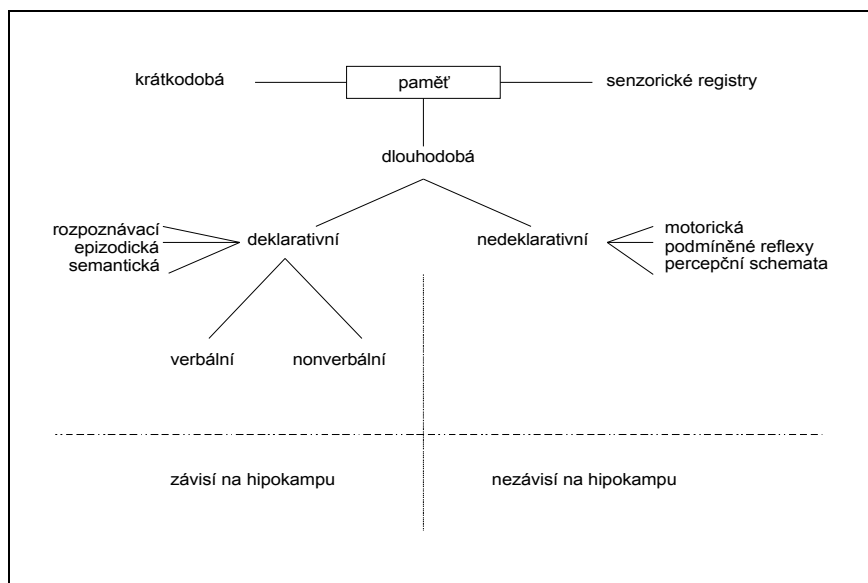
Paměť deklarativní (explicitní)

Důležitá je především pro schopnost postihnout a kódovat jedinečnost jednotlivých událostí, které proběhly v konkrétním čase a době. Slouží k vědomému vybavení informací, a proto je tato paměť postižena při amneziích. Paměťové záznamy jsou kódovány spolu se vztahy mezi sebou navzájem, uložená reprezentace umožňuje zachytit vnější svět. Jedná se však o model, který je buď pravdivý, nebo nepravdivý.

Deklarativní paměť se dále dělí na paměť sémantickou, která obsahuje abstraktní informace jako jsou pojmy a další faktografický materiál, který si jedinec v průběhu života osvojuje. Je umístěna v mozkové kůře a má vztah k řečovým centrům. [Tulving, 1985] Epizodická paměť se týká dějů a událostí, které jedinec prožil a ke kterým má často osobní vztah. Ukládá se do ní tak časový sled těchto dějů. [Sherry a Schacter, 1987] Posledním typem deklarativní paměti je paměť rozpoznávací, která slouží pro rozpoznání osob, míst a objektů.

Paměť nedeklarativní (implicitní)

Informaci uloženou v této paměti nelze vybavit slovně a její vybavení je nevědomé. Jednotlivé typy této paměti se vyskytují jako modifikace uvnitř specializovaných výkonných systémů. Tato paměť není ani pravdivá, ani nepravdivá. Nedeklarativní paměť zahrnuje procedurální paměť, což je v podstatě motorické učení. Opakováním určité činnosti dochází postupně k jejímu usnadnění a následnému zautomatizování. Ve srovnání s deklarativní pamětí je proces učení výrazně pomalejší, výkon se postupně zlepšuje a je značně odolný vůči zapomínání. Dále jsou v této paměti uloženy kognitivní a percepční schémata. Dalším typem nedeklarativní paměti jsou priming (doplnění celku), které umožňují zvýšení paměťové výkonnosti po vystavení se obrazovým nebo verbálním podnětům se zřejmým situačním vztahem ke konkrétnímu úkolu. Mezi typy nedeklarativní paměti patří dále somatické a vegetativní podmíněné reflexy, emoční a operantní podmiňování a neasociativní paměť. [Trojan, 1994]



Obr. č.6 Typy paměti

[TROJAN, Stanislav, et al. Lékařská fyziologie, Praha : Avicenum, 1994, str. 423, ISBN 80-7169-036-8.](#)

2.4.2.1.4. Orientace v prostoru

Studium prostorového učení potkanů coby modelu vyšších kognitivních funkcí zaujímá v experimentálních kognitivních vědách důležité místo. Protože se schopnost prostorového učení vyskytuje u mnoha taxonomických jednotek, umožňují prováděné experimenty

- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva
- Naformátováno: zarovnání na střed, Odsazení: Vlevo: 0 cm, První řádek: 0 cm
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Písmo: 8 b.
- Naformátováno: Odrážky a číslování

modelovat činnost lidských vyšších nervových funkcí. Dělení těchto experimentů je uskutečňováno dle povahy cíle (tj. orientace k viditelným nebo skrytým cílům). [Stuchlík, 2003]

2.4.1.2.1.4.1. Formy prostorové orientace

Naformátováno: Odrážky a číslování

Jako navigace se označuje nalezení optimální cesty k cíli ve známém prostoru. Podle typu cíle a převažujících informačních vstupů rozeznáváme majákovou, alotetickou a idiotetickou navigaci. [Bureš, 2000]

	Cíl	Mechanismus
Majáková navigace	viditelný (přímo percipovatelný) cíl	kognitivní zpracování vyšší úrovně se nezapojí
Idiotetická navigace	předchozí navštívené místo	„integrace dráhy“, výpočet motorických schémat závisí nejvíce na interocepti
Alotetická navigace	skrytý cíl	výpočet úhlů, vzdáleností a poloh relativně vůči vzdáleným orientačním bodům, které nejsou přímo spojeny s cílem

Obr. č.7 Formy navigace

WITTNER, Michal. How to experiment with a "sense" of orientation?. In: KELEMEN, J.; KVASNIČKA, V.; POSPÍCHAL, J. *Kognice a umělý život 5*. Slezská univerzita v Opavě, 2005. str. 625-635. ISBN 80-7248-310-2.

2.4.2.2.1.4.2. Experimentální metody zkoumání některých typů učení

Naformátováno: Odrážky a číslování

Majáková navigace

Majáková navigace představuje navigaci k viditelnému nebo jinak percipovatelnému (označenému) cíli. Protože majáková navigace nevyžaduje kognitivní zpracování, ne vždy se pod pojem navigace zahrnuje.

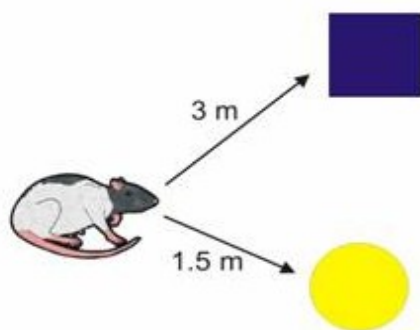
Navigace trasou

Navigace trasou (radonová orientace) je chápána jako řetězec na sebe navazujících reakcí typu stimulus – podnět. Každá odpověď v řetězci může být považována za situaci, která poskytne nové vodítko pro následující krok v řetězci. [Hull, 1934]

Takováto navigace má pouze omezenou flexibilitu (pouze pro ten úkol, pro který byla vytvořena) a pokud trénovaný objekt „sejde z cesty“, má jen malou šanci se na ni vrátit. Další nevýhodou je, že instrukce podávané během trasy nemohou být podány v obráceném nebo náhodném pořadí. [Stuchlík, 2003]

Alotetická orientace

Alotetická orientace je definována jako proces integrování informací o prostorových vztazích mezi orientačními body, které se nacházejí v okolí zvířete (klíčová ve vodním bludišti). K navigaci dochází pomocí vizuálních a dalších distančních senzoričtých informací ze zdrojů vzdálených od cíle (ten může být viditelný nebo skrytý). Zrakovou složku lze vyřadit prováděním experimentu ve tmě. [Mittelstaedt a Mittelstaedt, 1980]



Obr. č.8 Alotetická navigace

[RAMBOUSEK, Lukáš, Modelování schizofrení podobného chování na potkanech \[online\], \[cit.2007-08-31\]. Dostupný z: http://www.otvorena-veda.cz/o/users/File/default/konf/prez/15-Rambousek.ppt](http://www.otvorena-veda.cz/o/users/File/default/konf/prez/15-Rambousek.ppt)

Idiotetická orientace

Idiotetická orientace zahrnuje zpracování informací generovaných během aktivní či pasivní lokomoce subjektu nebo informací přímo závislých na této lokomoci (vzájemná spolupráce **proprioceptorů** vestibulárního systému). Rozlišují se dva podtypy těchto informací.

Inerciální idiotheze má jako zdroj informací vestibulární otolithické receptory, které dodávají informace o lineárním zrychlení hlavy, a vestibulární polokruhové kanálky, které registrují informace o úhlovém zrychlení pohybu hlavy. **Substrátová idiotheze**

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b., není Tučné, Kurzíva, Čeština (Česká republika)

Naformátováno: Písmo: 8 b., není Tučné, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

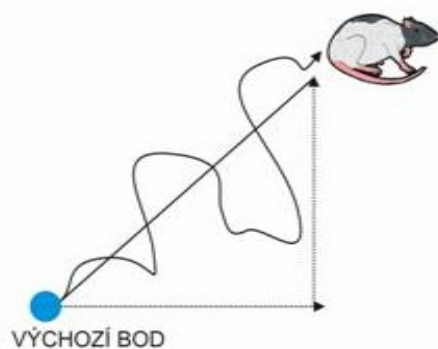
Naformátováno: Písmo: 8 b., Čeština (Česká republika)

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b., Podtržení, Barva písma: Světle modrá

Naformátováno: Písmo: 8 b.

zpracovává informace z proprioreceptorů ~~svalové, šlachové~~(svalových, šlachových a kloubních) a integruje tyto informace ~~z~~ proprioreceptorů s eferentními kopiemi motorických příkazů, aby nakonec došlo ~~k~~ informování subjektu o jeho vlastním pohybu vzhledem k substrátu (voda, země). Substrátová a ~~inerciální~~ inerciální idiotheze dávají testovanému subjektu shodnou informaci o okolním světě a vedou ke stejnému chování, pokud se subjekt orientuje ve stabilním prostředí bez pasivního pohybu, kdy veškerý jeho pohyb je pohybem aktivním. Pokud se ale prostředí pasivně pohybuje, lze inerciální a substrátovou idiothezi rozlišit. [Mittelstaedt a Mittelstaedt, 1980]



Obr. č.9 Idiotetická orientace

[RAMBOUSEK, Lukáš. Modelování schizofrení podobného chování na potkanech \[online\]. \[cit.2007-08-31\]. Dostupný z: http://www.otevrena-veda.cz/o/users/File/default/konf/prez/15-Rambousek.ppt.](http://www.otevrena-veda.cz/o/users/File/default/konf/prez/15-Rambousek.ppt)

2.4.3.2.1.4.3. Kognitivní mapa

Naformátováno: Odrážky a číslování

Jedná se o jeden ze základních pojmů kognitivní psychologie, jedná se o hypotetickou reprezentaci reality, která je vytvářena jedincem ve formě vztahů prostředků a cíle při cílesměrném chování. Podle E.C. Tolmana

jde o registr obsahující informace o prostorovém rozložení orientačních bodů v prostředí a informace o poloze subjektu, dovolující subjektu vybrat nejkratší možnou dráhu mezi startem a cílem. Testované zvíře si v mozku vytváří vnitřní reprezentaci okolního prostředí. Ta mu umožňuje určit správný směr na základě povědomí o vzájemných prostorových vztazích mezi okolními objekty, svojí současnou pozicí, pozicí výchozího bodu a pozicí cíle, kterého má dosáhnout nebo se mu vyhýbat. [Tolman, 1948]

Hlavním neuronálním substrátem kognitivní mapy alotetické a idiotetické orientace je pravděpodobně hipokampus. Neurony v hipokampu, které se podílejí na vytváření paměťových stop, bývají označovány jako místní neurony (place cells). Tyto buňky

generují akční potenciály, pokud se zvíře nachází na určitém místě, tzv. aktivním poli neuronu (firing field). Dalšími buňkami, které se podílí na vzniku paměti jsou neurony směru natočení hlavy (head—direction cells) — elektrická aktivita se zvyšuje, pokud je longitudinální osa hlavy natočena určitým směrem. [Wittner, How to experiment..., 2005]

Správné porozumění neurofyziologii kognitivních schopností je nezbytné pro poznání způsobu, jakým se zvířata orientují v prostoru a jak navigují ke skrytým cílům. Použitím různých způsobů prostorové navigace a zaznamenáním aktivity příslušných hipokampálních neuronů lze modelovat způsob jakým se v mozku vytváří a upravuje prostorová paměť v závislosti na získávaných zkušenostech. [Bureš a Fenton, 2000]

2.4.4.2.1.4.4. Experimentální metody studia orientace v prostoru

Naformátováno: Odrážky a číslování

Schopnost orientace v prostoru (tedy smysl pro orientaci), nebývá řazena mezi ostatní smysly z důvodu absence specializovaného senzoru. Při vlastním orientování ale využívá každý tvor řady smyslových vstupů, a proto je schopnost orientace považována za vyšší poznávací schopnost než smyslové vnímání.

Testovaná zvířata se pohybují ve vymezené, zpravidla kruhové aréně (bludišti). To umožňuje in vivo elektrofyziologickou registraci aktivity místních neuronů a neuronů směru hlavy, což jsou nervové buňky, které generují akční potenciály pouze pokud se zvíře nachází v určité části prostoru, respektive pokud se dívá určitým definovaným směrem. Pro testování laboratorních potkanů a myši se používají arény. Úkoly se od sebe liší typem navigace, buď přímo k perceptibilním cílům, nebo ke skrytým cílům. Navigace ke skrytým cílům („place navigation“) vyžaduje komplexní kognitivní procesy s určitou mírou „abstrakce“ a bývá považována za model vyšších kognitivních funkcí u člověka.

[Stuchlík, 2003]

2.4.4.1.2.1.4.4.1. Prostorové učení

Naformátováno: Odrážky a číslování

Volné pole

Volné pole s vyhýbáním se určité oblasti je realizováno např. pomocí rotující kruhové arény. Rozlišují se dva experimentální způsoby testování, a to aktivní a pasivní vyhýbání se místu. Při aktivním vyhýbání se místu se potkan pohybuje v testovací aréně, ve které je v souřadném systému místnosti definován zakázaný sektor a pokud se zvíře v tomto prostoru objeví, je potrestáno elektrickým šokem. Při pasivním vyhýbání se místu je

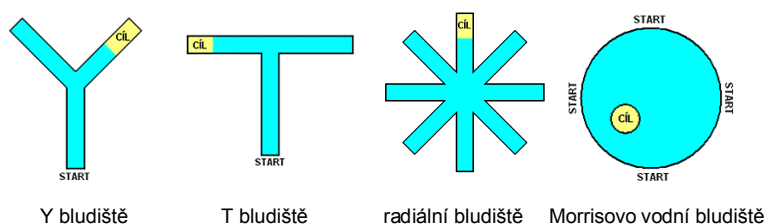
zakázaný sektor definován v souřadném systému arény (pokud je aréna stabilní, je definován ve shodě souřadnicového systému arény i místnosti). [Stuchlík, 2003]

Radiální bludiště

Bylo navrženo v sedmdesátých letech dvacátého století jako standard pro testování prostorové paměti hlodavců za použití vizuálních a dalších sensorických (čichových, hmatových) orientačních bodů, které lze využít k řešení dané úlohy. Bludiště se skládá z centrální kruhové oblasti a několika radiálních ramen. Těchto ramen je nejčastěji osm, ale mohou být čtyři nebo i dvanáct. [Stuchlík, 2003]

T-bludiště, Y-bludiště

Zvláštní typy radiálního bludiště. Y-bludiště se používá většinou pro neprostorové testy jako je diskriminační učení, kdy je jedno rameno startovní a dvě protilehlá jsou cílová.



Obr. č.10 Typy bludišť

[Patofyziologie učení a paměti, Studijní materiály LF UK v Plzni, \[cit 2007-08-26\],
Dostupný z: <http://www.lfp.cuni.cz/patofyziologie/materialy/uceni/uceni.ppt>](#)

Naformátováno: Písmo: 8 b., Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: zarovnání na střed,
Odsazení: Předšazení: 2,49 cm

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Morrisovo vodní bludiště

Protože tato metoda byla použita při experimentech, které tvoří základ této práce, bude nyní rozebrána podrobněji. Tento typ testování prostorové paměti byl poprvé vyzkoušen na počátku osmdesátých let 20. století a dnes patří mezi nejpoužívanějších behaviorální metodiky a někdy bývá označován dokonce jako zlatý standard. Testuje se v něm

především deficit prostorové orientace indukovaný různými mozkovými lézemi, aplikací farmak, krátkodobou hypoxií a jinými experimentálními zásahy. [Morris, 1981]

Morrisovo vodní bludiště je kruhový bazén o průměru 2 metry naplněný obarvenou vodou. Pokusné zvíře má v tomto bludišti za úkol nalézt skrytou podvodní plošinku, jedinou možnou „únikovou cestu“ z bludiště. Startovní pozice se pravidelně mění, aby byla ztížena lokalizace cíle pomocí idiotické orientace. Ostrůvek je skrytý pod hladinou vody, tudíž není pro plovoucí zvíře viditelný. Pokusná zvířata musí určovat polohu ostrůvku podle vzdálených orientačních bodů v okolí bludiště (alotická orientace). [Morris et al, 1982] Pokusy v Morrisově vodním bludišti potvrdily, že testované zvíře je schopno si zapamatovat a velmi rychle analyzovat prostorové vztahy mezi orientačními body v okolí, svojí polohou a polohou únikové plošinky. Tento fakt se označuje jako vytvoření kognitivní mapy prostředí. Orientace podle kognitivní mapy je základním předpokladem pro navigaci ke skrytým (neperceptibilním) cílům. [Morris, 2003]

Pohyb a doba pobytu zvířete v bludišti může být zaznamenávána experimentátorem nebo automatickým zařízením (videokamera propojená s počítačem a zařízením na analýzu obrazu). Jako výstupní data lze získat videozáznam pohybu potkana v bludišti, soubor hodnot souřadnic v jednotlivých časových okamžicích, ze kterých lze pohyb potkana rekonstruovat. [Burešová, et al., 2005] A samozřejmě také sumární hodnoty měřených veličin.

Pro hodnocení se využívá latence (únikový čas) dosažení ostrůvku, délka uplavané dráhy a rychlost plavání. Výsledky mohou být znázorněny v podobě grafické závislosti měřené veličiny (rychlost splnění úkolu, počet chyb, úspěšnost apod.) na opakování pokusu (počet pokusů, délka tréninku apod.). [Wittner, How to experiment..., 2005]

2.2. Popis použitých statistických metod

Statistika je matematická teorie, která se zabývá získáváním, zpracováváním a hodnocením údajů o hromadných jevech a využíváním získaných závěrů k rozhodování. [Na tomto místě budou vysvětleny metody použité pro vyhodnocování dat v této práci.](#)

2.2.1. Historický vývoj

Slovo statistika vzniklo z latinského „status“ = stát, protože původně to bylo označení vědy zabývající se sběrem informací o státu, ekonomice a obyvatelích. První zmínky pocházejí se starověku a vztahují se především k různým sčítáním lidu prováděných v jednotlivých století v říši římské. V průběhu středověku se statistickým šetřením rozumí, mimo počtu obyvatel, pouze soupisy majetku. Na počátku 16 století se v Anglii začíná zaznamenávat soustavně datum narození a úmrtí všech občanů a dochází ke snahám sledovat hospodářské a demografické jevy v delších časových úsecích. V 17. a 18. století dochází k soupisu „nej“ jednotlivých zemí, sledování různých hospodářských ukazatelů a po zavedení pravidelného sčítání lidu i ke sledování demografického vývoje obyvatelstva. [Reiterová, 1998]

Tento typ statistického výzkumu bývá označován jako popisná statistika. V pozmeněné podobě nejrůznějších statistických ročenek přetrvál až do současnosti. S rozvojem matematiky dochází ke vzniku statistiky induktivní, která nepotřebuje výsledky celých souborů, ale pouze výběrové vzorky z celého souboru. Snahou popisné statistiky je přehledně uspořádat nepřehledné množství údajů a provést zjednodušení tam, kde se nesníží vypovídající schopnost. Cílem bylo tedy zjistit každý jednotlivý detail. Proti tomu je snahou induktivní statistiky, pomocí vhodných metod, tvořit závěry o celku na základě výběru a dílčích šetření. [Reiterová, 1998]

Jako nástroj vědy má statistika základ v teoretických pracích matematiků 18. a 19. století. Byli to především Pierre Simon Laplace, Siméon Denis Poisson a Carl Friedrich Gauss. Počátek moderní statistiky je spjat s Francoisem Galtonem (1822-1911), který formuloval koncept normálního rozdělení. Následovníky byli Karl Pearson (1859-1936), který definoval pojem „dobré shody“, a William Sealey Gosset („Student“, 1876-1937), který vyvinul neparametrickou statistiku pro situaci, kdy nelze předpokládat normální rozdělení. Velký význam pro vývoj statistiky má Ronald Aylmer Fisher (1880-1962), který sám nebo spolu s jinými vytvořil mnoho metod statistického usuzování (statistické testy a odhady, analýza rozptylu). V první polovině 20. století se tedy rozvíjí především metody a prostředky statistické analýzy. V padesátých letech 20. století se rozvíjejí matematické aspekty těchto metod. V osmdesátých a devadesátých letech se v návaznosti na Johna Tukeye rozvíjí metody explorační a dobývání znalostí z dat. [Hendl, 2006]

Mezi významné české statistiky druhé poloviny 20. století lze zařadit Jaroslava Hájka, Zbyňka Šidáka, Jiřího Anděla, Tomáše Havránka a Petra Hájka.

V současnosti lze všechny data z experimentů zpracovávat pomocí počítačů a specializovaných statistických programů (SPSS, Statistica, NCSS, Matlab), což přineslo

zefektivnění práce a rozvoj výpočetně náročných metod, které byly do té doby pouze na teoretické úrovni.

2.2.2. Základní popisné statistiky

Slouží pro hodnocení souboru objektů, u kterých byly změřeny hodnoty nějaké veličiny. Takto vznikají jednorozměrná data. Pokud je zjišťováno a měřeno více veličin, například dvě, jedná se o data dvourozměrná, obecně pak o data vícerozměrná. Tyto veličiny lze chápat izolovaně (každou zvlášť) nebo ve vzájemných vztazích (vícerozměrné statistické metody). V této části budou veličiny chápány izolovaně.

Získaná data jednotlivých veličin mohou být různých typů. Jde o data číselná (umožňují provádět aritmetické operace), data ordinální (jde o míru přítomnosti nějaké vlastnosti) a data kategoriální (mohou být také kódovány čísly, ale jejich uspořádání nemá smysl). Data, která jsou změřena, je třeba pro statistické hodnocení upravit – uspořádat. K tomuto uspořádání jsou používány míry polohy a míry variability. [Havránek, 1993]

2.2.2.1. Míry polohy

Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné, popř. řeckým písmenem μ . Definice

aritmetického průměru je: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, tzn. součet všech hodnot vydělený jejich počtem.

Charakterizuje polohu (střed výběru) na škále měření. Neměl by být používán pro ordinální veličiny vzhledem k libovůli při tvorbě ordinální stupnice. [Zvárová, 1998]

Medián

Medián je hodnota, jež dělí řadu výsledků seřazených podle velikosti na dvě stejně početné poloviny. Ve statistice patří (stejně jako aritmetický průměr) mezi míry centrální tendence. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Pro nalezení mediánu daného souboru stačí hodnoty seřadit podle

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Úroveň 3, Víceúrovňové + Úroveň: 3 + Styl číslování: 1, 2, 3, ... + Začít od: 1 + Zarovnání: Vlevo + Zarovnat na: 1,27 cm + Tabulátor za: 2,54 cm + Odsadit na: 2,16 cm

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

velikosti a vzít hodnotu, která se nalézá uprostřed seznamu. Pokud má soubor sudý počet prvků, potom je Me jakékoli číslo z intervalu $(x_{n/2}, x_{n/2+1})$.

Jednoznačněji $Me = 0,5(x_{n/2} + x_{n/2+1})$. Je-li n liché číslo, pak $Me = x_{(n+1)/2}$.

Vhodné pro použití mediánu jsou data, kde se pro uspořádání výběru používá pořadí dat, tj. u kvantitativních a ordinálních veličin. [Zvárová, 1998]

2.2.2.2. Míry variability

Slouží k doplnění znalostí o variabilitě naměřených dat, protože míry polohy o ní nic nevyovídají.

Minimum, resp. maximum

Nejnižší, resp. nejvyšší hodnota numerické proměnné.

Variační rozpětí

Jde o rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou číselné proměnné $R = x_{\max} - x_{\min}$.

Rozptyl

Ukazuje rozptýlenost dat kolem průměru, protože jsou-li data daleko od průměru je jejich variabilita velká. Naopak jsou-li data soustředěná blízko průměru, je jejich variabilita malá. Je definován jako průměrná kvadratická odchylka měření od aritmetického průměru. Přičemž dělíme číslem $(n-1)$ a jedná se tak o **výběrový rozptyl**:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Dělitel $(n-1)$ se používá místo dělitele n z důvodu lepšího odhadu celkového rozptylu populace. Nazývá se pak **počet stupňů volnosti (SV)** a udává počet sčítanců (tj. počet vzorků ve výběru zmenšený o jedna). [Zvárová, 1998]

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je odmocninou z rozptylu. Ukazuje, jak jsou data rozptýlena okolo průměru, je-li průměr vhodnou mírou střední hodnoty. Je silně ovlivněna extrémními hodnotami. Při normálním rozložení veličiny leží 68% hodnot v jedné směrodatné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

Naformátováno: Zarovnat do bloku,
Odsazení: Vlevo: 0 cm, Řádkování: 1,5
řádku

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Naformátováno: Zarovnat do bloku,
Odsazení: Vlevo: 0 cm, Řádkování: 1,5
řádku

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Odsazení: Vlevo: 0
cm, Řádkování: 1,5 řádku

Naformátováno: Zarovnat do bloku,
Odsazení: Vlevo: 0 cm, Řádkování: 1,5
řádku

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

odchylce průměru a 95% všech hodnot ve dvojnásobku (přesněji v 1,96-ti násobku) směrodatných odchylek. Směrodatná odchylka neposkytuje dobrou informaci o rozptýlenosti, jestliže je rozdělení dat silně zešikmené.

Pokud je při výpočtu hodnoty rozptylu použit dělitel $(n-1)$, což je počet stupňů volnosti, jedná se potom o **výběrovou směrodatnou odchylku** (někdy nazývaná též jako standardní odchylka). [Havránek, 1993]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Směrodatná chyba průměru

Někdy značená zkratkou SEM (Standard Error of the Mean). Je vyjádřením variability průměrů v opakovaných výběrech téže velikosti z téhož základního souboru. Výběrová rozdělení statistik jsou teoretická pravděpodobnostní rozdělení, která popisují vztah mezi výběrovou statistikou a populací. Směrodatná odchylka výběrového rozdělení statistiky (odhadu parametru) se nazývá směrodatná chyba. Odhaduje náhodnou výběrovou chybu vypočítané statistiky (odhadu parametru). Jak roste velikost výběru, výběrová chyba a směrodatná chyba se zmenšují. Směrodatná chyba se používá k získání intervalového odhadu parametrů i k testování hypotéz o parametrech rozdělení. [Meloun a Militký, 2002] Standardní odchylka charakterizuje rozptýlenost měřené veličiny, směrodatná chyba průměru pak charakterizuje přesnost našeho odhadu střední hodnoty. [Havránek, 1993]

2.2.3. Testování statistických hypotéz

Při potvrzování platnosti teoretických tvrzení nelze nikdy jejich pravdivost s konečnou platností potvrdit. Tato tvrzení lze pouze akceptovat (prohlásit za pravdivá), jsou-li pro to dostatečné důvody, které jsou většinou pouze subjektivní. Úkolem statistického testování je tyto důvody objektivizovat. Na základě naměřených dat lze pak rozhodnout, že dané observační (výběrové) tvrzení platí s určitou pravděpodobností. [Havránek, 1993]

Intervaly spolehlivosti

Pokud jsou experimentální měření prováděna na nějaké skupině, je tato skupina obvykle pokládána za výběr mnohem větší populace. Odhad tohoto výběru je ovlivněn náhodnými výkyvy a chybami, které při měření vzniknou. Skutečná hodnota výsledku proto leží

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Barva písma: Vlastní barva(RGB(0;102;153)), Snižené o 13 b.

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

v určitém intervalu hodnot, který se nazývá interval spolehlivosti. Hodnoty v tomto intervalu ovšem leží pouze s určitou pravděpodobností, která závisí na rozptylu hodnot.

Intervalový odhad průměru lze určit ze znalosti rozsahu náhodného výběru, výběrového průměru a znalosti směrodatné odchylky. Populační průměr pak bude s 95% pravděpodobností ležet v intervalu s krajními body:

$$\bar{x} \pm 1,96 * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Tento interval se nazývá interval spolehlivosti pro průměr (platí pouze pro $n > 30$). Hodnota 1,96 je kritická hodnota standardizovaného rozdělení pro koeficient spolehlivosti $P = 0,95$, tj. pro hladinu významnosti $\alpha = (1-P) = 0,05$. Hladiny významnosti (popis termínu dále) používané ve statistice jsou $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ a $\alpha = 0,001$. Nikdy ovšem více než $\alpha = 0,1$. [Zvárová, 1998]

Statistika (f)

Jako testovací statistika (značí se jako f) se nazývá výběrový prostor (množina všech dat, která se při měření mohou vyskytnout) z množiny reálných čísel. Observační (výběrová) tvrzení jsou přijímány jako platná je-li $f \geq K$, kde K je kritická hodnota pro danou apriorní hladinu významnosti α (tyto hodnoty jsou tabelovány). [Havránek, 1993]

Statistická hypotéza je předpoklad o rozdělení pravděpodobnosti jedné nebo více náhodných veličin. Testem statistické hypotézy se rozumí objektivní rozhodnutí o přijetí tzv. nulové nebo alternativní hypotézy. Jako nulová hypotéza H_0 se označuje tvrzení, že číselná hodnota odpovídající porovnání souborů (efekt) je nulová. Bývá většinou opakem toho co se experiment snaží prokázat. Alternativní hypotéza H_A je tvrzení, kdy efekt srovnání není nulový. Je přijata když je zamítnuta hypotéza nulová.

Pro testování nulové hypotézy je užíváno testovací statistiky. Je-li hodnota této statistiky v oboru přijetí, pak se nulová hypotéza nezamítá. Překročí-li však hodnota statistiky kritickou hodnotu, pak je nulová hypotéza zamítnuta. Pravděpodobnost, že statistika padne mylně do kritického oboru, odpovídá hladině významnosti α . Kritický obor lze vymezit jako jednostranný či oboustranný (hladina α je pak na dvě části o velikosti $\alpha/2$). [Meloun a Militký, 2004]

Hladina významnosti α je pravděpodobnost zamítnutí nulové hypotézy, ačkoli tato platí. Tato hladina odpovídá „míře ochoty“ výzkumníka smířit se s výskytem této chyby. Tato hladina se tedy volí co nejmenší (viz výše), jedná se ale o určitý kompromis, neboť

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Snížené o 5 b.

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Times New Roman

Naformátováno: dolní index

s rostoucí hladinou významnosti dostáváme méně a méně přesný interval spolehlivosti.

[Hendl, 2006]

Dosažená hladina významnosti (hodnota významnosti) (p) je pravděpodobnost, že pro testovaná data platí nulová hypotéza. Pokud je dosažená hladina (hodnota) významnosti menší než zvolená hladina významnosti, tj. že platí: $p \leq \alpha$, pak lze nulovou hypotézu zamítnout a prohlásit výsledek za statisticky významný. Je-li $p > \alpha$ pak je nulová hypotéza ponechána k dalšímu zkoumání. [Hendl, 2006]

2.2.1.1.2.2.3.1. Test shody středních hodnot (test shodnosti)

Tímto testováním se rozhoduje o rozdílnosti středních hodnot dvou výběrů. Jako nulová hypotéza H_0 se bere situace $\mu_1 = \mu_2$, jako alternativní hypotéza H_A pak $\mu_1 \neq \mu_2$.

Testovací statistika je: $T = \frac{(\mu_1 - \mu_2) - 0}{\sigma_d}$, kde 0 je očekávaný rozdíl průměrů při platnosti H_0 .

σ_d je pak odhad směrodatné chyby rozdílu výběrových průměrů. Pokud ale není známá směrodatná odchylka obou skupin, je nutno ji odhadnout.

Odhad se získá ze vztahu $s_d = s \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ kde s je sdružený odhad směrodatné odchylky

a n_1 a n_2 jsou velikosti výběrů. Testová statistika má pak $n_1 + n_2 - 2$ stupňů volnosti a je pak:

$$T = \frac{(\mu_1 - \mu_2) - 0}{s_d}$$

Alternativní hypotéza se přijímá, překročí-li T kritickou hodnotu pro danou hladinu statistické významnosti. Tento test je pak nazýván dvouvýběrový Studentův test (dvouvýběrový t -test). [Zvárová, 1998] [Havránek, 1993]

Vztah pro odhad směrodatné odchylky a výpočet stupňů volnosti platí pouze jedná-li o dva výběry se stejným rozptylem. Pokud mají tyto výběry rozptyl nestejný, pak se odhad

směrodatné odchylky spočte jako $s_d = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$, kde s_1^2 a s_2^2 jsou rozptyly vypočítané

v obou skupinách měření a n_1 a n_2 jsou velikosti výběrů. [Anděl, 1985]

Počet stupňů volnosti se pak spočte pouze přibližně jako:

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: Tučné, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Snížené o 5 b.

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Kurzíva, dolní index

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Kurzíva, dolní index

Naformátováno: Snížené o 5 b.

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Snížené o 16 b.

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

Naformátováno: dolní index

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

Naformátováno: dolní index

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: Tučné, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: dolní index

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

Naformátováno: dolní index

Naformátováno: Písmo: není Kurzíva

$$stup.v. = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}}$$

2.2.2.2.2.4. Analýza rozptylu (ANOVA - ANalysis Of VAriance)

Metodu analýzy rozptylu navrhl britský statistik, genetik a evoluční biolog R.A. Fisher. Umožňuje testovat shodnost středních hodnot tří nebo více souborů a zároveň umožňuje simultánní analýzu vlivu jednoho či více (nominálních) faktorů na danou proměnnou – různé úrovně daného faktoru se nazývají hladiny. [Fisher, 1925]

Analýza rozptylu je metodou matematické statistiky, která umožňuje ověřit, zda na hodnotu náhodné veličiny pro určitého jedince má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, který u jedince lze pozorovat. Tento znak musí nabývat jen konečného počtu možných hodnot (nejméně dvou) a slouží k rozdělení jedinců do vzájemně porovnávaných skupin. Kvantitativní hodnota znaku přitom nemá povahu míry. Je-li třeba vzít v úvahu i konkrétní kvantitativní hodnotu jako míru určitého znaku, použije se místo analýzy rozptylu lineární model. [Havránek, 1993]

Analýza rozptylu je založena na porovnávání dvojic modelů. Jeden model je složitější a předpokládá, že statisticky významný vliv má víc znaků, druhý model je jednodušší a předpokládá, že statisticky významný vliv má méně znaků nebo žádný. Pro každý model se rozdělí jedinci do skupin podle významných znaků, v každé skupině se odhadne střední hodnota a potom se sečtou druhé mocniny odchylek náhodných veličin od střední hodnoty. Čím méně parametrů, tím méně skupin a tím větší odchylky od středních hodnot. Pomocí speciální varianty F testu se pak zjistí, zda se součty odchylek pro různé modely od sebe liší natolik, že není možné oba modely prohlásit za rovnocenné. V takovém případě by se zamítl model s větším součtem odchylek. Pokud se součty odchylek významně neliší, je možné přijmout jednodušší model, tedy lze přijmout předpoklad, že na určitém znaku nezáleží. [Meloun a Militký, 2002]

2.2.2.1-2.2.4.1. Jednofaktorová analýza rozptylu

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Times New Roman, není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

Slouží k porovnávání výběrů, kde hodnota měřené (závislé) veličiny závisí na jednom faktoru. Při analýze rozptylu se porovnává variabilita uvnitř skupin a variabilita mezi skupinami. Toto porovnání se provádí pomocí **F-testu**. Při něm nulová hypotéza H_0 říká, že všechny střední hodnoty jsou stejné, a alternativní hypotéza H_a pak to, že alespoň jedna střední hodnota se odlišuje od ostatních. Výsledek je pak platný na dosažené hladině významnosti p . [Meloun a Militký, 2004]

Celková variabilita dat se určí ze součtu čtverců (SČ) tak, že od každé změřené hodnoty souboru se odečte celkový průměr, výsledky se umocní na druhou a sečtou se. Dělí se na součet čtverců pro variabilitu mezi skupinami S_A a reziduální součet čtverců S_E . Míru variability pro jednotlivé zdroje jsou průměrné čtverce (PČ), které jsou podílem součtu čtverců a odpovídajících stupňů volnosti (SV).

Výsledná statistika F je pak dána:

$$F = \frac{P\check{C}_{\text{mezi skupinami}}}{P\check{C}_{\text{uvnitř skupin}}} = \frac{\frac{S_A}{SV_{(\text{pocet skupin}-1)}}}{\frac{S_E}{SV_{(\text{pocet pozorování}-\text{pocet skupin})}}}$$

Stupně volnosti (SV) pro součet čtverců mezi skupinami jsou $SV_{\text{meziskupinový}} = m - 1$ a pro součet čtverců uvnitř skupin pak $SV_{\text{vnitroskupinový}} = n - m$, kde m je počet skupin a n je počet pozorování. Platí pak, že výsledná statistika **F** má příslušné stupně volnosti ($m-1, n-m$).

Analýza rozptylu ukáže pouze shodnost nebo rozdílnost průměrů. Pro zjištění toho, které průměry a jak se liší, je nutné použít některou z metod mnohonásobného porovnávání. [Meloun a Militký, 2002]

2.2.2.2.2.4.2. **Vícefaktorová analýza rozptylu**

Při vícefaktorové analýze se provádí experimenty na různých úrovních několika faktorů. Kombinace úrovní faktorů se nejlépe zobrazuje ve struktuře mřížky, kde každá kombinace faktorů tvoří tzv. celu. V každé cele je tolik hodnot pozorování, kolik odpovídá počtu měření pro danou kombinaci faktorů (v minimálním případě je v každé cele pouze jedna hodnota – případ bez opakování). Při analýze jsou provedeny testy významnosti stejně jako při jednofaktorové analýze, tentokrát jsou ovšem spočteny i **interakce** (říkají, že současný vliv faktorů je silnější než aditivní) jednotlivých faktorů. [Meloun a Militký, 2002]

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Naformátováno: Písmo: Kurzíva

Naformátováno: dolní index

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Wilksovo lambda rozdělení (pojmenováno po Samuelu S. Wilksovi) je ve statistice používáno při mnohorozměrovém testování hypotéz, především pak u mnohorozměrové analýzy rozptylu. Jako testovací statistika je používán **Wilksův test** (někdy bývá výsledná hodnota této testovací statistiky označována jako **Wilksovo lambda** (λ)). Jde o zobecnění F -testu používaného v jednorozměrných úlohách. Zjišťuje se poměr determinantů singulární matice E a matice celkové variability T (ta je součtem matice vnitroskupinové variability W a matice meziskupinové variability B). Ve prospěch vlivu testovaných faktorů hovoří nízká hodnota tohoto poměru. [Blatná, 2004]

Naformátováno: Písmo: není Tučné

Reziduum se spočítá jako rozdílu mezi hodnotou naměřenou a předpovídanou.

Předpovídaná hodnota pro pozorování z i -té skupiny je průměr i -té skupiny $\hat{\mu}_i = \hat{\mu} + \hat{\alpha}_i$,

kde $\hat{\mu}$ je celkový průměr a $\hat{\alpha}_i$ jsou odhady skupinových efektů (toho, jak se každý průměr liší od celkového průměru). Pro ověření předpokladů testovaného modelu je třeba sestavit normální graf reziduí (graf hodnot reziduí proti očekávaným hodnotám). V případě, že rezidua mají normální rozdělení, pak by měl normální graf tvořit přímku. Dále je třeba sestavit graf předpovídaných hodnot proti reziduí, který by měl ukazovat „náhodnost“ v tom smyslu, že nebude vidět závislost mezi veličinami (hodnoty v grafu budou náhodně rozmístěny kolem vodorovné osy). Přítomnost velkých odchylek od těchto předpokladů vede k nutnosti transformace dat nebo k použití neparametrických testů. [Anděl, 2003]

2.2.5. Grafické znázornění výsledků

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Graf

Jde o přepsání číselných údajů do soustavy geometrických obrazců. Jejich smysl je dán použitím vhodných souřadnic, stupnic a grafické sítě. Na každé stupnici jsou vyznačeny kóty, ke kterým jsou přiřazena čísla. Vzdálenost mezi dvěma kótami se nazývá grafický interval, vzdálenost mezi dvěma čísly je pak nazýván číselný interval. Stupnice může být, buď rovnoměrná (stejnému číselnému intervalu odpovídá stejný číselný interval na libovolném místě stupnice), nebo nerovnoměrná (stejným číselným intervalům odpovídají nestejně grafické intervaly – například logaritmická stupnice). Souřadný systém může být, buď pravouhlý (kartézský), nebo lze užít i souřadnic polárních (úhlových), cylindrických (válcových), sférických (kulových). Použitými grafy jsou v této práci bodový, spojnicový a

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

krabicový. **Bodový graf** se používá pro znázornění souvislostí dvou znaků, změřené hodnoty jsou zobrazeny pomocí bodů v příslušném souřadném systému. **Spojnicový graf** slouží k vyjádření průběhu časové řady nebo nějaké jiné spojité veličiny. **Krabicový graf** znázorňuje většinou medián, kvartilové rozpětí, nejmenší a největší hodnoty, případně odlehle hodnoty. V této práci ovšem krabicový graf zobrazuje jiné charakteristiky. Obdélník vymezuje směrodatnou chybu, čtvereček uvnitř je aritmetický průměr a konce svorek vyznačují hodnoty směrodatné odchylky. [Zvárová, 1998]

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: Tučné

Naformátováno: Písmo: není Tučné

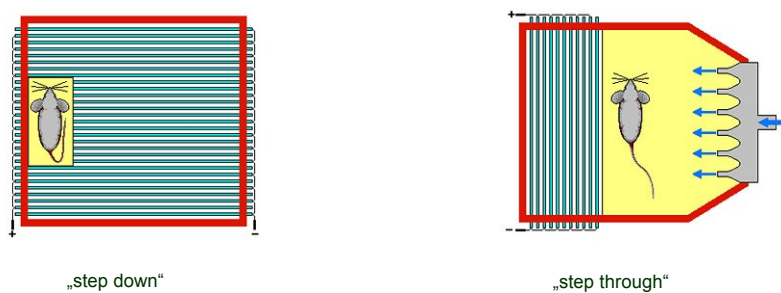
Pasivní avoidance

Metoda pasivního vyhýbání je založena na předpokladu, že pokud je nějaká biologicky pravděpodobná či spontánní reakce zvířete ukončena nepříjemným negativním stimulem, zvíře bude mít tendenci tuto reakci potlačit. Latence této reakce, která se s postupujícím tréninkem zvyšuje, odráží sílu paměťové stopy.

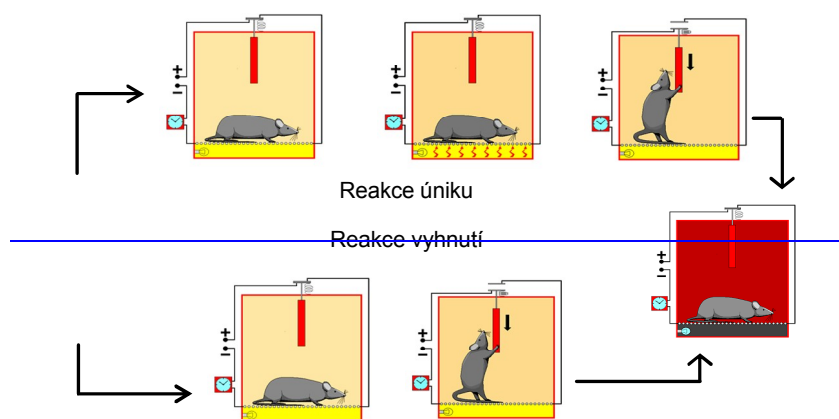
Rozlišují se dva základní typy provedení. Při metodě „step down“ je zvíře umístěno na malou izolovanou lavičku, kterou dříve či později opustí a sestoupí na drátěnou podlahu s elektrickým napětím. Bolestivá stimulace donutí zvíře vrátit se na lavičku. Pokus se opakuje. Testuje se míra schopnosti učení. Tou je zkrácení času, po kterém se zvíře trvale usadí na lavičce. V ideálním případě naučené zvíře lavičku vůbec neopustí. Při metodě „step through“ je testované zvíře vystaveno proudu studeného vzduchu, kterému se vyhne vstupem na mřížku s elektrickým napětím. Elektrický podnět je nepříjemnější než proud vzduchu, proto se zvíře vrátí na izolovanou podlahu. Při opakování pokusu naučené zvíře zůstává na izolované části podlahy.

Aktivní avoidance

Úloha aktivního vyhýbání vyžaduje po testovaném zvířeti, aby vykonalo specifickou činnost, např. pohyb, s cílem vyhnout se potrestání. Bolestivým podnětem je elektrický proud v kovové podlázce. Tomuto podnětu předchází podmíněný podnět, kterým je světlo. Také u této experimentální úlohy existují dva základní způsoby provedení. Reakce úniku (escape), kdy k vypnutí elektrického proudu dojde až po zahájení bolestivé stimulace. Při reakce vyhnutí (avoidance) dojde k vypnutí elektrického proudu zatažením za páku ještě před zahájením bolestivé stimulace (v intervalu mezi rozsvícením a zapnutím proudu). Mírou schopnosti učení je počet opakování pokusu nutných k vypracování reakce vyhnutí.



Obr. 8. 11 Pasivní avoidance



Obr. 8. 11 Aktivní avoidance

3. Materiál a metody

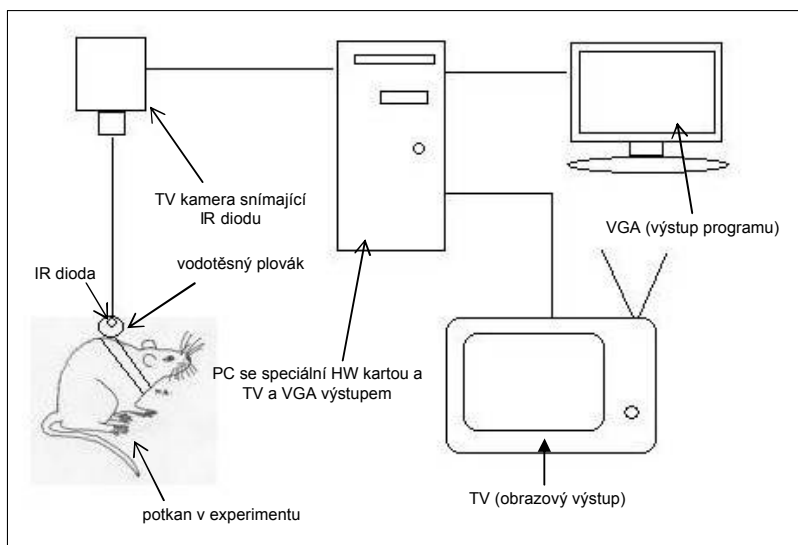
Laboratoř kognitivní psychologie

Měření probíhalo v Laboratoři kognitivní psychologie Fyziologického ústavu 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. V laboratoři byl k dispozici systém pro automatickou počítačovou registraci pohybu potkana v Morrisově vodním bludišti.

Experimentální zvířata

Jako experimentální zvířata byli v experimentu použiti samci laboratorních potkanů (*Rattus norvegicus*) kmenu Wistar ve věku 30, 60, 90 dní a 1 rok. Potkani byli získáni z firmy Biotest s.r.o. a z vlastního chovu Fyziologického ústavu 1. LF UK.

3.1. Systém pro zaznamenávání pohybu potkana



Obr. č. 121 Systém pro snímání a zaznamenávání pohybu potkana

[TÚMA, Michal, 2007.](#)

TV Kamera

snímací frekvence 12,5 Hz

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Kamera umožňovala snímání normálního televizního obrazu, jeho zobrazení na TV obrazovce a současně umožňovala snímat optický signál z IR diody, kdy pomocí hardwarové zásuvné karty šlo signál zobrazovat na monitoru PC a dále jej zpracovávat.

Standardní IBM PC

Software **MWMW!**

~~(Morris Water Maze recording and analysis system)~~ **pro záznam a analýzu testů v Morrisově vodním bludišti (MWM)**

Autor: Julij Kaminskij

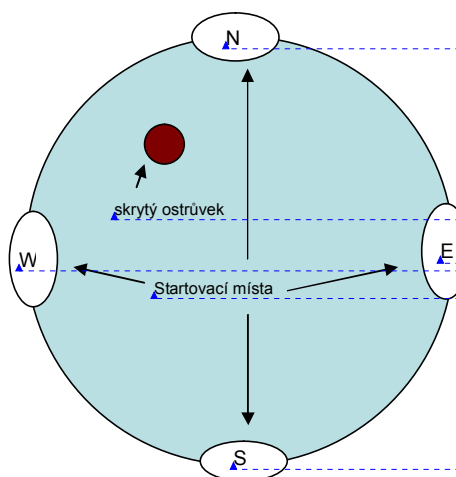
Umožňuje měřit a zobrazovat dráhu potkana a dobu, kterou potkan potřebuje pro dosažení cíle v Morrisově vodním bludišti. To program rozdělí zavedením souřadného systému na jednotlivé sektory (sektorů může být maximálně tolik, kolik odpovídá rozlišení snímače kamery – počtu pixelů snímače). V závislosti na snímací frekvenci kamery jsou ukládány souřadnice, ve kterých je potkan rozpoznán. Po dosažení cíle je měření ukončeno. V programu lze nastavit maximální dobu, po kterou se bude měřit, když potkan nedosáhne cíle. Lze definovat pozice a posloupnost startovacích míst a počet jejich opakování. Program ukládá výsledky měření jako sekvenci souřadnic v jednotlivých okamžicích snímání do jednoduchého textového souboru. Program umožňuje vytvářet tabulkové souhrny výsledků a lze takto získat doby trvání jednotlivých plaveb, uraženou dráhu a počet pixelů, kterými potkan během měření prošel.

3.2. Morrisovo vodní bludiště

Morrisovo vodní bludiště bylo realizováno pomocí kruhového bazénu o průměru 1,8 m a výšce 50 cm. Hladina byla ve výšce 40 cm ode dna. Bazén byl naplněn nezabarvenou vodou o teplotě 21-22 °C. Cíl byl realizován pomocí transparentního ostrůvku o průměru 10 cm, který byl umístěn 1 cm pod hladinou a byl umístěn asymetricky od středu bludiště v jeho severozápadním kvadrantu a jeho pozice byla konstantní. Bludiště bylo subjektivně orientováno pomocí světových stran (sever, jih, východ, západ) a tyto pozice byly používány jako startovací místa plaveb potkanů. V programu MWM byly nastaveny velikosti těchto startovacích oblastí a při umístění potkana do tohoto pole program automaticky započal měření. [Wittner, Transient Hypobaric..., 2005]

3.3. Hypobarická komora

Jde o zařízení sloužící ke studiu vlivu změn tlaku atmosférického kyslíku na rozvoj patologických stavů (plicní hypertenze) a na studium odolnosti organismu vůči sníženému množství kyslíku. Hypobarická komora, která byla na Fyziologickém ústavu během experimentu k dispozici, pracovala na principu kontinuálního snižování tlaku vzduchu v komoře, čímž se měnil i parciální tlak atmosférického kyslíku. Jedná se pak o hypobarickou hypoxii, kdy je tlak kyslíku určován pomocí výškoměru, který snímá tlak vzduchu v komoře a převádí jej na odpovídající nadmořskou výšku. Z její znalosti pak můžeme tlak kyslíku následně určit. Snížený tlak v komoře je dosažen a následně udržován pomocí soustavy vývěv, vnitřek komory může být také vyhříván a osvětlen.



Naformátováno: Písmo: 9 b.

Naformátováno: Písmo: 7,5 b.

Naformátováno: Písmo: 9 b.

Naformátováno: Písmo: 9 b.

Naformátováno: Písmo: 7,5 b.

Naformátováno: Písmo: 9 b.

Obr. č. 123 Morrisovo ~~Morrisovo~~ vodní bludiště – faktické a schematické uspořádání

Foto: TŮMA, Michal, Fyziologický ústav JLE UK, Laboratoř uspořádání kognitivní psychologie, 2007.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

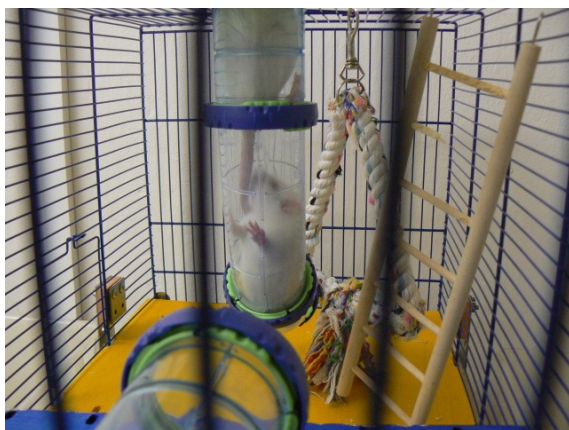
Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

3.4. Obohacené prostředí

Jednou z experimentálních otázek byl vliv obohaceného prostředí potkanů na jejich kognitivní schopnosti. Pojem obohacené prostředí se rozumí prostředí, které potkanům nabízí vícenásobné stimulující podněty. Na rozdíl od běžného chovu jsou potkani drženi společně ve větších skupinových klecích, ve kterých je k jejich stimulaci použito různých hraček (míčky, houpačky, zvukově stimulující hračky). Dále mají možnost využít úkrytů a celkové uspořádání jejich obydlí je motivuje k motorické aktivitě (několik úrovní

spojených mezi sebou žebříky, tunely a můstky). Podle dosavadních zkušeností by obohacené prostředí mělo mít velikost alespoň čtyřnásobku jejich ~~pro chov obydlí~~ standardně používaných ~~obydlí pro chov~~.



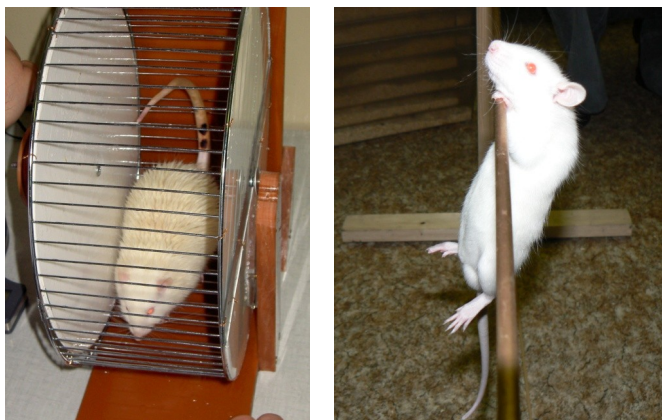
Obr. č.143 Obohacené životní prostředí

[Foto: TŮMA, Michal, Fyziologický ústav 1.LF UK, Laboratoř kognitivní psychologie, 2007.](#)

3.5. Motorický trénink

Další součástí obohaceného životního prostředí je pohybový trénink potkanů. Tento motorický trénink byl realizován pomocí rotátoru, ve kterém byl potkan nucen se pohybovat. Rotátor se pohyboval nastavitelnou rychlostí 4, 5 nebo 6 otáček za minutu. Každý experimentální den strávil každý potkan chovaný v obohaceném prostředí v rotátoru dobu pěti minut.

Klece pro chov potkanů v obohaceném prostředí a rotátor pro motorický trénink zkonstruoval pan Karel Kypta z Fyziologického ústavu 1. LF UK.



Obr. č. 154 Konstrukce rotátoru pro motorický trénink a hrazdy

[Foto: TŮMA, Michal, Fyziologický ústav 1.LF UK, Laboratoř kognitivní psychologie, 2007.](#)

3.6. Hrazda

Jednoduchou metodou, která rozšířila experimentální testování potkanů, byla varianta základního testu [rovnováhy na hrazdě \(beam balance test\)](#). Tento test spočívá ve sledování doby, po kterou je zvíře schopno udržet se na úzké plošině, a zda je schopno opětovným konfrontováním se stejnou situací svoje výkony zlepšit. Hrazda byla měla průměr 1,5 cm, délku 1 metr a umístěna byla ve výšce 0,5 metru.

3.7. Anestezie

3.7. Morfologické zobrazování

Naformátováno: Odrážky a číslování

~~Ve spolupráci se Společným pracovištěm biomedicínského inženýrství ČVUT a UK byla potkanům po prvním a posledním experimentálním dni provedeno zobrazení jadernou magnetickou rezonancí (NMRI) s cílem zachytit morfologické změny, které by byly způsobeny vlivem hypobarické hypoxie. Pro vlastní zobrazení byl použit experimentální model nukleární magnetické rezonance s otevřenými protokoly, SISCO85/310. Tato měření prováděl na daném pracovišti Ing. Lubomír Vojtíšek.~~

Anestezie

~~Při zobrazování~~ V průběhu experimentu bylo do prvního dne experimentálně zařazeno zobrazování jadernou magnetickou rezonancí NMR. V průběhu tohoto měření bylo nezbytné potkany na delší dobu znehybnit, čehož bylo dosaženo pomocí anestezie. Použitou anesteziologickou látkou byl Thiopental v dávce 50 mg/kg podávaný intra peritoneálně. Kontrolní skupina, která měření nepodstoupila, dostala intra peritoneálně stejné množství fyziologického roztoku. Z důvodu špatného rozlišení NMR snímků bylo měření nehodnotitelné a proto výsledky neuvádím. Vliv použití anestezie jsem hodnotil z důvodu, zda její podání neovlivní výsledky tréninku a zda je tedy možné, pro případné využití některé zobrazovací metody, použít anestetika pro znehybnění potkanů.

3.7.3.8. Průběh experimentu

Potkani byli nejméně tři dny před začátkem experimentu přeneseni ze zvěřince Fyziologické ústavu do Laboratoře kognitivní psychologie, aby se adaptovali na změněné prostředí. Byli ponecháni ve svých původních klecích, aby byli vystaveni co možná nejmenšímu stresu.

Následující design experimentu platí pro měření prováděná na 30-ti denních potkanech ve dnech 5.3. 2007 – 8.3. 2007 a 17.4. 2007 – 20.4. 2007.

Experimentální den č.1 (značen jako Session 1)

Hypoxie

Před začátkem experimentu byla zvířata označena jednoznačným identifikátorem a rozdělena do jednotlivých experimentálních skupin dle předem určeného klíče.

Část potkanů byla po dobu 60 minut vystavena hypobarické hypoxii odpovídající podtlaku buď 310 hPa nebo 270 hPa. Tyto tlaky odpovídají nadmořským výškám 9000 a 10000 mm/60m (skupiny označeny jako 9000 mm/60m a 10000 mm/60m). Doby počátečního poklesu a konečného vzestupu tlaku byly 15 a 17 minut a podtlak, kterému byli potkani při experimentu vystaven, odpovídal příslušným nadmořským výškám. Rychlost vzestupu nadmořské výšky byla 580 metrů za minutu. Kontrolní skupina potkanů, kteří nebyli vystaveni hypoxii (označení Sham hypoxie), byla také umístěna do komory, ve které strávili při normálním atmosférickém tlaku stejnou dobu jako skupina potkanů vystavená hypoxii. Všichni potkani byli drženi v komoře ve svých klecích.

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Times New Roman

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Times New Roman

Morrisovo vodní bludiště

Ihned po ukončení hypoxického působení byl započat trénink v Morrisově vodním bludišti. Potkan byl umístěn tváří ke stěně do příslušné startovací oblasti. Byla měřena doba, kterou potkan potřeboval pro dosažení ostrůvku (označovaná jako únikový čas). Po jeho dosažení byl potkan umístěn do dalšího startovního pole. Pokud potkan ostrůvek do 60 sekund nenašel, byl na něj experimentátorem naveden a ponechán na něm po dobu 15 sekund. Každý tréninkový den potkana se skládal z osmi plaveb.

Hrazda

Po skončení tréninku v Morrisově bludišti byl potkanům ponechán jistý čas (asi 10 minut) na odpočinek a poté se podrobili testu jejich schopnosti setrvat na hrazdě. Po jejich umístění na hrazdu byla měřena doba jejich setrvání na ní, po úspěšných 60 sekundách byli potkani umístěni zpátky do klece a 60 sekund odpočívali. Poté se test opakoval. Každý experimentální den proběhla tři opakování.

Motorický trénink

Potkani chovaní v obohaceném prostředí byli každý den vystaveni motorickému tréninku. Byli nuceni se po dobu 5 minut pohybovat v rotátoru, jehož rychlost byla 5 otáček za minutu. Potkani, kteří byli chováni ve standardních klecích, se motorického tréninku neúčastnili.

Po ukončení měření bylo potkanům aplikováno příslušné anestetikum nebo fyziologický roztok a vybraní jedinci podstoupili vyšetření NMR. Po skončení měření byli potkani umístěni zpět do svých obydlí.

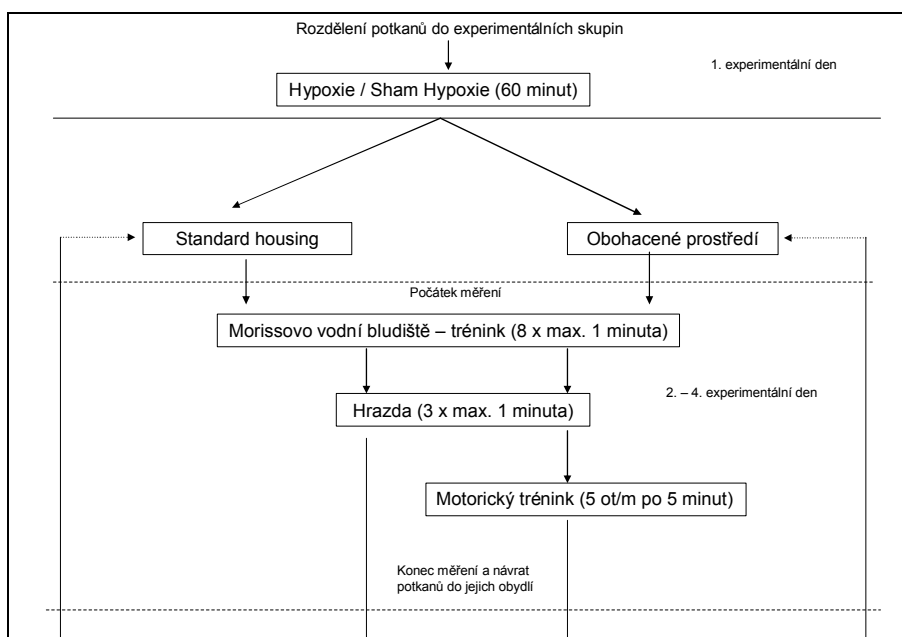
NMRI

~~První experimentální den podstoupili vybraní potkani vyšetření hlavy jadernou magnetickou rezonancí. Tito potkani dostali jako anestetikum Thiopental. Ke zjištění případného vlivu anestetika na kognitivní schopnosti potkanů byla vytvořena skupina, které toto anestetikum bylo také podáno, a kontrolní skupina, které bylo podáno stejné množství fyziologického roztoku.~~

Experimentální den č.2–4 (značen jako Session 2 – 4)

V těchto experimentálních dnech již potkani nebyli vystaveni hypoxickému působení, stejně tak již nedostali žádnou dávku anestetika. Tréninky v Morrisově vodním bludišti, na hrazdě a motorický trénink se prováděly stejným způsobem jako během experimentálního dne č.1.

Po skončení měření byli potkani umístěni zpět do svých obydlí. Měření probíhala v jednotlivé experimentální dny v pokud možno stejnou denní dobu.



Obr. č. 165-~~x~~ Schéma průběhu experimentu v jednotlivých experimentálních dnech

TŮMA, Michal, 2007.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Předchozí varianty experimentu

Jde o varianty designu experimentu, který byl prováděn na potkanech stáří 60-ti dní (ve dnech 8.8.2006 – 24.8.2006), 90-ti dní (ve dnech 28.6.2006 – 13.7.2006 a 30.10.2006 – 16.11.2006) a jednoho roku (ve dnech 8.8.2006 – 24.8.2006). Tato měření nejsou v této práci zpracována a popis odlišností v od designu experimentu zde zpracovaného je uveden pouze pro úplnost.

Při měřeních, která předcházela výše popsanému průběhu experimentu, docházelo k některým dílčím změnám v designu experimentu. Nejvýraznější odlišností byla absence tréninku během prvního experimentálního dne (potkani byli vystaveni pouze hypoxii). Samotný trénink pak probíhal v experimentálním dni č. 2 – 5, poté v experimentálních dnech č.13 – 16. Důvodem posunutí prvního tréninku už do experimentálního dne č.1 byla snaha zachytit co nejčasnější vliv hypoxie a také sjednocení s předchozím designem experimentů, které již dříve prováděl MUDr. RNDr. Michal Wittner, Ph.D. Důvodem pro ukončení měření již po experimentálním dni č. 4 pak byla skutečnost, že ve dnech 13 – 16 zůstával zachován trend učení prvních čtyř experimentálních dnů a význam informací získaných při těchto měřeních nebyl příliš velký.

3.8.3.9. Použité statistické metody

V první části statistického hodnocení výsledků jsou uvedeny základní **popisné statistiky** jednotlivých experimentálních skupin. Jde o počet vzorků v příslušné skupině, aritmetický průměr, medián, minimální a maximální hodnotu, 95% intervaly spolehlivosti, rozptyl, směrodatnou odchylku a směrodatnou chybu.

Každé skupině odpovídá příslušný graf aritmetických průměrů v jednotlivých dnech experimentu.

V další části následuje **testování hypotéz** o různosti středních hodnot výsledků hladin jednotlivých sledovaných faktorů v posledním (tj. čtvrtém) dni experimentu. Statistickou významnost jsem posuzoval na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Hypotézy jsem testoval nejprve pomocí dvouvýběrového t -testu (pro 3 různé hladiny faktoru podstoupené hypoxie jsem hladinu významnosti musel korigovat, abych nedostal chybné výsledky, tzn. hladinu statistické významnosti $\alpha = 0,05$ jsem dělil 3 a pracoval pak s hladinou významnosti $\alpha = 0,0166$) a poté pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ta umožňuje efektivnější analýzu menších skupin a současné hodnocení tří a více hladin sledovaného faktoru).

Výsledky jsou doplněny v případě t -testů příslušnými krabicovými grafy a v případě analýzy rozptylu spojnicovými grafy průměrů.

V poslední části je kompletní statistické vyhodnocení současného vlivu všech sledovaných faktorů a jejich vzájemných interakcí pomocí **vícerozměrné vícefaktorové analýzy rozptylu**. Jsou uvedeny hodnoty významnosti příslušných interakcí společně s příslušnými grafy. Dále jsou graficky uvedeny předpoklady „náhodnosti“ (graf [předpovídaných hodnot proti reziduíům](#)) a „normálnosti“ dat - [normální graf reziduí](#) (graf hodnot reziduí proti očekávaným hodnotám).

Aritmetický průměr

~~Aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné, popř. řeckým písmenem μ . Definice~~

~~aritmetického průměru je $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, tzn. součet všech hodnot vydělený jejich počtem.~~

Medián

~~Medián je hodnota, jež dělí řadu [výsledků seřazených podle velikosti seřazených výsledků](#) na dvě stejně početné poloviny. Ve statistice patří (stejně jako aritmetický průměr) mezi~~

míry centrální tendence. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Pro nalezení mediánu daného souboru stačí hodnoty seřadit podle velikosti a vzít hodnotu, která se nalézá uprostřed seznamu. Pokud má soubor sudý počet prvků, medián není definován jednoznačně, a obvykle se za medián označuje aritmetický průměr hodnot na místech $n/2$ a $n/(2+1)$. [11]

Směrodatná odchylka

Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Analýza rozptylu (ANOVA – ANalysis Of VAriance).

Analýza rozptylu je metodou matematické statistiky, která umožňuje ověřit, zda na hodnotu náhodné veličiny pro určitého jedince má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, který se u jedince dá pozorovat. Tento znak musí nabývat jen konečného počtu možných hodnot (nejméně dvou) a slouží k rozdělení jedinců do vzájemně porovnávaných skupin. Kvantitativní hodnota znaku přitom nemá povahu míry. Je-li třeba vzít v úvahu i konkrétní kvantitativní hodnotu jako míru určitého znaku, použije se místo analýzy rozptylu lineární model. [12]

Analýza rozptylu je založena na porovnávání dvojice modelů. Jeden model je složitější a předpokládá, že statisticky významný vliv má víc znaků, druhý model je jednodušší a předpokládá, že statisticky významný vliv má méně znaků nebo žádný. Pro každý model se rozdělí jedinci do skupin podle významných znaků, v každé skupině se odhadne střední hodnota a potom se sečtou druhé mocniny odchylek náhodných veličin od střední hodnoty. Čím méně parametrů, tím méně skupin a tím větší odchylky od středních hodnot. Pomocí speciální varianty F testu se pak zjistí, zda se součty odchylek pro různé modely od sebe liší natolik, že není možné oba modely prohlásit za rovnocenné. V takovém případě by se zamítl model s větším součtem odchylek. Pokud se součty odchylek významně neliší, je možné přijmout jednodušší model, tedy lze přijmout předpoklad, že na určitém znaku nezáleží. [13]

Statistický software Software

Microsoft Office Word 2003

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial

Naformátováno: Písmo: není Tučné

[Microsoft Office Excel 2003](#)

StatSoft Inc. Statistica 7.0 – základní principy práce s vícerozměrnými daty jsou
v Meloun a Militký [2005] viz Použitá literatura.

4. Výsledky a diskuze

4.1. Charakteristika experimentálních skupin a měřených veličin

V průběhu celého experimentu došlo několikrát k částečným změnám v designu experimentu. Také bylo měněno stáří potkanů v pokusu. Tyto změny byly odůvodněny snahou získat homogenní skupinu jedinců v pokusu, co možná nejvíce standardizovaný průběh experimentu a samozřejmě také snahou dosáhnout co nejlepších výsledků.

Věk potkanů	Termín měření
-------------	---------------

30 dní	5.3. – 8.3.2007
	17.4. – 20.4.2007.

Tab. č.1 Termíny, ve kterých probíhal experiment

Experimentu se účastnilo 24 laboratorních potkanů kmene Wistar. Tito potkani na začátku měření dosáhli stáří 30 dní.

V následujících dvou tabulkách je ukázáno rozdělení a označení jednotlivých experimentálních zvířat, která jsou v této práci hodnocena. Je uvedeno označení jednotlivých zvířat a jejich základní charakteristiky (význam názvů jednotlivých sloupců, a také všech zkratk v práci použitých, je uveden v Seznamu použitých zkratk).

Housing	Anestezie	Hypoxie					
		Sham Hypoxie		Hypoxie 9000 mnm/60 m		Hypoxie 10000 mnm/60 m	
SH+single	Thiopental	2001	2002	2003	2004	2303	2304
	Sal	2005	2006	2007	2008	2201	2305
EE + M.Tr.	Thiopental	2101	2102	2103	2104	2301	2302
	Sal	2105	2106	21047	2108	2203	2204

~~Ostatní změřené veličiny, stejně jako kompletní výsledky všech skupin, jsou přiloženy v elektronické podobě na CD-ROM.~~

Tab. č.2 Přehled rozdělení potkanů do jednotlivých experimentálních skupin

Potkani jsou identifikováni podle svého identifikačního čísla (ID)

V tabulce č. 2 je uvedeno rozdělení potkanů do jednotlivých experimentálních skupin. Potkani jsou ve skupinách označeny svým identifikačním číslem (ID) a jsou děleni podle typu obydlí v němž jsou drženi a dle úrovně podstoupené hypoxie. Dodatečným dělením ve skupinách je skutečnost, zda jim byla podána anestezie.

GROUP	ID	HOUSE	DOB	SEX	Anesthesia	HYPOXIA	Hypoxia Date	Hypoxia Time	WEIGHT DATE start	WEIGHT start (g)	WEIGHT DATE end	WEIGHT end (g)
20	2001	SH + single	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	Sham/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	98	2006-03-08	100
20	2002	SH + single	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	Sham/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	100	2006-03-08	125
20	2003	SH + single	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	90	2006-03-08	105
20	2004	SH + single	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	100	2006-03-08	105

20	2005	SH + single	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	Sham/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	100	2006-03-08	100
20	2006	SH + single	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	Sham/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	100	2006-03-08	105
20	2007	SH + single	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	90	2006-03-08	110
20	2008	SH + single	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	16:45-17:45	2007-03-05	112	2006-03-08	120
21	2101	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	Sham/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	90	2006-03-08	100
21	2102	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	Sham/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	100	2006-03-08	105
21	2103	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	100	2006-03-08	110
21	2104	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	100	2006-03-08	115
21	2106	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	Sham/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	100	2006-03-08	130
21	2107	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	95	2006-03-08	100
21	2108	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	9000 mnm/60 min	2007-03-05	18:15-19:15	2007-03-05	90	2006-03-08	100
22	2201	SH + single	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	10000 mnm/60 min	2007-03-05	19:40-20:40	2007-03-05	85	2006-03-08	100
GROUP	ID	HOUSE	DOB	SEX	Anesthesia	HYPOXIA	Hypoxia Date	Hypoxia Time	WEIGHT DATE start	WEIGHT start (g)	WEIGHT DATE end	WEIGHT end (g)
22	2202	death 5.3.2007 při hypoxii	2007-02-05	male	-	10000 mnm/60 min	2007-03-05	19:40-20:40	-	-	-	-
22	2203	EE + M.Tr. (2101+2102+2103+2104+2105+2106+2107+2108+2203+2204)	2007-02-05	male	Sal (0,5 ml)	10000 mnm/60 min	2007-03-05	19:40-20:40	2007-03-05	100	2006-03-08	115

22	2204	EE + M.Tr. (2101+2102+ 2103+2104+ 2105+2106+ 2107+2108+ 2203+2204)	2007- 02-05	male	Sal (0,5 ml)	10000 mmn/60 min	2007- 03-05	19:40- 20:40	2007- 03-05	100	2006- 03-08	120
23	2301	EE + M.Tr. (2301+2302)	2007- 03-19	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	10000 mmn/60 min	2007- 04-17	19:30- 20:30	2007- 04-17	80	2006- 04-20	80
23	2302	EE + M.Tr. (2301+2302)	2007- 03-19	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	10000 mmn/60 min	2007- 04-17	19:30- 20:30	2007- 04-17	78	2006- 04-20	95
23	2303	SH + single	2007- 03-19	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	10000 mmn/60 min	2007- 04-17	19:30- 20:30	2007- 04-17	80	2006- 04-20	90
23	2304	SH + single	2007- 03-19	male	Thiopental (50mg/kg i.p.)	10000 mmn/60 min	2007- 04-17	19:30- 20:30	2007- 04-17	75	2006- 04-20	95
23	2305	SH + single	2007- 03-19	male	Sal (0,5 ml)	10000 mmn/60 min	2007- 04-17	19:30- 20:30	2007- 04-17	80	2006- 04-20	100

Tab č.3 Přehled potkanů v experimentu, jejich označení ve skupinách. Základní údaje o experimentu.

V tabulce č.3 je znovu uvedeno rozdělení potkanů v experimentu. Jsou zde také uvedeny základní informace, jako je přesné stáří a váha potkanů v experimentu. Souhrnné výsledky jichž potkani dosáhli v jednotlivých dnech experimentu jsou pak uvedeny v Příloze č.1.

Faktory, podle nichž byli potkani rozdělení do skupin, jsou: typ životního prostředí, úroveň podstoupené hypoxie a fakt zda byla podána anestezie. Jednotlivé hladiny faktorů jsou následující. Pro prostředí, ve kterém byli drženi se potkani dělili na ty, kteří bydleli samostatně ve standardní klecích (SH+single – 12 zvířat/skupina), a na ty, kteří žili pohromadě v obohaceném prostředí a podstupovali každý den motorický trénink (EE + M. Tr. – 12 zvířat/skupina). Dle úrovně podstoupené hypoxie se dělili na kontrolní skupinu (Sham hypoxie – 8 zvířat/skupina), na skupinu, která podstoupila hypobarickou hypoxii odpovídající nadmořské výšce 9000 metrů po dobu 60 minut (Hypoxie 9000 mmn/60m – 8 zvířat/skupina) a na skupinu, která podstoupila hypobarickou hypoxii odpovídající nadmořské výšce 10000 metrů po dobu 60 minut (Hypoxie 10000 mmn/60m – 8 zvířat/skupina). Potkani dle anestezie, která jim byla podána, se dělili na skupinu, jenž dostala i.p. Thiopental v koncentraci 50 mg/kg (značeno Thiopental – 12 zvířat/skupina), a na skupinu, která dostala i.p. pouze fyziologický roztok (značeno jako Sal – 12 zvířat/skupina). Jak již bylo uvedeno výše, experiment podstoupilo 24 potkanů.

Pro hodnocení vlivu výše uvedených faktorů byly použity následující naměřené veličiny:

Únikový čas (s)

Doba, za kterou potkan v Morrisově vodním bludišti od vypuštění na startu dosáhne cíle. Maximálně je to 60 sekund, poté je potkan naveden na ostrůvek a čas zastaven.

Úspěšnost dosažení cíle (%)

Každý potkan podstoupil v příslušný tréninkový den 8 plaveb v Morrisově vodním bludišti a tato veličina uvádí procentuální úspěšnosti nalezení cíle (pokud nastane 8 úspěchů z 8 pokusů, pak úspěšnost dosažení cíle je 100%). Tato veličina dokáže lépe „ocenit“ úspěšné nalezení cíle (např. v čase 59 sekund), než veličina únikový čas.

Uražená vzdálenost (m)

Jedná se o vzdálenost, kterou potkan urazí během své jedné plavby v Morrisově vodním bludišti.

Hrazda (s)

V testu (varianta testu rovnováhy na hrazdě) je měřen čas, po který se potkan na hrazdě udrží. Maximum je 60 sekund, poté je potkan vrácen do klece.

Přehled všech naměřených hodnot sledovaných veličin je uveden v Příloze č.1 na konci práce. (veličina Úspěšnost dosažení cíle je vypočítána z hodnot příslušných Únikových časů).

4.2. Výsledky a statistické testování

V této části postupně uvedu přehled výsledků, kterých jsem dosáhl během měření. Dále budou uvedeny výsledky statistického hodnocení vlivu příslušného testovaného faktoru. V souladu s cíly stanovenými na začátku práce, budu členit výsledky do kapitol dle sledovaných faktorů. Půjde o hodnocení možného pozitivního vlivu obohaceného prostředí, stimulačního vlivu hypoxického působení a také zkoumání případného negativního vlivu podaného anestetika. Ke každému z těchto faktorů budou v samostatné kapitole uvedeny výsledky formou základních popisných statistik a grafů (kompletní výsledky jsou z důvodu lepší přehlednosti práce uvedeny v Příloze č.1). Dále pak budou testovány výsledky posledního experimentálního dne (výstup experimentu) pomocí dvouvýběrového *t*-testu a pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu. Jádrem práce jsou ovšem výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu, kdy byly zkoumány vlivy sledovaných faktorů i ve vzájemných interakcích. Pro zachování přehlednosti výsledků tohoto testování jsou výsledky uvedeny pro všechny faktory pohromadě v rámci jedné kapitoly. Důležité výsledky jsou v poslední části shrážděny a diskutovány.

4.2.1. Hodnocení pozitivního vlivu obohaceného prostředí

V této části jsou hodnoceny možné pozitivní vlivy obohaceného prostředí na kognitivní schopnosti potkanů. Sledovaným faktorem je typ životního prostředí (Housing) a jeho vliv na sledované veličiny (únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost a výdrž na hrazdě). Hladiny faktoru prostředí jsou standardní klec (SH + single) a obohacené prostředí (EE + M. Tr.). Definice těchto prostředí jsou uvedeny v kapitole 3.4.

Základní popisné statistiky

V této části popisných statistik jsem stanovil základní míry polohy. Jde o aritmetický průměr, medián, minimální a maximální hodnotu. Dále jsem pak stanovil i základní míry variability. Jednalo se o rozptyl

~~Únikové časy (s)
Nejčastěji bývají výsledky prezentovány v podobě tabulek a grafů vytvořených v některém tabulkovém kalkulátoru. Výsledky nebývají nijak statisticky hodnoceny a závěry jsou formulovány pouze z toho, jak se nám „jeví“.~~

, směrodatnou odchylku, směrodatnou chybu průměru a 95% intervaly spolehlivosti. Stejně charakteristiky jsou stanoveny pro všechny hodnocené vlivy.

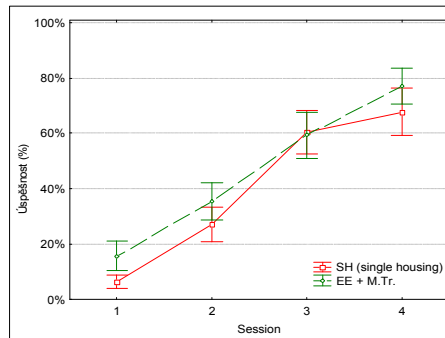
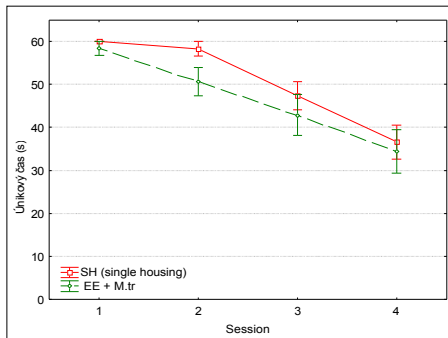
V tabulce č.4 jsou shrnuty výsledky těchto popisných statistik. Průběhy vývoje výkonů v jednotlivých dnech experimentu jsou shrnuty v grafech č.1-4. Z průběhů grafů lze soudit, že potkani chovaní v obohaceném prostředí dosahují „mírně“ lepších výsledků než potkani držení ve standardních klecích. Potkani v obohaceném prostředí dosáhli v poslední den experimentu lepších výsledků především v úspěšnosti dosažení cíle (87.5% úspěšnost, u potkanů ve standardních klecích je úspěšnost 68,8%). Všechny výsledky jsou uvedeny v Příloze č.1. Zda jsou naměřené rozdíly statisticky významné, je testováno dále pomocí dvouvýběrového *t*-testu a jednofaktorovou analýzou rozptylu.

	N	Průměr	Int. spolehl. (-95%)	Int. spolehl. (+95%)	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Sm. Chyba
Únikový čas (s)										
SH	48	50,58	46,77	54,38	60,00	17,70	60,00	171,45	13,09	1,89
EE+M.Tr.	48	46,57	41,94	51,20	58,30	12,20	60,00	254,41	15,95	2,30
Úspěšnost (%)										
SH	48	40,36%	30,54%	50,19%	37,50%	0,00%	100,00%	11,45%	33,84%	4,88%
EE+M.Tr.	48	46,88%	37,36%	56,39%	37,50%	0,00%	100,00%	10,74%	32,77%	4,73%
Hrazda (s)										
SH	48	39,70	35,65	43,75	42,17	9,33	60,00	194,40	13,94	2,01
EE+M.Tr.	48	42,57	38,04	47,10	43,33	5,67	60,00	243,10	15,59	2,25
Vzdálenost (m)										
SH	48	9,40	8,60	10,19	9,26	2,04	14,23	7,54	2,75	0,40
EE+M.Tr.	48	10,28	9,05	11,51	9,99	3,10	21,30	17,88	4,23	0,61

Únikové časy (s)

Naformátováno: Doleva, Řádkování: jednoduché

Tab.č.4 Základní popisné statistiky jednotlivých veličin pro faktor - životním prostředí (Housing)

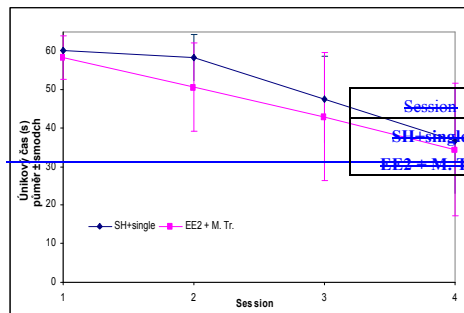


Naformátováno: Řádkování: jednoduché

Graf č.3 Úspěšnost dosažení cíle v závislosti na životním prostředí. průměr ± smchyba

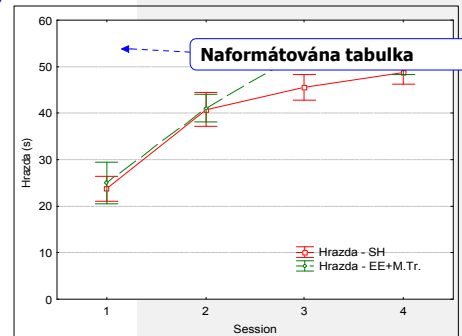
Úspěšnost dosažení cíle (%)

Naformátováno: Písmo: 8 b.



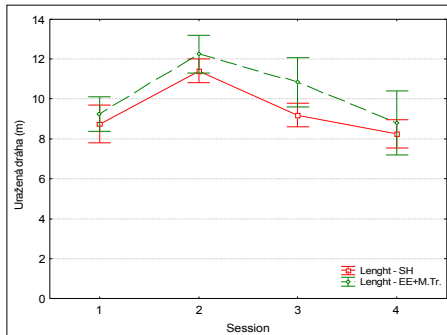
Graf č.1 Únikové časy v závislosti na životním prostředí. průměr ± smchyba

Session	1	2	3	4
SH+single	0,0%	25,0%	56,3%	68,8%
EE2+M.Tr.	12,5%	25,0%	62,5%	87,5%



Naformátována tabulka

Graf č.2 Hrazda v závislosti na životním prostředí. průměr ± smchyba



Graf č.4 Uražená vzdálenost v závislosti na životním prostředí. průměr ± smchyba.

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí *t*-testu

V tomto případě jsou pro testování zvoleny hodnoty veličin naměřené poslední experimentální den (Session 4). **Hladina statistické významnosti je pro všechny případy $\alpha = 0,05$** , a jako praeovni alternativní hypotézu přijímáme, že střední hodnoty se testované skupiny se od sebe statisticky významně liší a jako nulovou hypotézu pak tvrzení, že se od sebe neliší.

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Výsledky testovacích statistik jsou uvedeny v tabulkách a krabicové grafy odpovídající testovaným veličinám jsou uvedeny v Příloze č.2 na konci práce.

Výsledky jsou zapsány jako hodnoty testovací statistiky. Příslušné stupně volnosti jsou uvedeny pouze v tabulkách a vypočítají se jako součet počtu zvířat v testovaných skupinách zmenšený o dva. Pro tento případ mají obě skupiny shodný počet členů, tj. 12 (viz tabulka č. 2). Odpovídající stupně volnosti pro příslušné testovací statistiky jsou $(12 + 12) - 2 = 22$. U všech následujících testování pomocí *t*-testu jsou tyto vstupní předpoklady stejné.

	Průměr SH+single	Průměr EE+M.Tr.	t	sv	p
Únikový čas (s)	36,66	34,43	0,35	22	0,729
Úspěšnost (%)	67,71%	77,08%	-0,87	22	0,395
Hrazda (s)	48,81	50,94	-0,57	22	0,574
Vzdálenost (m)	8,25	8,79	-0,31	22	0,758

Naformátováno: Doleva, Řádkování: jednoduché

Tab. č.5 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro faktor - prostředí (Housing)
t= hodnota testovací statistiky, sv=počet stupňů volnosti, p=dosažená hladina významnosti

Únikové časy (s)

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro únikové časy v závislosti na prostředí jsou pro srovnávané skupiny standardního prostředí (SH+single) a obohaceného prostředí (EE + M. Tr.) následující: hodnota testovací statistiky je $t=0,35$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,729$. Rozdíly mezi prostředími pro sledovanou veličinu (únikové časy) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Úspěšnost dosažení cíle (%)

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro úspěšnost dosažení cíle v závislosti na prostředí jsou pro srovnávané skupiny standardního prostředí (SH+single) a obohaceného prostředí (EE + M. Tr.) následující: hodnota testovací statistiky je $t=-0,87$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,395$. Rozdíly mezi prostředími pro sledovanou veličinu (úspěšnost dosažení cíle) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro hrazdu v závislosti na prostředí jsou pro srovnávané skupiny standardního prostředí (SH+single) a obohaceného prostředí (EE + M. Tr.) následující: hodnota testovací statistiky je $t=-0,57$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,574$. Rozdíly mezi prostředími pro sledovanou veličinu (hrazda) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro uraženou vzdálenost v závislosti na prostředí jsou pro srovnávané skupiny standardního prostředí (SH+single) a obohaceného prostředí (EE + M. Tr.) následující: hodnota testovací statistiky je $t=-0,31$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,758$. Rozdíly mezi prostředími pro sledovanou veličinu (uražená vzdálenost) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu

Pro testování v tomto případě jsou zvoleny hodnoty veličin naměřené poslední experimentální den (Session 4). **Hladina statistické významnosti je pro všechny případy**

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné, Kurzíva

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

Naformátováno: zarovnání na střed

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

Naformátováno: Doleva

Naformátováno: Písmo: 9 b., není Tučné

$p\alpha = 0,05$. Grafy efektů jednotlivých faktorů pro měřené veličiny jsou přehledně uvedeny v Příloze č.3 na konci práce.

Výsledky jsou prezentovány ve formě kdy je uvedena dosažená hladina statistické významnosti a hodnota příslušné testovací statistiky s odpovídajícími stupni volnosti. Jedná se tyto stupně volnosti: $SV_{meziskupinový} = m - 1$ a $SV_{vnitroskupinový} = n - m$, kde m je počet skupin a n je počet pozorování. Platí pak, že výsledná statistika F má příslušné stupně volnosti $(m-1, n-m)$. V tomto konkrétním případě je $SV_{meziskupinový} = 2 - 1$ a $SV_{vnitroskupinový} = 24 - 2$. Stupně volnosti jsou tedy 1 a 22 a jejich zápis je F(1, 22).

Výše uvedené předpoklady a způsob výpočtu stupňů volnosti platí pro všechny další použití jednofaktorové analýzy rozptylu v této práci.

	SČ	SV	PČ	F	p
Únikový čas (s)	29,87	1	29,87	0,12	0,729
Chyba	5344,05	22	242,91		
Úspěšnost (%)	0,05	1	0,05	0,75	0,395
Chyba	1,54	22	0,07		
Hrazda (s)	27,45	1	27,45	0,33	0,574
Chyba	1852,29	22	84,19		
Vzdálenost (m)	1,80	1	1,80	0,10	0,758
Chyba	405,75	22	18,44		

Tab. č.6 Výsledky jednofaktorové ANOVA analýzy faktor–prostředí (Housing)

SČ – součet čtverců, PČ – průměrný čtverec, SV – počet stupňů volnosti, F – hodnota testovací statistiky, p – dosažená hladina statistické významnosti.

Výsledkem jednofaktorové analýzy shodnosti průměrů **únikových časů** v závislosti na typu prostředí (SH + single, EE + M.Tr.) je hodnota testovací statistiky s příslušnými stupni volnosti **F(1,22)=0,12** a dosažená hladina statistické významnosti **p=0,729**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **úspěšnosti dosažení cíle** v závislosti na prostředí je pak **F(1,22)=0,75** a dosažená hladina statistické významnosti je **p=0,395**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **hrazdy** v závislosti na prostředí je pak **F(1,22)=0,33** a dosažená hladina významnosti je **p=0,574**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **uražené vzdálenosti** v závislosti na prostředí je pak **F(1,22)=0,10** a dosažená hladina statistické významnosti je **p=0,758**.

Žádná z těchto závislostí není **statisticky významná na dané hladině** významnosti.

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial, Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 9 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Times New Roman, 8 b., není Tučné

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Při hodnocení možného pozitivního vlivu obohaceného životního prostředí na kognitivní schopnosti potkanů bylo možné z výsledků usuzovat, že lepších výsledků dosahují potkani držení v obohaceném prostředí především v úspěšnosti dosažení cíle. Testováním pomocí *t*-testu a pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu se nepodařilo ovšem tuto skutečnost prokázat. Krabicové grafy pro výsledky *t*-testu a grafy efektu faktorů pro jednofaktorovou analýzu rozptylu jsou uvedeny v Příloze č.2 a č.3. Výsledky testování pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu jsou uvedeny v kapitole 4.2.4.

4.2.2. Hodnocení možného negativního působení anestetika

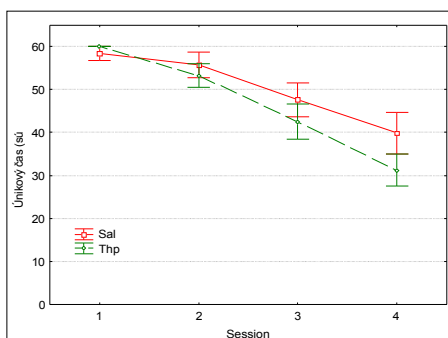
V této kapitole je hodnoceno podání anestetika z důvodu jeho možného negativního působení na kognitivní schopnosti potkanů. Sledovaným faktorem je podání anestetika (Anestezie) a jeho vliv na sledované veličiny (únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost a výdrž na hrazdě). Rozlišujeme skutečnost, zda bylo podáno anestetikum (Thiopental) nebo fyziologický roztok (Sal). Informace o podané anestezii jsou v kapitole 3.7.

Základní popisné statistiky

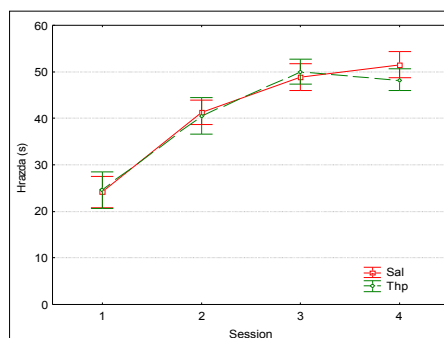
V tabulce č.7 jsou shrnuty výsledky těchto popisných statistik. Průběhy vývoje výkonů v jednotlivých dnech experimentu jsou shrnuty v grafech č.5-8.

	N	Průměr	Int. spolehl. (-95%)	Int. spolehl. (+95%)	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Sm. Chyba
Únikový čas (s)										
Sal	48	50,40	46,34	54,46	60,00	17,41	60,00	195,44	13,98	2,02
Thiopental	48	46,74	42,32	51,16	52,25	12,20	60,00	231,76	15,22	2,20
Úspěšnost (%)										
Sal	48	38,28%	28,74%	47,82%	25,00%	0,00%	100,00%	10,80%	32,86%	4,74%
Thiopental	48	47,92%	38,17%	57,66%	50,00%	0,00%	100,00%	11,26%	33,55%	4,84%
Hrazda (s)										
Sal	48	41,44	37,19	45,69	43,33	5,67	60,00	214,38	14,64	2,11
Thiopental	48	40,83	36,46	45,21	42,67	8,33	60,00	227,13	15,07	2,18
Vzdálenost (m)										
Sal	48	10,07	8,99	11,14	9,92	3,00	21,30	13,71	3,70	0,53
Thiopental	48	9,61	8,60	10,62	9,50	2,04	19,00	12,00	3,46	0,50

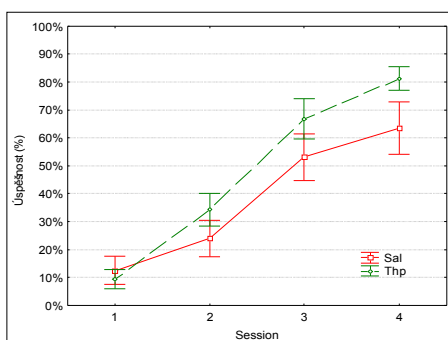
Tab. č. 7 Základní popisné statistiky jednotlivých veličin pro faktor - podaná anestezie (anestezie)



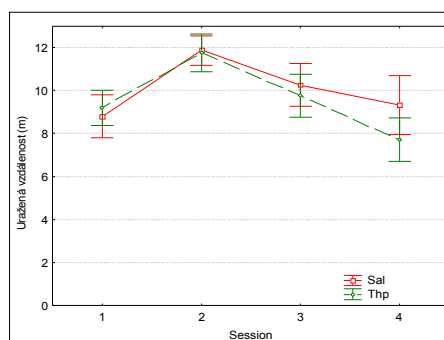
Graf č. 5. Únikové časy v závislosti na anestezii, průměr ± smychba



Graf č. 6. Hrazda v závislosti na anestezii, průměr ± smychba



Graf č. 7. Úspěšnost dosažení cíle v závislosti na anestezii, průměr ± smychba



Graf č. 8. Uražená vzdálenost v závislosti na anestezii, průměr ± smychba

Z grafů jsou vidět lepší výkony jichž v posledním dnu experimentu dosáhli potkani jimž bylo podáno anestetikum. Jde především o výsledky únikových časů a úspěšnosti dosažení cíle, kdy potkani, kterým bylo podáno anestetikum dosáhli lepších výsledků (31,2s a 81,3%) než potkani, jimž byl podán fyziologický roztok (39,9s a 62,5%). Tato skutečnost je dále ověřována pomocí testovacích statistik. Všechny výsledky jsou přehledně shrnuty v Příloze č.1.

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí t-testu

	Průměr Sal	Průměr Thiopental	t	sv	p
Únikový čas (s)	39,87	31,22	1,42	22	0,171
Úspěšnost (%)	63,54%	81,25%	-1,72	22	0,100
Hrazda (s)	51,50	48,25	0,88	22	0,390
Vzdálenost (m)	9,32	7,72	0,93	22	0,361

Tab. č.8 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro faktor –podaná anestezie (Anestezie)

t= hodnota testovací statistiky, sv=počet stupňů volnosti, p=dosažená hladina významnosti

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro únikové časy v závislosti na podané anestezii jsou pro srovnávané skupiny podaného anestetika (Thiopental) a fyziologického roztoku (Sal) následující: hodnota testovací statistiky je $t=1,42$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,171$ a tedy rozdíly mezi prostředními pro sledovanou veličinu (únikové časy) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro úspěšnost dosažení cíle v závislosti na podané anestezii jsou pro srovnávané skupiny podaného anestetika (Thiopental) a fyziologického roztoku (Sal) následující: hodnota testovací statistiky je $t=-1,72$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,100$ a tedy rozdíly mezi prostředními pro sledovanou veličinu (úspěšnost dosažení cíle) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro hrazdu v závislosti na podané anestezii jsou pro srovnávané skupiny podaného anestetika (Thiopental) a fyziologického roztoku (Sal) následující: hodnota testovací statistiky je $t=-0,88$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,390$ a tedy rozdíly mezi prostředními pro sledovanou veličinu (hrazda) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro uraženou vzdálenost v závislosti na podané anestezii jsou pro srovnávané skupiny podaného anestetika (Thiopental) a fyziologického roztoku (Sal) následující: hodnota testovací statistiky je $t=0,93$ a dosažená hladina významnosti je $p=0,361$ a tedy rozdíly mezi prostředními pro sledovanou veličinu (uražená vzdálenost) nejsou statisticky významné na dané hladině významnosti.

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu

	SČ	SV	PČ	F	p
Únikový čas (s)	448,50	1	448,50	2,00	0,171
Chyba	4925,42	22	223,88		
Úspěšnost (%)	0,19	1	0,19	2,95	0,100
Chyba	1,40	22	0,06		
Hrazda (s)	63,37	1	63,37	0,77	0,390
Chyba	1816,36	22	82,56		
Vzdálenost (m)	15,48	1	15,48	0,87	0,361
Chyba	392,08	22	17,82		

Tab. č.9 Výsledky jednofaktorové ANOVA analýzy faktor – podaná anestezie (Anestezie)

SČ – součet čtverců, PČ – průměrný čtverec, SV – počet stupňů volnosti, F – hodnota testovací statistiky, p – dosažená hladina statistické významnosti

Výsledkem jednofaktorové analýzy shodnosti průměrů únikových časů v závislosti na podané anestezii (Thiopental, Sal) je hodnota testovací statistiky s příslušnými stupni volnosti $F(1,22)=2,00$ a dosažená hladina statistické významnosti $p=0,171$.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů úspěšnosti dosažení cíle v závislosti na prostředí je pak $F(1,22)=2,95$ a dosažená hladina statistické významnosti je $p=0,100$.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů hrazdy v závislosti na prostředí je pak $F(1,22)=0,77$ a dosažená hladina statistické významnosti je $p=0,390$.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů uražené vzdálenosti v závislosti na prostředí je pak $F(1,22)=0,87$ a dosažená hladina statistické významnosti je $p=0,361$.

Žádná z těchto závislostí není statisticky významná na dané hladině významnosti.

Při zkoumání výsledků testování vlivu podání anestetika na kognitivní schopnosti potkanů je možné soudit, že lepších výsledků dosahují potkani jimž bylo podáno anestetikum. Na tento vliv bylo možné usuzovat především při hodnocení veličin únikový čas a úspěšnost dosažení cíle. Testováním pomocí *t*-testu a pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu se nepodařilo tuto skutečnost prokázat. V tomto případě je ovšem mnohem důležitější skutečnost, že nebyly prokázány lepší výkony u potkanů, jimž byl podán pouze fyziologický roztok. Tento fakt umožňuje totiž tvrdit, že **podání anestetika nemá vliv na kognitivní schopnosti potkanů**. Krabicové grafy pro výsledky *t*-testu a grafy efektu faktorů pro jednofaktorovou analýzu rozptylu jsou uvedeny v Příloze č.2 a č.3.

Výsledky testování pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu jsou uvedeny v kapitole 4.2.4.

4.2.3. Hodnocení stimulačního působení podstoupené hypoxie

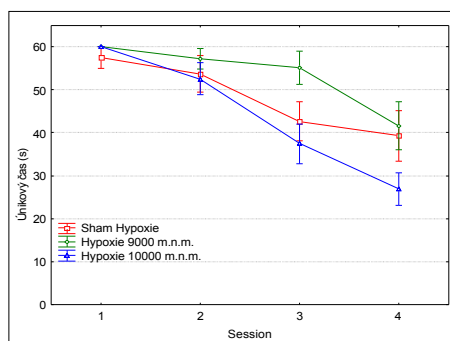
V této části je hodnoceno možné stimulační působení hypoxického stresu na kognitivní schopnosti potkanů. Sledovaným faktorem je úroveň podstoupené hypoxie (Hypoxie) a její vliv na sledované veličiny (únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost a výdrž na hrazdě). Hladiny faktoru hypoxie jsou kontrolní skupina bez hypoxie (Sham Hypoxie) a skupiny, které podstoupily hypoxii odpovídající podtlaku ve výšce 9000 mmm (Hypoxie 9000 mmm/60m) a 10000 mmm (Hypoxie 10000 mmm/60m) po dobu 60 minut. Bližší informace o hypoxický působení jsou uvedeny v kapitole 3.8.

Základní popisné statistiky

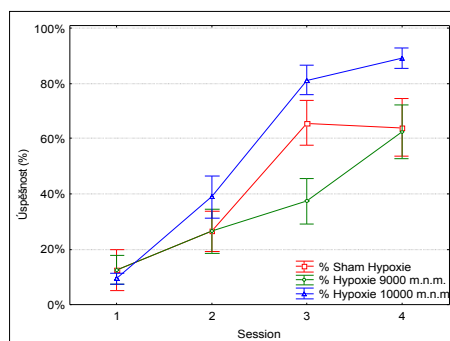
V tabulce č.10 jsou shrnuty výsledky těchto popisných statistik. Průběhy vývoje výkonů v jednotlivých dnech experimentu jsou shrnuty v grafech č.9-12. Z výsledků a grafů jsou opět patrné lepší výsledky jichž dosahovali někteří potkani pro sledované veličiny únikový čas a úspěšnost dosažení cíle. Potkani, kteří podstoupili hypoxii 10000 mnm/60m, dosáhli mnohem lepších výsledků (26,9s a 87,5%) než skupina s hypoxií 9000 mnm/60m (40,4s a 62,5%) a skupina bez hypoxie (39,3s a 62,5%). Tyto výsledky byly ověřovány pomocí příslušných testovacích statistik. Všechny výsledky jsou uvedeny v Příloze č.1.

	N	Průměr	Int. spolehl. (-95%)	Int. spolehl. (+95%)	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm. odch.	Sm. Chyba
Únikový čas (s)										
Sham Hypoxie	32	48,32	43,19	53,44	60,00	17,70	60,00	201,87	14,21	2,51
Hypoxie 9000 mnm/60m	32	53,17	48,73	57,61	60,00	12,20	60,00	151,66	12,32	2,18
Hypoxie 10000 mnm/60m	32	44,22	38,38	50,07	46,00	13,80	60,00	263,10	16,22	2,87
Úspěšnost (%)										
Sham Hypoxie	32	42,19%	30,42%	53,96%	37,50%	0,00%	100,00%	10,66%	32,65%	5,77%
Hypoxie 9000 mnm/60m	32	34,77%	24,54%	44,99%	25,00%	0,00%	100,00%	8,04%	28,35%	5,01%
Hypoxie 10000 mnm/60m	32	54,69%	41,85%	67,52%	62,50%	0,00%	100,00%	12,68%	35,60%	6,29%
Hrazda (s)										
Sham Hypoxie	32	45,41	40,03	50,78	48,00	8,33	60,00	222,41	14,91	2,64
Hypoxie 9000 mnm/60m	32	40,50	35,42	45,58	42,00	15,67	60,00	198,57	14,09	2,49
Hypoxie 10000 mnm/60m	32	37,50	32,20	42,80	38,83	5,67	60,00	215,81	14,69	2,60
Vzdálenost (m)										
Sham Hypoxie	32	11,10	9,63	12,56	11,10	4,30	21,30	16,45	4,06	0,72
Hypoxie 9000 mnm/60m	32	9,98	8,83	11,13	10,30	3,00	15,50	10,20	3,19	0,56
Hypoxie 10000 mnm/60m	32	9,19	8,00	10,39	9,05	2,04	15,50	10,96	3,31	0,59

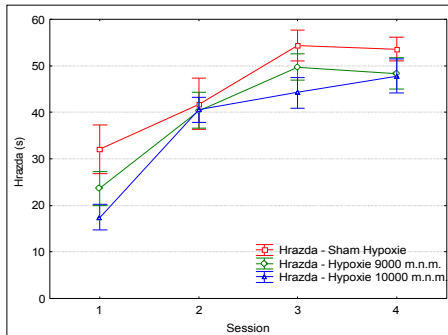
Tab. č.10 Základní popisné statistiky jednotlivých veličin pro faktor – podstoupená hypoxie (hypoxie)



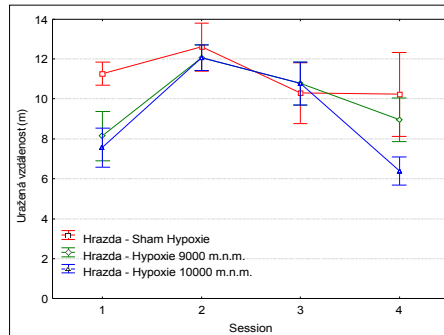
Graf č. 9 Únikové časy v závislosti na hypoxii. průměr ± smchyba



Graf č. 11 Úspěšnost dosažení cíle v závislosti na hypoxii. průměr ± smchyba



Graf č. 10. Hrazda v závislosti na hypoxii, průměr ± smchyba



Graf č. 12. Uražená vzdálenost v závislosti na hypoxii, průměr ± smchyba

Naformátováno: Začátek oddílu: Průběžně

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí t-testu

	Průměr - Sham Hypoxie	Průměr - Hypoxie 9000 mnm/60 m	Průměr - Hypoxie 10000 mnm/60 m	t	Sv	p
Únikový čas	39,33	40,39		-0,13	14	0,898
Únikový čas	39,33		26,92	1,76	14	0,100
Únikový čas		40,39	26,92	2,00	14	0,065
Úspěšnost	64,06%	62,50%		0,11	14	0,914
Úspěšnost	64,06%		89,06%	-2,26	14	0,040
Úspěšnost		62,50%	89,06%	-2,55	14	0,023
Hrazda (s)	53,50	48,33		1,23	14	0,238
Hrazda (s)	53,50		47,79	1,29	14	0,217
Hrazda (s)		48,33	47,79	0,11	14	0,914
Vzdálenost (m)	10,22	8,95		0,53	14	0,604
Vzdálenost (m)	10,22		6,39	1,71	14	0,108
Vzdálenost (m)		8,95	6,39	1,95	14	0,071

Tab. č.9 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro faktor - úroveň podstoupené hypoxie (Hypoxie)

t= hodnota testovací statistiky, sv=počet stupňů volnosti, p=dosažená hladina významnosti

Naformátováno: Písmo: 8 b.

Dvouvýběrový t-test není typicky vhodný pro srovnávání více než dvou výběrů, z důvodu nebezpečí velkého růstu chyby výsledků. To lze eliminovat snížením hladiny významnosti

α tak, že požadovanou hladinu α dělíme počtem plánovaných porovnávání. Jde potom o tzv. **Bonferroniho metodu**

[Zvárová, 1998].

Pro tento případ a předpokládané tři porovnání bude hladina statistické významnosti $\alpha=(0,05/3)$ a z toho plyne, že **dosažená hladina významnosti nutná pro zamítnutí nulové hypotézy musí být $p<0,0167$** .

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Naformátováno: Písmo: (výchozí) Arial

Výsledky dvouvýběrového t-testu pro únikové časy v závislosti na úrovni hypoxie jsou pro porovnané dvojice hladin faktoru hypoxie následující:

Sham Hypoxie – Hypoxie 9000 mmm/60m je $t=-0,13$ a $p=0,898$

Sham Hypoxie – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=1,76$ a $p=0,100$

Hypoxie 9000 mmm/60m – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=2,00$ a $p=0,065$

Žádný z těchto výsledků není [pro sledovanou veličinu \(únikové časy\) statisticky významný na dané hladině významnosti.](#)

[Výsledky dvouvýběrového t-testu pro úspěšnost dosažení cíle v závislosti na úrovni](#)

hypoxie jsou pro porovnávané dvojice hladin faktoru hypoxie následující:

Sham Hypoxie – Hypoxie 9000 mmm/60m je $t=-0,11$ a $p=0,914$

Sham Hypoxie – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=-2,26$ a $p=0,040$

Hypoxie 9000 mmm/60m – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=-2,55$ a $p=0,023$

Žádný z těchto výsledků není [pro sledovanou veličinu \(úspěšnost dosažení cíle\) statisticky významný na dané hladině významnosti.](#)

[Výsledky dvouvýběrového t-testu pro hrazdu v závislosti na úrovni hypoxie](#) jsou pro

porovnávané dvojice hladin faktoru hypoxie následující:

Sham Hypoxie – Hypoxie 9000 mmm/60m je $t=1,23$ a $p=0,238$

Sham Hypoxie – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=1,29$ a $p=0,217$

Hypoxie 9000 mmm/60m – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=0,11$ a $p=0,914$

Žádný z těchto výsledků není [pro sledovanou veličinu \(hrazda\) statisticky významný na dané hladině významnosti.](#)

[Výsledky dvouvýběrového t-testu pro uraženou vzdálenost v závislosti na úrovni](#)

hypoxie jsou pro porovnávané dvojice hladin faktoru hypoxie následující:

Sham Hypoxie – Hypoxie 9000 mmm/60m je $t=0,53$ a $p=0,604$

Sham Hypoxie – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=1,71$ a $p=0,108$

Hypoxie 9000 mmm/60m – Hypoxie 10000 mmm/60m je $t=1,95$ a $p=0,071$

Žádný z těchto výsledků není [pro sledovanou veličinu \(uražená vzdálenost\) statisticky významný na dané hladině významnosti.](#)

Testování výsledků posledního experimentálního dne pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu

	SČ	SV	PČ	F	p
Únikový čas (s)	897,87	2	448,93	2,11	0,147
Chyba	4476,05	21	213,15		
Úspěšnost (%)	0,36	2	0,18	3,07	0,068
Chyba	1,21	21	0,06		
Hrazda (s)	158,86	2	79,43	0,97	0,396
Chyba	1720,88	21	81,95		

Vzdálenost (m)	60,87	2	30,44	1,84	0,183
Chyba	346,68	21	16,51		

Tab. č. 12 Výsledky jednofaktorové ANOVA analýzy faktor_úroveň hypoxie (Hypoxie)
 SČ – součet čtverců, PČ – průměrný čtverec, SV – počet stupňů volnosti, F – hodnota testovací statistiky, p – dosažená hladina statistické významnosti

Výsledkem jednofaktorové analýzy shodnosti průměrů **únikových časů** v závislosti na úrovni hypoxie (Sham hypoxie, Hypoxie 9000 mmn/60 m, Hypoxie 10000 mmn/60 m) je hodnota testovací statistiky s příslušnými stupni volnosti **F(2,22)=2,11** a dosažená hladina statistické významnosti **p=0,147**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **úspěšnosti dosažení cíle** v závislosti na prostředí je pak **F(2,22)=3,07** a dosažená hladina statistické významnosti je **p=0,068**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **hrazdy** v závislosti na prostředí je pak **F(2,22)=0,97** a dosažená hladina statistické významnosti je **p=0,396**.

Hodnota testovací statistiky F pro závislost průměrů **uražené vzdálenosti** v závislosti na prostředí je pak **F(2,22)=1,84** a dosažená hladina statistické významnosti je **p=0,183**.

Žádná z těchto závislostí není **statisticky významná na dané hladině** významnosti.

Z výsledků je patrný pozitivní vliv hypoxického působení (hypoxie 10000 mmn/60m) na kognitivní vlastnosti potkanů. Pomocí statistického testování nebyl ovšem tento vliv vyhodnocen jako statisticky významný. Je nutné si totiž uvědomit, že dvouvýběrový *t*-test není vhodný pro hodnocení více průměrů. Chceme-li tedy hodnotit tři hladiny hypoxie, je nutné použít korekci hladiny statistické významnosti (Bonferroniho metoda). Pokud bychom tak neučinili, dostali bychom falešně pozitivní výsledek. A to takový, že vliv hypoxického působení je statisticky významný pro veličinu úspěšnost dosažení cíle a porovnávání dvojice hladin faktorů Sham Hypoxie – Hypoxie 10000 mmn/60m a Hypoxie 9000 mmn/60m – Hypoxie 10000 mmn/60m. Skutečnost že rozdíl v hodnotách průměru sledovaných veličin v poslední experimentální den není statisticky významný, potvrzuje jednofaktorová analýza rozptylu. Tímto testováním nebyl vliv hypoxie, prokázán jako statisticky významný.

Krabicové grafy pro výsledky *t*-testu a grafy efektu faktorů pro jednofaktorovou analýzu rozptylu jsou uvedeny v Příloze č.2 a č.3. Výsledky testování pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu jsou uvedeny v kapitole 4.2.4.

Závislost výkonu na testovaném jedinci

	SČ	SV	PČ	F	p
Jedinec - únikový čas	41052	23	1785	5,539	<0,001
Chyba	239726	744	322		

Tab. č.15. Jednofaktorová ANOVA – závislost výkonu na testovaném jedinci

SČ – součet čtverců, PČ – průměrný čtverec, SV – počet stupňů volnosti, F – hodnota testovací statistiky, p – dosažená hladina statistické významnosti

Pomocí analýzy rozptylu jsem zjistil **statisticky významnou závislost** výkonu na, v experimentu testovaném, jedinci. Nejedná se v žádném případě o překvapivé zjištění, neboť tato skutečnost odráží vnitrodruhovou variabilitu mezi jedinci jednoho druhu.

Hodnoty statistik jsou následující **F(23, 744)=5,539, p<0,001**.

Výsledky tréninku jednotlivých potkanů v příslušných dnech experimentu jsou uvedeny v Příloze č.1, grafické zaznamenání výsledků potkanů pro veličinu únikové časy je pak v Příloze č.7

Únikové časy (s)

~~Výsledky t-testu pro únikové časy v závislosti na typu hypoxie jsou **t=0,131, p=0,988** pro dvojici Sham hypoxie a Hypoxie 9000 mm/60 m a **t=1,762, p=0,0999** pro dvojici Sham hypoxie a Hypoxie 10000 mm/60 m. Rozdíly mezi různými typy hypoxie nejsou statisticky významné na dané hladině statistické významnosti. Rozdíl mezi Sham hypoxií a Hypoxií 10000 mm/60 m. je ovšem statisticky významný na hladině **p=0,1**.~~

Úspěšnost dosažení cíle (%)

4.2.4. Vícefaktorové testování pro všechny faktory současně

Na předešlých stranách práce byl případný vliv jednotlivých faktorů zkoumán odděleně a navíc pouze pro výsledky posledního dne experimentu. V případě tohoto experimentu obsahují jednotlivé experimentální skupiny poměrně malé množství zvířat. Metodou, kterou lze v tomto případě s výhodou použít, je vícefaktorová analýza rozptylu. Tato metoda umožní současné testování vlivu všech faktorů sledovaných v pokusu na všechny měřené veličiny. Umožní také zkoumat vzájemné interakce těchto faktorů.

Kvůli větší přehlednosti textu jsou všechny výsledky vícefaktorového testování uvedeny v této kapitole. V Příloze č.4 jsou uvedeny grafy všech statisticky významných výsledků. Dále jsou v této Příloze uvedeny ověření předpokladů korektního použití vícefaktorové analýzy rozptylu.

4.2.4.1. Vícefaktorová analýza všech měřených veličin

Jako závislé proměnné byly testovány všechny měřené veličiny (únikový čas, úspěšnost dosažené cíle, hrazda, uražená vzdálenost). Jednotlivé zkoumané faktory byly: pořadí experimentálního dne (Session 1-4), prostředí (na úrovních standardního – SH+single a obohaceného – EE+M.Tr. prostředí), podaná anestezie (Thiopental, Sal) a úroveň podstoupené hypoxie (úrovně faktoru jsou Sham Hypoxie, Hypoxie 9000 mmm/60m a Hypoxie 10000 mmm/60m).

Hladina statistické významnosti je pro všechny případy $p\alpha = 0,05$

Výsledné hodnoty testovacích statistik F při testování vlivu jednotlivých faktorů (pořadí experimentálního dne, prostředí, podané anestezie a úrovně hypoxie) a jejich vzájemných interakcí na měřené veličiny (únikové časy, úspěšnost dosažení cíle, hrazda, uražená vzdálenost) byly zjištěny pomocí vícerozměrné vícefaktorové ANOVA analýzy rozptylu.

Testem použitým při testování byl Wilksův test (stručný popis testu je uveden na straně 33). Výsledky jsou prezentovány pomocí dosažené hladiny statistické významnosti a hodnoty příslušné testovací statistiky s odpovídajícími stupni volnosti. Příslušné stupně volnosti (jednotlivých faktorů i jejich interakcí) se vypočtou z příslušných matic meziskupinové variability a z matic vnitroskupinové variability.

Jako statisticky významný byl na dané hladině významnosti hodnocen efekt pořadí experimentálního dne (Session) - $F(12, 119)=11,83, p<0,0001$, efekt prostředí, ve kterém potkání žijí (Housing) - $F(4, 45)=4,01, p=0,0072$, a efekt úrovně podstoupené hypoxie (Hypoxie) - $F(8, 90)=4,62, p=0,0001$ pro dané sledované veličiny.

Jako statisticky nevýznamný byl hodnocen efekt všech následujících faktorů a interakcí faktorů na dané sledované veličiny. Výsledky hodnocení pro vliv efektu podané anestezie (Anestezie) byly $F(4,45)=1,85, p=0,1368$. Výsledky statistik pro interakci faktorů pořadí experimentálního dne a prostředí (Session*Housing) byly $F(12, 119)=0,76, p=0,6875$. Pro interakci faktorů pořadí experimentálního dne a hypoxie (Session*Hypoxie) jsem získal hodnoty $F(24,158)=0,99, p=0,4844$. Pro interakce faktorů prostředí a hypoxie

Naformátováno: Písmo: (výchozí)
Arial, Tučné

(**Housing*Hypoxie**) jsou hodnoty testovací statistiky **F(8, 90)=1,94 a p=0,063**. Výsledné statistiky interakce faktorů pořadí experimentálního dne a podané anestezie (**Session*Anestezie**) byly **F(12, 119)=0,46, p=0,9324**. Dále byly zjištěny hodnoty statistik pro interakci faktorů prostředí a anestezie (**Housing*Anestezie**) - **F(4, 45)=0,51, p=0,7314**, pro interakci faktorů hypoxie a anestezie (**Hypoxie*Anestezie**) - **F(8, 90)=1,24, p=0,2869**. Hodnoty statistik interakcí více faktorů, byly dále určeny pro interakce faktorů prostředí, pořadí experimentálního dne a hypoxie (**Session*Housing*Hypoxie**) - **F(24, 158)=0,52, p=0,9695**, dále pak pro interakci faktorů pořadí experimentálního dne, prostředí a anestezie (**Session*Housing*Anestezie**) – **F(12, 119)=0,74, p=0,7112**, pro interakci faktorů pořadí experimentálního dne, hypoxie a anestezie (**Session*Hypoxie*Anestezie**) - **F(24, 158)=0,89, p=0,6126**, pro interakci faktorů prostředí, hypoxie a anestezie (**Housing*Hypoxie*Anestezie**) - **F(8, 90)=2,03, p=0,0511** a konečně pro interakci faktorů pořadí experimentálního dne, prostředí, hypoxie a anestezie (**Session*Housing*Hypoxie*Anestezie**) - **F(24, 158)=0,48, p=0,9803**.

	Wilksovo λ	F	SV _{meziskupinový}	SV _{vnitroskupinový}	p
Abs. člen	0,01	1673,03	4	45	<0,0001
Session	0,13	11,83	12	119	<0,0001
Housing	0,74	4,01	4	45	0,0072
Hypoxie	0,50	4,62	8	90	0,0001
Anestezie	0,86	1,85	4	45	0,1368
Session*Housing	0,82	0,76	12	119	0,6875
Session*Hypoxie	0,61	0,99	24	158	0,4844
Housing*Hypoxie	0,73	1,94	8	90	0,0630
Session*Anestezie	0,89	0,46	12	119	0,9324
Housing*Anestezie	0,96	0,51	4	45	0,7313
Hypoxie*Anestezie	0,81	1,24	8	90	0,2869
Session*Housing*Hypoxie	0,77	0,52	24	158	0,9695
Session*Housing*Anestezie	0,83	0,74	12	119	0,7112
Session*Hypoxie*Anestezie	0,64	0,89	24	158	0,6126
Housing*Hypoxie*Anestezie	0,72	2,03	8	90	0,0511
Session*Housing*Hypoxie*Anestezie	0,78	0,48	24	158	0,9803

[Tab. č.13 Vícerozměrná více faktorová ANOVA – faktory a interakce mezi nimi](#)

Wilksovo λ – výsledná hodnota Wilksova testu, **SV** – počet stupňů volnosti (pro vnitroskupinový i meziskupinový součet čtverců),

F – hodnota testovací statistiky, **p** – dosažená hladina statistické významnosti

Grafy efektů faktorů a jejich interakcí, které byly hodnoceny jako statisticky významné jsou uvedeny v Příloze č.4. Stejně tak jsou v této příloze uvedeny grafy sloužící pro ověření předpokladu normálnosti dat. V Příloze č.6 jsou uvedeny popisné statistiky pro všechny kombinace úrovní faktorů pro danou vícefaktorovou analýzu.

Jednorozměrné testování

V Příloze č.5 jsou uvedeny výsledky jednorozměrného vícefaktorového testování samostatně pro každou měřenou veličinu. Z tabulky je patrný statisticky významný vliv odděleného působení faktorů pořadí experimentálního dne (Session, $p < 0,001$) a hypoxie (Hypoxie, $p < 0,05$) na všechny z měřených veličin. Pouze pro sledovanou veličinu **Úspěšnost dosažení cíle** byl také jako statisticky významný vyhodnocen vliv faktoru anestezie (Anestezie, $p = 0,0118$) a navíc i interakce faktorů pořadí experimentálního dne a hypoxie (Session*Hypoxie, $p = 0,0426$), faktorů hypoxie a anestezie (Hypoxie*Anestezie, $p = 0,0341$) a faktorů prostředí hypoxie a anestezie (Housing*Hypoxie*Anestezie, $p = 0,0153$).

4.2.4.2. Vícefaktorová analýza pro měřené veličiny – únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost

V případě, že byly pomocí vícefaktorové analýzy rozptýly testovány pouze ty měřené veličiny, které přímo souvisely s tréninkem v Morrisově vodním bludišti (tj. únikový čas, úspěšnost dosažení cíle a uražená vzdálenost), jsem pro sledované faktory (pořadí experimentálního dne, prostředí, podaná anestezie, podstoupená hypoxie) zjistil následující výsledky testovacích statistik. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 14.

	Wilksovo λ	F	SV _{meziskupinový}	SV _{vnitroskupinový}	p
Abs. člen	0,01	1990,27	3	46	<0,0001
Session	0,16	14,28	9	112	<0,0001
Housing	0,74	5,34	3	46	0,0031
Hypoxie	0,57	5,01	6	92	0,0002
Anestezie	0,87	2,34	3	46	0,0854
Session*Housing	0,85	0,83	9	112	0,5905
Session*Hypoxie	0,65	1,19	18	131	0,2779
Housing*Hypoxie	0,73	2,62	6	92	0,0215
Session*Anestezie	0,90	0,54	9	112	0,8397
Housing*Anestezie	0,97	0,55	3	46	0,6491
Hypoxie*Anestezie	0,82	1,59	6	92	0,1595
Session*Housing*Hypoxie	0,84	0,46	18	131	0,9690
Session*Housing*Anestezie	0,87	0,73	9	112	0,6856
Session*Hypoxie*Anestezie	0,74	0,80	18	131	0,6984
Housing*Hypoxie*Anestezie	0,78	2,08	6	92	0,0632
Session*Housing*Hypoxie*Anestezie	0,86	0,40	18	131	0,9863

Tab. č.14 Víceřozměrná vícefaktorová ANOVA – faktory a interakce mezi nimi

Wilksovo λ – výsledná hodnota Wilksova testu, *SV* – počet stupňů volnosti (pro vnitroskupinový i meziskupinový součet čtverců),
F – hodnota testovací statistiky, *p* – dosažená hladina statistické významnosti

Jako statisticky významný byl na dané hladině významnosti hodnocen efekt pořadí experimentálního dne (**Session**) $F(9, 112)=14,28, p<0,0001$, efekt prostředí, ve kterém potkání žijí (**Housing**) - $F(3, 46)=5,34, p=0,0031$, a efekt úrovně podstoupené hypoxie (**Hypoxie**) - $F(6, 92)=5,01, p=0,0002$. A na rozdíl od výsledků analýzy efektů pro všechny měřené veličiny se po redukcí veličin v analýze (bez hrazdy) stal statisticky významný i efekt interakce faktorů prostředí a hypoxie (**Housing*Hypoxie**) - $F(6, 92)=2,62, p=,0215$. Efekty ostatních faktorů a interakcí faktorů, které nebyly hodnoceny jako statisticky významné, jsou přehledně uvedeny v tabulce včetně příslušných stupňů volnosti.

Grafy efektů faktorů a interakcí faktorů, které byly hodnoceny jako statisticky významné, jsou také uvedeny v Příloze č.4. V Příloze č.6 jsou uvedeny popisné statistiky pro všechny kombinace úrovní faktorů pro danou vícefaktorovou analýzu

4.5.4.3. Diskuse výsledků

Ve výsledkové části jsou prezentovány výsledky, které v této části budou diskutovány a komentovány. Členění kapitoly bylo takové, aby co nejvíce korespondovalo s vytýčenými cíli práce. Byl zkoumán případný pozitivní vliv životního prostředí a hypoxického působení na kognitivní schopnosti potkanů. Dále jsem testoval zda je možné vyloučit negativní vliv podání anestetika na tyto schopnosti. Kromě odděleného hodnocení výsledků posledního experimentálního dne pro každý z faktorů, jsem podrobil výsledky vícefaktorovému testování, při kterém jsem zkoumal vzájemný vliv faktorů a jejich interakcí po celou dobu trvání experimentu.

Rozdíly výsledků mezi hladinami faktoru životního prostředí potkanů nebyly velké. Jako nejvýznamnější v poslední den experimentu se jevila vyšší průměrná úspěšnost dosažení cíle v Morrisově bludišti u potkanů žijících v obohaceném prostředí (úspěšnost 46,88%) než u potkanů žijících ve standardních obydlích (úspěšnost 40,36%).

Naformátováno: Písmo: 12 b.

Naformátováno: Odrážky a číslování

Při hodnocení případného negativního vlivu podání anestetika se největší rozdíly mezi skupinami projevily u veličiny únikový čas a úspěšnost dosažení cíle. Potkani, jimž bylo podáno anestetikum Thiopental, dosahují poslední experimentální den průměrně lepších výsledků (úspěšnost 47,92% a únikový čas 46,74 s) než skupina, které byl podán pouze fyziologický roztok (úspěšnost 38,28% a 50,40 s).

V případě úrovně podstoupené hypoxie dosáhli potkani, kteří podstoupili hypobarickou hypoxii odpovídající nadmořské výšce 10000 mnm/60m lepších výsledků (úspěšnost 54,69%, únikový čas 44,22s) než potkani, kteří podstoupili hypoxii odpovídající výšce 9000 mnm/60m (úspěšnost 34,77%, únikový čas 53,17s) nebo byli v kontrolní skupině (úspěšnost 42,19%, únikový čas 48,32s). V kontextu těchto výsledků je překvapivé, že v testu na hrazdě byly výsledky opačné a potkani vystavení hypoxii 10000 mnm/60m (hrazda 37,50s) dosáhli horších výsledků než potkani, kteří podstoupili hypoxii 9000 mnm/60m (hrazda 40,5s) a především než kontrolní skupina (hrazda 45,41s). Jedná se opět o průměrné výsledky posledního experimentálního dne.

Při ověřování těchto domněnek pomocí dvouvýběrového *t*-testu (pro faktor Hypoxie byla použita Bonferroniho metoda, což je *t*-test s modifikovanou hladinou významnosti), nebyl ale prokázán jako statisticky významný žádný z vlivů jednotlivých hladin faktorů pro dané měřené veličiny. Testování probíhalo na hodnotách veličin naměřených poslední experimentální den (Session 4). Výsledky *t*-testu korespondují s výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu, která byla prováděna na stejných naměřených hodnotách jako *t*-testy. Ani pomocí této analýzy se nepodařilo prokázat statisticky významné vlivy jednotlivých hladin faktorů.

Pomocí analýzy rozptylu jsem určil jako statisticky významnou závislost výkonu na testovaném jedinci **F(23, 744)=5,539, p<0,001**. Tuto skutečnost lze pozorovat v grafu v Příloze č.7 a odráží vnitroskupinovou variabilitu jedinců a nejedná se tedy o žádné překvapení.

Testování pomocí více faktorové analýzy rozptylu jsem rozdělil na dvě části. Nejprve jsem pro všechny měřené veličiny (únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, hrazda, uražená vzdálenost) testoval vlivy všech sledovaných faktorů (pořadí experimentálního dne, prostředí, anestezie a hypoxie) a interakce těchto faktorů. Zde jsem určil jako statisticky významné vlivy faktorů pořadí experimentálního dne (**Session**) - **F(12, 119)=11,83**,

p<0,0001, prostředí (**Housing**) - **F(4, 45)=4,01, p=0,0072** a úrovně podstoupené hypoxie (**Hypoxie**) - **F(8, 90)=4,62, p=0,0001**. Vliv pořadí experimentálního dne odráží skutečnost, že všichni potkani se při testování učí a je zřejmé, že průměrné výsledky potkanů mají zlepšující se tendenci. Například průměrné únikové časy v jednotlivých dnech experimentu byly 53,86s (1. den), 48,91s (2. den), 40,16s (3. den) a 33,27s (poslední experimentální den). S ohledem na životní prostředí dosahovali lepších výsledků (při současném zkoumání všech veličin po celou dobu experimentu) potkani chovaní v obohaceném prostředí (46,57s, pro únikové časy) než potkani chovaní ve standardních klecích (50,58s). Při stejném způsobu hodnocení dosahovali mnohem lepších výsledků potkani, kteří podstoupili hypoxii 10000 mm/60m (54%, pro úspěšnost dosažení cíle) než potkani vystavení hypoxii 9000 mm/60m (35%) a než kontrolní skupina (42%). Vliv jiných faktorů a jejich interakcí nebyl hodnocen jako statisticky významný. Konkrétní numerické výsledky jsou uvedeny v Příloze č.6.

Ve druhé části vícefaktorového testování jsem použil pouze veličiny, které přímo souvisely s tréninkem v Morrisově vodním bludišti (tj. únikový čas, úspěšnost dosažení cíle a uražená vzdálenost). Tuto variantu jsem zvolil z toho důvodu, že lépe odráží trénink kognitivních schopností, než jejich spojení s tréninkem na hrazdě, kde se trénuje nejvíce rovnováha. Jako statisticky významný jsem určil vliv faktorů pořadí experimentálního dne (**Session**) **F(9, 112)=14,28, p<0,0001**, prostředí (**Housing**) - **F(3, 46)=5,34, p=0,0031** a hypoxie (**Hypoxie**) - **F(6, 92)=5,01, p=0,0002**. Vlivy hladin faktorů na výsledky jsou stejné jako o odstavce výše. Na rozdíl od varianty, kdy byl testován vliv faktorů na všechny měřené veličiny, jsem v tomto případě určil ještě jako statisticky významný vliv interakce faktorů prostředí a hypoxie (**Housing*Hypoxie**) - **F(6, 92)=2,62, p=0,0215**. Při podrobnějším prostudování příslušných výsledků (Příloha č.6) lze zjistit, že nejlepších průměrných výsledků dosahují potkani chovaní v obohaceném prostředí s úrovní podstoupené hypoxie 10000 mm/60m (únikový čas 40,03 s, úspěšnost 52,34 %, uražená vzdálenost 7,72 m) a nejhorsích výsledků naopak potkani chovaní samostatně ve standardních klecích, kteří podstoupili hypoxii 9000 mm/60m (únikový čas 55,03 s, úspěšnost 28,13%, uražená vzdálenost 9,51 m).

Skutečnost, že vliv interakce těchto faktorů byl hodnocen jako statisticky významný pouze při omezení sledovaných veličin, může být zapříčiněna akcentací veličin souvisejících přímo s tréninkem v Morrisově vodním bludišti. Tyto veličiny mají zřejmě významně větší vliv na výsledky interakce faktorů prostředí a hypoxie než výsledky tréninku rovnováhy

(hrazda). Tyto výsledky považuji za důležité ověřit opakováním pokusu. Další interakce faktorů nebyly určeny jako statisticky významné. Konkrétní numerické výsledky jsou uvedeny v Příloze č.6.

Za významný považuji fakt, že při žádné výše uvedené variantě testování **nebyl zjištěn žádný statisticky významný vliv podání anestezie** (ani interakce tohoto faktoru s jiným). Lze tedy konstatovat, že podání anestetika (Thiopental) přinese stejné výsledky tréninku jako podání pouze fyziologického roztoku. To je významné pokud je důležité znehybnit potkany v průběhu experimentu (např. pro provedení zobrazovací metody).

~~pořadí experimentálního dne jak na únikový čas ($F=7,068$, $p<0,001$), tak na úspěšnost dosažení cíle ($F=9,347$, $p<0,001$). Vliv životního prostředí v závislosti na typu hypoxie jako statisticky významný byl pozorován pouze na měřených únikových časech ($F=5,511$, $p=0,006$). Současný vliv životního prostředí a experimentálního dne byl pro obě veličiny nevýznamný.~~

Ze zjištěných výsledků lze usuzovat na pozitivně stimulační vliv hypobarické hypoxie na kognitivní schopnosti potkanů. Tato skutečnost již byla v literatuře popsána [4,9 Wittner, Transient Hypobaric..., 2005]. Jednalo se ale o mírný hypobarický stres, odpovídající nadmořské výšce 7000 mnm/60m. Tento stres všichni potkani snášejí většinou dobře, zatímco námi použitý tlak odpovídající nadmořské výšce 10000 mnm/60m. je na samé hranici jejich přežívání. Při expozici takovéto hypoxii umíralo přibližně 60 % potkanů přímo v hypobarické komoře. Je tedy nutné opakováním experimentu zjistit, zda se nejedná o jistou formu selekce pro život nejlépe vybavených jedinců.

Statisticky významná souvislost mezi pořadím experimentálního dne a naměřenými výsledky je zřejmá, neboť potkan postupným učením zlepšuje svoje výsledky ve všech směrech.

V literatuře popsaná souvislost mezi obohaceným životním prostředím a lepšími výsledky trénovaných potkanů [Lippert-Gruner, 2007] byla pozorována při vícefaktorovém testování také v současném interakci vztahu s typem úrovní hypoxie (při omezení hodnocených veličin na únikový čas, úspěšnost dosažení cíle a uraženou vzdálenost). Dle naměřených výsledků dosahovali signifikantně lepších výsledků při měření únikových časů potkani žijící v obohaceném životním prostředí, kteří byli vystaveni hypoxii odpovídající tlaku

910000 mmm/60m. Proč tato skutečnost nenastala u potkanů, kteří byli vystaveni hypoxii 409000 mmm/60m., žijících v témže obohaceném prostředí by mohla být tématem dalšího pokračování experimentu.

Problémem [výsledků naměřených dat](#) je jejich velká variabilita, kterou lze omezit použitím relativních měřených veličin (menší rozptyl hodnot výsledků v případě úspěšnosti dosažení cíle než u únikových časů). Také by bylo užitečné zvětšit experimentální skupiny (v tomto případě opakováním experimentu). Vícefaktorová analýza rozptylu umožňuje zároveň hodnotit více faktorů v rámci menší skupiny, ale výrazným zvětšením této skupiny by se dle mého názoru snížila i variabilita výsledků.

5. Závěr

Kognitivní schopnosti u potkanů byly testovány pomocí úkolu nalezení skrytého cíle v Morrisově vodním bludišti. Testování rovnováhy pak pomocí hrazdy (modifikovaný test rovnováhy na kladině). Zkoumanými faktory které měly mít vliv na kognitivní schopnosti byly: životní prostředí potkanů, úroveň podstoupené hypoxie, podaná anestezie, pořadí experimentálního dne a závislost výkonu na testovaném jedinci. Veličinami použitými pro hodnocení vlivu jednotlivých faktorů byly: únikový čas, úspěšnost dosažení cíle, uražená vzdálenost (pro testování kognitivních schopností) a výdrž na hrazdě (pro testování rovnováhy). Testoval jsem odděleně výsledky posledního experimentálního dne a dále výsledky z průběhu celého experimentu.

Žádný z výsledků posledního dne experimentu nebyl hodnocen jako statisticky významný ani pomocí dvouvýběrového t-testu ani pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu.

Při testování výsledků všech experimentálních dnů byla zjištěna vnitrodruhová variabilita schopností potkana a tedy i závislost výkonu na testovaném jedinci **F(23, 744)=5,539, p<0,001**. Potvrdilo se zlepšování výkonů v závislosti na pořadí experimentálního dne ((**Session**) - **F(12, 119)=11,83**). Statisticky významně lepších výsledků dosahovali potkani chovaní v obohaceném prostředí než potkani držení ve standardních klecích ((**Housing**) - **F(4, 45)=4,01, p=0,0072**). A také potkani kteří podstoupili hypoxii 10000 mmm/60m dosáhli lepších výsledků než potkani, kteří podstoupili hypoxii 9000 mmm/60m nebo byli v kontrolní skupině ((**Hypoxie**) - **F(8, 90)=4,62, p=0,0001**).

Při omezení vícefaktorové analýzy rozptylu na veličiny únikový čas, úspěšnost dosažení cíle a uražená vzdálenost (tj. na veličiny související přímo s tréninkem v Morrisově vodním bludišti), byly statisticky významné výsledky podobné. Opět bylo možné pozorovat pozitivní vliv pořadí experimentálního dne ((**Session**) $F(9, 112)=14,28$, $p<0,0001$), chovu potkanů v obohaceném prostředí ((**Housing**) - $F(3, 46)=5,34$, $p=0,0031$) a hypoxického působení ((**Hypoxie**) - $F(6, 92)=5,01$, $p=0,0002$). Navíc se jako statisticky významný ukázal vliv interakce faktorů prostředí a hypoxie ((**Housing*Hypoxie**) - $F(6, 92)=2,62$, $p=0,0215$). Nejlepších výsledků dosáhli potkani držení v obohaceném prostředí, kteří podstoupili hypoxii 10000 mm/60m. Nejhorších výsledků pak dosáhli potkani držení ve standardních klecích, kteří podstoupili hypoxii 9000 mm/60m.

Jiné výsledky nebyly hodnoceny jako statisticky významné, což je důležité pro vliv faktoru podané anestezie, kdy podání anestetika (Thiopental) neovlivňuje výsledky učení.

Z cílů práce byl prokázán pozitivní vliv obohaceného prostředí a mírného hypoxického působení (vícefaktorovou analýzou rozptylu), což potvrzuje výsledky uváděné v literatuře. Také bylo prokázáno, že podání Thiopentalu neovlivňuje výsledky učení.

Pokračováním experimentu může být zkoumání skutečnosti, proč hypoxie 9000 mm/60m nemá (na rozdíl od hypoxie 10000 mm/60m) pozitivní vliv na kognitivní schopnosti potkanů. Dále pak ověření, zda jiné věkové skupiny potkanů dosahují výsledků stejných či odlišných.

6. Seznam názvů a zkratk

AGE	Věk od narození ve dnech	Naformátováno: Písmo: 10 b.
ANOVA	Analýza rozptylu	Naformátováno: Písmo: 10 b.
BBT	Beam balance test (test rovnováhy)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
DATE	Datum ve formátu rr-mm-dd	Naformátováno: Písmo: 10 b.
DAY	Den v týdnu	Naformátováno: Písmo: 10 b.
DOB	Date of birth (datum narození potkana)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
EE	Obohacené životní prostředí (skupinové obydlí)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
EXPER	Experimentátor	Naformátováno: Písmo: 10 b.
▲	M.T. – Michal Tůma	Naformátováno: Písmo: 10 b.
▲	M.W. – Michal Wittner – pro data naměřená v rámci výuky zacházení se systémem	Naformátováno: Písmo: 10 b.
F	Hodnota F statistiky	Naformátováno: Písmo: 10 b.
HOUSING	Typ prostředí	Naformátováno: Písmo: 10 b.
HYPOXIE	Hypoxie odpovídající nadmořské výšce 10000 metrů nad mořem, 10000 mnm/60m doba trvání 60 minut	Naformátováno: Písmo: 10 b.
HYPOXIE	Hypoxie odpovídající nadmořské výšce 7000 metrů nad mořem, 7000 mnm/60m doba trvání 60 minut	Naformátováno: Písmo: 10 b.
HYPOXIE	Hypoxie odpovídající nadmořské výšce 9000 metrů nad mořem, 9000 mnm/60m doba trvání 60 minut	Naformátováno: Písmo: 10 b.

<u>J</u> D	Identifikační číslo potkana	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>J</u> IR	Infra red (infračervený)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>L</u> ENGHT	Potkanem uražená vzdálenost v dané plavě (px)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>M</u> e	Medián	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>M</u> .Tr.	Motorický trénink na rotátoru 5 minut (5 otáček/minutu)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>N</u> MRI	Zobrazení jadernou magnetickou rezonancí	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>p</u>	Hladina statistické významnosti	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>P</u> Č	Průměrný čtverec	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>P</u> ROT	Experimentální protokol	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> AL	Fyziologický roztok	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> Č	Součet čtverců	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> EM	Směrodatná chyba průměru	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> ES-HYP	Hypoxie v daném experimentálním dni	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> ESSION	Označení experimentálního dne	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> EX	Pohlaví potkana	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> H + single	Standardní klec, umístění v kleci po jednom	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> HAM HYPOXIE	Kontrolní skupina bez hypoxie	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> TRAIN	Použitý kmen potkanů	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u> V	Stupeň volnosti	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>T</u> EMP	Teplota vody v bludišti ve °C	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>T</u> IME	Dosažený únikový čas (s)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>T</u> ₂ -TEST	Dvouvýběrový <i>t</i> -test, <i>t</i> je testovací statistika párového <i>t</i> -testu	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>T</u> V	Televizní	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>V</u> GA	Grafická karta	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>W</u> ATER	Typ vodního prostředí v bludišti	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>W</u> EIGHT	Váha potkana (g)	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>W</u> ILKSOVO λ	Výsledná hodnota Wilksova testu	Naformátováno: Písmo: 10 b.
<u>S</u>	Výběrová S směrodatná výběrová odchylka	Naformátováno: Písmo: 10 b.
σ	Hodnota <i>i</i> -té změřené hodnoty	Naformátováno: Písmo: 10 b.
x_i	Aritmetický průměr	Naformátováno: Písmo: 10 b.
\bar{x}	Jsou-li hodnoty měření seřazené podle velikosti, jde o hodnotu která má pořadí $(n / 2)$, kde <i>n</i> je počet měření	Naformátováno: Písmo: 10 b.
$x_{n/2}$	Jsou-li hodnoty měření seřazené podle velikosti, jde o hodnotu která má pořadí $((n / 2) + 1)$, kde <i>n</i> je počet měření	Naformátováno: Písmo: 10 b.
$x_{n/2+1}$		

7. Použitá literatura

ANDĚL, Jiří. *Matematická statistika*. Praha: SNTL, 1985. 346 s.

ANDĚL, Jiří. *Statistické metody*. Praha: MATFYZPRESS, 2003. 299 s.
ISBN 80-86732-08-8.

BUREŠ, Jan; FENTON, André A. Neurophysiology of spatial Cognition. In: *News Physiol. Sci.* Roč. 15 (2000), č. 5, s. 233-240. ISSN 1522-161X.

BUREŠOVÁ, Olga, et al. On-demand platform improves accuracy of the Morris water maze procedure. In: *Journal of Neuroscience Methods*. Roč. 15 (1985), č. 1, s. 63-72. ISSN 0165-0270.

BLATNÁ, Dagmar. *Metody statistické analýzy*. Praha: Bankovní institut vysoká škola, 2004. 92 s. ISBN 80-7265-062-9.

FISHER, Ronald A. *Statistical methods for research workers* [online]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1925 [cit. 2007-11-3].

Dostupný z <http://psychclassics.yorku.ca/Fisher/Methods/>.

HAVRÁNEK, Tomáš. *Statistika pro biologické a lékařské vědy*. Praha : Academia, 1993. 478 s. ISBN 80-200-0080-1.

HENDL, Jan. *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál, 2006. 583 s. ISBN 80-7367-123-9.

HULL, Clark Leonard. The concept of the habit family hierarchy and maze learning: Part 1. In: *Psychol. Rev.* Roč. 41 (1934), č. 1, s. 33-54. ISSN 0033-295X.

KALINOVÁ, Blanka. *Učení a paměť* [online]. [cit 2007-08-26].

Dostupný z: <http://rum.bf.jcu.cz/public/kalinova/texty/>.

☚

LIPPERT-GRUNER, Marcela a kol. Early rehabilitation model shows positive effects on neural degeneration and recovery from neuromotor deficits following traumatic brain injury. In: *Physiol. Res.* Roč. 56 (2007), č. 3, s. 359-368. ISSN 0862-8408.

MITTELSTAEDT, M-L.; MITTELSTAEDT, H. Homing by path integration in a mammal. In: *Naturwissenschaften*. Roč. 67 (1980), č. 11, s. 566 – 567. ISSN 0028-1042.

MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy včetně CD*. Praha : Academia, 2002. 764 s. ISBN 80-200-1008-4.

MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří; HILL, Martin. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Praha : Academia, 2005. 449 s. ISBN 80-200-1335-0.

Naformátováno: Odsazení: Vlevo: 0 cm, První řádek: 1,24 cm

MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. *Statistický analýza experimentálních dat.*

Praha : Academia, 2004. 953 s. ISBN 80-200-1254-0.

MORRIS, Richard G. M. Long-Term Potentiation and Memory. In: *Phil. Trans.*

R. Soc. Lond. : series B, Biological sciences. Roč. 358 (2003), č. 1432, s. 643-647.

ISSN 1471-2970.

MORRIS, Richard G. M. Place navigation impaired in rats with hippocampal

lesion. In: *Nature.* Roč. 297 (1982), s. 681-683. ISSN 1476-4687.

MORRIS Richard G. M. Spatial localisation does not depend on the presence of

local cues. In : *Learning and Motivation.* Roč. 12 (1981), č. 2, s. 239-260.

ISSN 0023-9690.

REITEROVÁ, Eva. Přehled historického vývoje statistiky, její význam v současné

době a využití v psychologii. In: *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis :*

Facultas philosophica. Psychologica. Varia psychologica VIII. Roč. 32 (1998),

s. 75-85.

SHERRY, D. F.; SCHACTER, D. L. The evolution of multiple memory systems.

In: *Psychol. Rev.* Roč. 94 (1987), č. 4, s. 439-454. ISSN 0033-295X.

STUHLÍK, Aleš. Prostor a prostorová orientace. In: *Československá Fyziologie.*

Roč. 52 (2003), č. 1, s. 22-33. ISSN 1210-6313.

TELENSKÝ, Petr, et al. Biologická evoluce versus evoluční systémy: porovnání

učení potkana a robota v dynamických prostorových úlohách srovnatelného typu.

In: [KELEMEN, Josef, et al. *Kognice a umělý život 6, Slezská univerzita*](#)

[v Opavě, 2006.](#) s.373-393.

TOLMAN, Edward Chace. Cognitive maps in rats and men. In: *Psychol. Rev.*

Roč. 55 (1948), č. 4, s. 189-208. ISSN 033-295X.

†

TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie.* Praha : Avicenum, 1994. 460 s.

Naformátováno: Odsazení: Vlevo:
1,25 cm, První řádek: 0 cm

ISBN 80-7169-036-8.

TULVING, E. *Elements of episodic memory*. New York : Oxford University Press, 1983. 351 s. ISBN 0198521022.

TULVING, E. How many memory systems are there? In: *American Psychologist*. Roč. 40 (1985), č. 4, s. 385-398. ISSN 0003066X.

WITTNER, Michal. How to experiment with a "sense" of orientation? In: [Kelemen](#) ← **Naformátováno:** Odsazení: Vlevo: 1,24 cm
[KELEMEN](#),

J.; [KVASNIČKA](#), [vasnička](#) V.; [POSPÍCHAL](#), [ospíchal](#) J. *Kognice a umělý život 5*. Slezská univerzita v Opavě, 2005. [s.](#) 625-635. ISBN 80-7248-310-2.

WITTNER, Michal; ŘÍHA, Pavel. Transient Hypobaric Hypoxia Improves Spatial Orientation in Young Rats. In: *Physiol. Res*. Roč. 54 (2005), č. 3, s. 335-340. ISSN 0862-8408.

ZVÁROVÁ, Jana. *Základy statistiky pro biomedicínské obory*. Praha : Karolinum, 1998. 218 s. ISBN 80-7184-786-0.