

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Katedra zoologie

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie



Denisa Kolbábková

Numerické schopnosti u zvířat Numerical competence in animals

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Eva Landová, Ph.D.

Praha, 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 14. 5. 2014

Podpis

Poděkování

Děkuji především své školitelce RNDr. Evě Landové, Ph.D. za vstřícnost a rady poskytované během psaní této bakalářské práce. Dále velice děkuji Doc. RNDr. Danielu Fryntovi, Ph.D. za pomoc při vytváření fylogenetických stromů. A poděkování patří také Bc. Lucii Marhounové za údaje o ekologických faktorech primátů a za pomoc s prací v programu Mesquite.

Abstrakt

Numerická kompetence je kognitivní schopnost používat počet či určit množství. Zahrnuje nejen počítání, ale i schopnosti na nižší kognitivní úrovni, jako je např. sumace nebo relativní početnost. Nejen lidé, ale také mnoho zvířat umí nějakým způsobem uchopit znalosti o množství. Tato kompetence je běžná napříč celou živočišnou říší, od bezobratlých (mravenců či včel), přes obojživelníky a ryby až k ptákům a savcům. Tato bakalářská práce shrnuje výzkum numerických schopností až do současnosti, popisuje také odlišné designy jednotlivých úloh, porovnává numerické schopnosti živočichů a lidí. Na základě vývoje numerické kompetence u lidí je očividné, že numerické schopnosti se vyvíjí postupně a jejich obtížnost stoupá. Proto postulují hypotézu, že by se tato obtížnost mohla odrážet i ve fylogenezi. Na závěr se tudíž věnuji fylogenetické rekonstrukci ancestrálního stavu znaku u různých složitých numerických schopností u savců (primátů) a testuji, zda se ekologické faktory jako je stupeň sociality a extrakce potravy vyvíjely souběžně s numerickými schopnostmi.

Klíčová slova: numerické schopnosti, sumace, relativní a absolutní početnost, ordinalita, transitivity, uchování množství, počítání, srovnávací metoda, Weberův zákon

Abstract

Numerical competence is a cognitive ability, which enables using number or determining quantity. It contains not only counting, but also lower cognitive abilities such as summation or relative numerosness. Not only people, but also many animals can use knowledge about quantity in some way. This competence is common crosswise the whole animal kingdom, from invertebrate animals (ants or honeybees), across amphibians and fish to birds and mammals. This bachelor's thesis summarizes the research of numerical competence up to nowadays, it describes also different designs of individual tasks and compares the abilities of animals and people. Based on the evolution of numerical competence of mankind is evident that numerical competence has developed progressively and its difficultness increases. In order the previous I postulate a hypothesis that this difficultness could reflect in a phylogeny. In the end of this thesis thus I am devoted to a phylogenetic reconstruction estimate of the ancestral character status in mammals (primates) and I test wheather ecological factors such as the sociality degree and the food extraction progressed simultaneously with the numerical competence.

Keywords: numerical competence, summation, relative and absolute numerosness judgement, ordinality, transitivity, conservation of quantity, counting, comparative method, Weber law

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Základní pojmy	2
3.	Ontogenetický vývoj numerických schopností u dětí do 8 let	3
4.	Primáti a jejich numerické schopnosti	5
4.1.	Vyšší primáti (<i>Anthropoidea</i>)	5
4.1.1.	Nejsložitější stadium numerických schopností u šimpanzů (<i>Pan troglodytes</i>)	5
4.1.2.	Schopnost pravého počítání u gorily (západní) nížinné (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>)	7
4.1.3.	Orangutan (<i>Pongo pygmaeus</i>) a „conservation of quantities“	8
4.1.4.	Druhý nejčastěji testovaný primát makak rhesus (<i>Macaca mulatta</i>)	8
4.1.5.	Stadium numerických schopností u paviána anubi (<i>Papio anubis</i>)	11
4.1.6.	Numerická kompetence u novosvětských opic rodu <i>Saimiri</i> a <i>Cebus</i>	12
4.2.	Poloopice (<i>Prosimii</i>)	13
5.	Numerické schopnosti používané šelmami	13
6.	Další savci využívající numerickou kompetenci	15
7.	Ptáci	17
7.1.	Nejprostudovanější druh papoušek šedý (<i>Psittacus erithacus</i>)	17
7.2.	Komplexní schopnosti holuba skalního (<i>Columba livia</i>)	19
7.3.	Relativně jednoduché schopnosti kura bankivského (<i>Gallus gallus</i>)	21
7.4.	Čeď <i>Corvidae</i> a testování numerických kognitivních schopností různé složitosti	23
7.5.	Numerické schopnosti u ptáků ukrývajících si potravu (food-hoarding)	24
7.6.	Schopnost určovat množství u hnízdních parazitů	25
7.7.	Návrh designů pokusů pro holuby testujících relativní a absolutní početnost	26
8.	Obojživelníci a jednoduché numerické schopnosti	26
9.	Numerické schopnosti ryb	27
10.	Nejsložitější stadium numerických schopností u bezobratlých	27
11.	Výsledky a diskuze	28
11.1.	Shrnutí numerických schopností u zvířat	28
11.2.	Rekonstrukce ancestrálního stavu numerických schopností u savců	30
11.3.	Závislost numerických schopností na ekologických faktorech	33
12.	Závěr	35
13.	Literatura	36
14.	Obrazová příloha	40

1. Úvod

Zvláštnosti svědčící o numerických schopnostech (NS) živočichů jsou v experimentální psychologii tématem už od vzniku této vědy. První výsledky byly velmi sporné. Příkladem může být kůň „Clever Hans“, který bezchybně odpovídal na jakoukoli aritmetickou otázku (včetně zlomků) tukaním kopytem. Nakonec se ale ukázalo, že je mimořádně citlivý na pohyby, které lidé mimoděk udělali, když dospěl ke správné odpovědi. Při vzestupu kognitivní psychologie se téma numerické kompetence stalo jedním z dominantních. Jednou z nevlivnějších prací se stala práce Davise a Perusse (1988), která definovala základní kvantitativní dovednosti. Gallistel a Gelman (1992) poté upřesnili proces počítání – stanovili principy, které musí počítání splňovat.

Studium numerických schopností ukázalo, že živočichové používají kvantitativní numerické informace v mnoha situacích. Například při shánění potravy musí umět potravu nejen najít a identifikovat, ale i odhadnout její množství. Musí se rozhodnout, zda je pro ně výhodnější menší množství potravy ve větší blízkosti nebo zda se jim vyplatí za větším množstvím urazit větší vzdálenost. V behaviorální ekologii se pro toto rozhodování používá termín „*optimal foraging theory*“ (Krebs & Davies, 1993). Tato teorie říká, že zvíře musí při shánění potravy zhodnotit hodně faktorů: čas potřebný k hledání, čas nutný ke konzumaci a také musí maximalizovat energii, kterou získá. Další příkladem potřeby numerických schopností může být určení množství listů na stavbu hnízda nebo odhadování počtu nepřátel. Posuzování, zda je něčeho více či méně, je v přírodě naprosto běžné a vysoce adaptivní. Rozlišení mezi místy s větším či menším množstvím potravy, určení počtu predátorů, kompetitorů či potenciálních partnerů na páření jsou důležité faktory pro přežití i fitness. Zvířata žijící ve skupinách redukuje možnost predace, je pro ně výhodnější vybírat si větší skupiny; lvi zakládají svá rozhodnutí týkající se pronásledování na základě počtu nepřátel (McComb, Packer, & Pusey, 1994). I velikost snůšky vajíček je důležitým indikátorem, zda parazitická kachnička do hostitelského hnízda svá vajíčka snese či ne (Odell & Eadie, 2010). Na druhou stranu si ale i hostitel může všimnout vajíčka „navíc“ a odmítnout ho (Lyon, 2003). Gravidní živorodky se raději připojí k většímu hejnu, aby je samci tolik neobtěžovali (Agrillo, Dadda, & Bisazza, 2007). Dokonce i bezobratlí, jako je včela (Chittka & Geiger, 1995) či mravenec (Reznikova & Ryabko, 2001), využívají informace o kvantitě k nalezení potravy či předání informace o ní.

Rozvíjení numerických schopností u člověka vyžaduje mnoho let učení, během kterých se učí sčítat, odčítat, násobit, dělit apod. Ale základní numerické schopnosti nevyžadují žádné symboly – příkladem může být schopnost určit, že hromádka se dvěma oříšky je menší než se čtyřmi. Hodně zvířat umí rozlišit mezi malými kvantitami (do 4) vrozeně, mezi většími až po tréninku.

Pro člověka je unikátní komplexní a sofistikovaná matematika. Ta ale může být vystopována až k tzv. „analogovému numerickému systému“, který je sdílen i s jinými živočichy. Prvotním cílem této bakalářské práce je shrnout dosavadní poznatky o numerických schopnostech u dětí a zvířat; dále zjistit, jaké typy numerických schopností jsou běžné hlavně u savců a ptáků. Třetím cílem je určit, které druhy živočichů zvládají obtížnější numerické operace podobně jako děti předškolního věku. Sice se budu nejpodrobněji věnovat savcům a ptákům, ale numerické schopnosti jsou i u jiných živočišných skupin, proto se v krátkosti zmíním také o NS u ryb, obojživelníků a bezobratlých. Čtvrtým cílem je designovat pokus pro numerické schopnosti holubů jako teoretický návrh designu experimentů pro budoucí diplomovou práci. V poslední části chci vytvořit možnou fylogenetickou

rekonstrukci ancestrálního stavu numerických schopností u savců a pomocí fylogenetických korelačních hypotéz posoudit, zda numerické schopnosti souvisí s ekologickými faktory jako je stupeň sociality a extrahování potravy.

Tato bakalářská práce nemá za cíl antropomorfizovat zvířata, ale pouze je porovnat s ontogenezí těchto schopností u člověka. Právě člověk je vhodný pro komparativní srovnání, protože je nejlépe prostudovaný a protože numerické znalosti lidí a testy, kterými jsou prokazovány, mají kvalitativní povahu s rostoucí obtížností, kterou chci v této práci porovnat se schopnostmi jiných živočichů, především savců a ptáků.

2. Základní pojmy

Mezi základní kvantitativní dovednosti patří podle Davise a Pérusse (1988):

1. *posuzování početnosti*: rozlišování „méně“ a „více“
2. *zaregistrování určitého počtu položek ve skupině („subitizing“)*: rychlé a přesné, pokud je položek málo, obvykle do čtyř
3. *odhadování množství bez nutnosti počítat*: méně přesné, uplatňuje se při vysokém počtu položek

Tyto základní dovednosti člověk sdílí se zvířaty a navíc je schopen i kognitivně náročnějších operací, jako je *počítání*. Počítání je schopnost rozlišit absolutní počet objektů v setu pomocí vyčíslení. Při pravém počítání se uplatňuje několik základních principů (Gallistel & Gelman, 1992):

1. „*One-to-one principle*“: každé položce ve skupině je přiřazena unikátní značka (kód) a žádná položka nesmí být opomenuta.
2. „*Princip ordinality*“ neboli „*stable order principle*“: značky musí být používány vždy ve stejném pořadí: 1, 2, 3, 4 a nikoli 4, 2, 1, 3; zároveň musí platit, že poslední značka má nejvyšší hodnotu.
3. „*Principle of cardinality*“: poslední kód ve skupině označuje celkové množství.
4. „*Abstraction principle*“: je možné počítat jakékoli položky (ptáky v hejnu i okna v budově), včetně heterogenních setů.
5. „*Order-irrelevance principle*“: nezáleží na tom, která položka je označena značkou „1“.

Schopnost posoudit, ve kterém setu je více či méně položek, závisí na relativním rozdílu položek mezi jednotlivými sety (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004). Úspěšnost při rozhodování mezi sety je popsána *Webrovým zákonem*. Ten říká, že pokud je větší rozdíl mezi sety (např. 45vs.70), úspěšnost je vyšší, než při vyrovnanějším poměru (např. 45vs.50). Právě závislost diskriminace na tomto zákonu je sdílěna mnoha druhy živočichů.

Člověk a živočichové sdílí dva hlavní systémy numerické reprezentace (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004). Systémy se rozvíjí automaticky a fungují po celou dobu života.

1. *Přibližná reprezentace* („approximate representations of numerical magnitude“), která zajišťuje rozlišování velkých setů, tato reprezentace bývá ovlivněna Webrovým zákonem.
2. *Přesná reprezentace* („precise representations of distinct individuals“), která zajišťuje rozlišování malých setů, úspěch řešitele nezávisí na poměru mezi sety, ale hranicí obvykle bývá počet 3 nebo 4.

Výzkum numerických schopností lze rozdělit do několika kategorií. První je *relativní početnost*, kdy subjekt vybírá set s větším či menším počtem objektů (např. kotul: Thomas, Fowlkes, & Vickery, 1980). Druhou je *absolutní početnost*, kdy je zvíře trénováno na výběr určitého počtu objektů (např. mýval: Davis, 1984), např. setu se třemi, místo setu se dvěma objekty. Třetí kategorií je *ordinalita a transitivita* (tj. přenositelnost značek pro číslíce).

Ordinalita znamená, že subjekt řadí elementy, např. ABCD (Straub & Terrace, 1981), jak jdou postupně za sebou. Při testování transitivity subjekt např. vybírá větší arabskou číslici (symbol) na základě znalosti, že za ni dostane větší odměnu (Washburn & Rumbaugh, 1991), resp. odpovídající počet odměn. Čtvrtou kategorií je *počítání* (např. gorila: MacDonald, 1994), kdy je potřeba dodržet výše zmiňované principy. Pátou možnou kategorií jsou *sumace*, tj. jednoduché aritmetické operace, jako je sčítání a odčítání malých čísel (např. kojenci: Wynn, 1992). Šestou je uvažování o *proporcích*, přiřazování stejně velkých částí k sobě (Woodruff & Premack, 1981). A poslední kategorií je „*conservation of quantity*“, kdy dochází ke transformacím řad, tj. kdy jsou prezentovány např. dvě stejně početné řady různé délky a úkolem je určit, že jsou stejně početné (Sophian, 1995), či přelévání tekutin do tvarově odlišných nádob (Call & Rochat, 1996).

3. Ontogenetický vývoj numerických schopností u dětí do 8 let

Numerické schopnosti se během dětství rozvíjí. Už kojenci umí rozlišovat malé počty různých položek: viditelných (teček či záblesků světla), zvukových či pohybových (Wynn, 1995) a jednoduchých aritmetických operací objektů vizuálních (Wynn, 1992) i kombinací objektů s tóny (Kobayashi, Hiraki, Mugitan, & Hasegawa, 2004). Obecným schématem experimentů je, že jsou děti uvykány na určitý počet položek, následně testovány na počty nové (obr. 1 elektronické přílohy).

Schopnost rozlišovat mezi sety s více a méně položkami je základem pro vyšší numerické schopnosti. V experimentech s devítiměsíčními a jedenáctiměsíčními kojenci bylo dokázáno (Brannon, 2002), že vývoj „méně než“ a „více než“ probíhá právě mezi 9. a 11. měsícem našeho života. Mladší kojeneček ještě nedokáže určit, které množství je větší, ale jedenáctiměsíční už je toho schopný. To ukazuje, že roční dítě už pozná, že 16 je větší než 8, zatímco dítě mladší jen ví, že 16 není stejné množství jako 8. Polovina dětí byla uvykána na rostoucí počet (např. 4-8-16), druhá na klesající (16-8-4) a všichni kojenci pak testováni na obě řady. Každé množství bylo prezentováno pouze po dobu 1s. Právě tato krátká doba pravděpodobně způsobila neúspěch devítiměsíčních kojenců, protože z pokusů Xu a Spelke (2000) vyplývá, že už šestiměsíční dítě rozpozná 8 od 16. Prezentace po dobu 2s je dostatečná pro rozlišení 8vs.16 teček (Wood & Spelke, 2005) a dokonce 1,5s pro čtyřnásobný poměr (např. 4vs.16).

Wynn (1992) dokázala, že pětiměsíční děti jsou schopné jednoduchých aritmetických operací. Testování se drželo schématu na obr. 2 (viz el. příloha). Jednoduché příklady „1+1“ a „2-1“ měly vždy dva možné výsledky: 1 nebo 2. V obou případech kojenci déle pozorovali situaci, kterou neočekávali. Aby se dokázalo, zda přesně určují počet, nebo jen očekávají, že 1+1 je něco víc než 1, byly pro tuto aritmetickou operaci nabídnuty výsledky 2 nebo 3. Jelikož děti pozorovaly déle výsledek 3, hledají přesný výsledek.

Houdé (1997) zopakoval a rozšířil experimenty Wynn (1992) s dvou- a tříletými dětmi. Použil jiné objekty a místo doby, po kterou se děti dívaly na výsledky, hodnotil jejich odpovědi: „dobře“ či „špatně“. V obou věkových kategoriích zopakoval otázky týkající se jednoduchých sumací a přidal experiment se dvěma řadami objektů, ve kterých byly 2 nebo 3 různě vzdálené objekty (obr. 3 el. přílohy). Výsledky ukazují (obr. 4 el. přílohy), že ve vývoji numerických schopností existuje určitá hierarchie – na otázky sumací odpovídají správně dříve, než na otázky ohledně poměru počet/délka řady. Je tu vidět i zaostávání úspěšnosti na operaci 1+1=3 za úspěšností na 1+1=1, na kterou odpovídají správně dříve. Tříleté děti jsou úspěšnější než dvouleté při určování, zda správným výsledkem sumace je 2 nebo 3. Ale se stejnými čísly je méně úspěšné v otázkách na počet/délka řady.

Šestnáctiměsíční děti byly testované na ordinalitu a transitivitu (Mou, Province, & Luo, 2014). Experimentátor ukazoval dětem 3 stejně velké míče, které se lišily pouze barvou. Např. preferoval červený nad žlutým ($A > B$) a pak žlutý nad zeleným ($B > C$), tudíž dítě mohlo usoudit, že bude preferovat červený nad zeleným ($A > C$). Tomuto jevu se říká tranzitivní interference. Zvířata mají tuto schopnost také a slouží jim k odhadnutí relativní pozice v hierarchii. Byla použita i prezentace reverzní: $B > C$ a $A > B$. Děti si vytvořily řadu $A > B > C$ (obr. 5 el. přílohy).

U 2- a 3-letých dětí byla testována kardinalita, resp. zda chápou, že poslední slovo označuje, kolik položek obsahuje daný set (Wynn, 1990). Nejprve jim byly prezentovány objekty, potom pohyb a zvuky. Nejlépe počítaly objekty, hodně dětí ukázalo i tendenci generalizovat počítání na pohyb a zvuky. Takže už v nízkém věku dítěte dochází k vývoji abstraktní reprezentace počtu. Ale na otázku „kolik“ pouze starší děti (okolo 3,5 let) dokázaly odpovědět posledním slovem, zatímco děti mladší slovní kardinalitě ještě nerozuměly. Dalším úkolem pro děti bylo počítání (1, 2, 3, 5, 6) loutek z hromady. Starší děti počítaly loutky, chápaly kardinalitu. Kdežto mladší děti zvládly počet 1, někdy 2 a nikdy nepoužívaly počítání k řešení této otázky. Takže pravděpodobně kolem věku 3,5 let se objevuje schopnost chápat slovní kardinální princip.

Čtyřletým a pětiletým dětem a šimpanzům byla položena stejná otázka (Beran, Johnson-Pynn, & Ready, 2011) týkající se posuzování početnosti postupně prezentovaných objektů. Sety byly v různých poměrech 0,2 až 0,8, v celkovém množství až 20 položek. Dětem byly ukazovány korálky a nebylo jim řečeno, že mají vybrat větší set, spoléhalo se na jejich spontánnost. Zároveň se hodnotily jejich počítací dovednosti; vědci jim položili 2 otázky: „kolik je korálků na této hromadě“ (3, 6, 8, 11) a „dej tento počet (3, 6, 8, 12) do nádoby“. Šimpanzům bylo prezentováno cukroví, které mohli sníst. Šimpanzi vybírali větší set s větší přesností než děti. Ukázal se vliv poměru (Webrův zákon): větší přesnost při menších poměrech (obr. 6 vlevo el. přílohy). Děti se, i bez slovního zadání, pokoušely stejně jako šimpanzi vybírat větší množství. Často své jednání komentovaly, což ukázalo jejich citlivost pro počet a vztahy mezi sety. Vliv počítacích schopností dětí na posuzování setů nebyl prokázán. Děti často uměly počítat max. do 6, ale správně hodnotily i větší sety. S věkem se schopnosti dětí zlepšovaly (obr. 6 vpravo el. přílohy). Studie Wagnera a Johnsona (2011) dokázala, že tří- až pětileté děti umí počítat, některé z těch starších až do 9 (obr. 7 el. přílohy).

Už Piaget (1952) se zabýval otázkou, zda děti umí posoudit problém „conservation of quantities“. Dvě stejně dlouhé řady o stejném počtu objektů byly transformovány – zkráceny či prodlouženy - a děti měly vysvětlit, zda je v řadě stejný počet nebo ne. Sophian (1995) také testovala, jaký je vztah mezi počítáním u dětí ve věku 3 až 6 let a jejich chápáním konzervace mezi dvěma sety. Objekty 4 typů byly našity na stuhu (substituční otázka) či gumu (transformační otázka). Řetěz byl buď natažen nebo nahrazen setem jiných objektů stejného či jiného počtu. Výsledkem těchto experimentů je tvrzení, že během vývoje dítěte se mění jeho uvažování o konzervaci a počítání. S věkem roste posuzování podle počtu namísto délky řetězu. Mladší děti jsou více ovlivněny délkou, zatímco děti šestileté v otázkách transformačních sice používají jako náповědu délku, ale v substitučních už uvažují o počtu, tudíž lze říci, že mladší děti ještě nevidí rozdíl mezi jednotlivými otázkami.

Gunderson et al. (2012) si kladli otázku, zda prostorové znalosti hrají rozhodující roli při vývoji numerického uvažování a pomáhají tak dětem utvářet smysluplnou lineární numerickou řadu. Zjistili, že prostorové znalosti (obr. 8A el. přílohy) na začátku prvního a druhého ročníku ve škole předpovídají zlepšení v numerické řadě (0-1000) během školního roku. Dále zjistili, že prostorové znalosti (obr. 8B el. přílohy) u 5-letých dětí předpovídají jejich

výkon při přibližném sčítání arabských číslic (obr. 9 el. přílohy) v 8 letech i jejich znalosti o řadě (0-100) v 6 letech (obr. 10 el. přílohy). Numerická řada tudíž zprostředkovává vztah mezi prostorovými dovednostmi a pozdější prezentací číslic. Takže prostorové znalosti mohou zlepšovat vývoj numerických znalostí dítěte a pomáhají jim získat lineární reprezentaci čísel.

Studie, které se zabývaly kojenci a malými dětmi, dokazují, že se numerické schopnosti s rostoucím věkem dítěte vyvíjí. Už několikaměsíční kojeneček je schopen rozhodovat o velikosti setu na základě relativní početnosti, i když je jeho přesnost ovlivněna Webrovým zákonem, a také ovládá jednoduché matematické operace (sumace). Během druhého roku našeho života se ukazuje schopnost ordinality (řazení) a transitivitu. Kolem 3,5 let dítě chápe slovní kardinalitu a některé děti už v 4,5 letech počítají do 9. Konzervace (rozhodování podle délky řady) je běžná u dětí tříletých, zatímco šestileté děti už umí určit řadu i podle počtu položek v ní. Před nástupem do školy už mají ponětí o lineární numerické řadě a prostorové znalosti získané v předškolním věku mají díky zlepšování znalostí o číselné řadě pozitivní vliv na numerický rozvoj dítěte. Lze tedy říci, že numerická kompetence je kvalitativní úlohou se stoupající obtížností.

4. Primáti a jejich numerické schopnosti

Primáti jsou častými modelovými organismy v kognitivních a srovnávacích studiích. Dokazuje to i výrazně větší množství nalezených článků (cca 40) než u ostatních savců (cca 20). U primátů je také zkoumáno širší spektrum numerických schopností. Jejich numerické schopnosti budou demonstrovány na dvou skupinách primátů: vyšších primátech a poloopicích.

4.1. Vyšší primáti (*Anthropoidea*)

Hned po člověku jsou nejčastěji testovanou skupinou vyšší primáti. V následujících podkapitolách budu popisovat různé typy a designy pokusů pro většinu výše zmíněných numerických schopností. V rámci podkapitol jsou NS seřazené podle rostoucí obtížnosti. První podkapitola se týká šimpanzů, nám nejbližším primátům. Dále pokračuji přes gorily, orangutany, makaky a paviány k novosvětským opicím a celou kapitolu uzavírám poloopicemi.

4.1.1. Nejsložitější stadium numerických schopností u šimpanzů (*Pan troglodytes*)

Živočichové obecně spolehlivě vybírají větší z prezentovaných setů, zejména pokud se jedná o jídlo. Ukázalo se, že šimpanzi tento problém neřeší jako počet či zaplněnou plochu, ale hlavním ukazatelem je pro ně větší množství jídla (Beran, Evans, & Harris, 2008). Byli testováni čtyři šimpanzi a byly použity grahamové sušenky 4 velikostí: celá, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{8}$. Sušenky v setu byly buď umístěné do plochy tak, aby se nedotýkaly, nebo byly navršeny na sebe (do výšky). Poslední variantou bylo postupné umístění do neprůhledných nádob. Šimpanzi se vždy snažili maximalizovat množství jídla, které mohli obdržet. Počet a celkový obrys nijak neovlivňovaly jejich výběr. Je zajímavé, že preferovali výběr většího kousku. Obecně se ví málo, v jakém pořadí jí stejný typ jídla různé velikosti. Proto byl udělán ještě jeden pokus, ve kterém byly šimpanzům prezentovány různé velké kousky banánu a potom i sušenek. Neukázala se žádná tendence jíst nejprve největší kousek, nejčastěji ho snědli jako poslední. Je možné, že největší sušenku používali jako nejdůležitější nápovědu, že je to jakýsi vzor pro ostatní položky v setu.

I šimpanzi umí „sčítat“ (Rumbaugh, Savage-Rumbaugh, & Hegel, 1987). Byly jim prezentovány dva tácy (obr. 11 el. přílohy), na každém byly dvě hromádky čokolády. Jejich úkolem bylo vybrat táč s větším počtem kousků,

takže museli obě hromádky na každém tácu sečíst. Větší hodnotu vybírali ve více než 90% pokusů, nakonec dokázali sčítat až do 7 a počet na každé hromádce se pohyboval od 0 do 5.

Tři šimpanzi byli trénováni také na pochopení ordinality a transitivity (Boysen, Berntson, Shreyer, & Quigley, 1993). Nejprve rozlišovali 4 páry barevných boxů – AB, BC, CD, DE a vždy byli odměněni za vybrání toho druhého z páru. Nové testy obsahovaly dvojice nesousedních písmen (např. BD) a šimpanzi spolehlivě vybírali D. Boxy byly následně vyměněny za číslice 1-5. Jenom jeden šimpanz správně vybral 4 z páru 2–4. Ostatní dva neuspěli, museli být déle trénováni. Výsledkem studie je, že po vhodném tréninku je šimpanz schopen se naučit pořadí stimulů, ale pravděpodobně to spontánně nechápe.

Šimpanzice Sarah se naučila rozeznávat množství tekutých i pevných látek (Woodruff, Premack, & Kennel, 1978). Nejprve se učila používat plastové hračky na označení, že dvě položky jsou stejné nebo odlišné. Byly jí předloženy dva předměty stejného tvaru a množství (např. stejné kelímky se stejným množstvím tekutiny) a potom jeden z nich před ní změnil tvar (např. tekutina byla přelita do užšího kelímku, takže měla vyšší hladinu). Sarah byla schopná určit zachování množství tekutiny i pevné látky, ale neprošla ani tréninkem na řady se stejným či různým množstvím. Je proto možné, že chápání transformací řad je obtížnějším procesem než chápání přelévání tekutin.

Woodruff a Premack (1981) znovu testovali šimpanzici Sarah a čtyři mladé šimpanze na schopnost určovat části. Použili tzv. „match-to-sample task“. Sarah se bez problému naučila přiřadit např. $\frac{1}{4}$ jednoho jablka k $\frac{1}{4}$ (a ne $\frac{3}{4}$) druhého jablka. Zvládla poměr $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ a 1, zatímco mladí šimpanzi neuspěli. Stejně úspěšná byla i při přiřazování spojitě veličiny (tekutiny). Je zde vidět vliv věku na správnost odpovědí, tudíž dokazujeme ontogenezi této numerické schopnosti (chápání proporce). Druhou možnou variantou, proč byla Sarah úspěšnější, je předchozí zkušenost s jinou NS (Woodruff, Premack, & Kennel, 1978) nebo obecně tréninkem.

Šimpanzice jménem Ai (Matsuzawa, 1985) už uměla „pojmenovat“ 14 objektů a 11 barev, když začala být trénována na číslice 1 až 6. Začínalo se s obrazovou, kde byla pouze 1 nebo 2 červené pastelky. Když se naučila rozeznávat 1 až 6 (obr. 12 el. přílohy), zkusili zkombinovat její znalosti dohromady – měla určit tři komponenty: předmět, barvu i počet (obr. 13 el. přílohy). Ve většině případů počet označovala až jako poslední a přesnost určení byla vždy nižší, než určení předmětu či barvy, a trvalo jí déle, než se počty naučila. Aby se snížila šance, že se Ai naučí nějaký vzor, podle kterého bude určovat absolutní početnost, byly používány dvě metody: jednou byly objekty v řadě a jejich pozice a hustota se měnila a nemusela korelovat s počtem položek, ve druhém případě někdo držel předměty v ruce před dotykovou obrazovkou.

Šimpanzici Ai se do testování zařadila i číslice 0 (Biro & Matsuzawa, 2001). Byly testovány tři formy (obr. 14 el. přílohy): přiřazování teček k číslici (DN: *dot-to-numeral*) a naopak (ND: *numeral-to-dot*) a řazení číslic (0-9) vzestupně (po dvojicích či trojicích). Ve všech třech otázkách Ai uspěla a splnila kritérium 80%. V posledních 10 sezeních v DN byla její úspěšnost 99,4%, v ND 96,1%, v řazení dvou číslic 92,7% a tří číslic 87,7%. Výsledkem proto je, že byla schopná vhodně použít nulu v kardinálním i ordinálním kontextu a přiřazovat všechny číslice ke správnému počtu teček.

Používání dotykového monitoru je výhodné, poněvadž se eliminuje možnost napovídání ze strany experimentátora. Šimpanzice Lana se naučila používat joystick (Rumbaugh, Hopkins, Washburn, & Savage-Rumbaugh, 1989) na označování počtu čtverečků, který korespondoval s číslicí zobrazenou na monitoru. V konečné fázi testování čtverce, které už označila, mizely. Takto se naučila počítat do 3.

Podobně byl trénován i šimpanz jménem Austin (Beran, Rumbaugh, & Savage-Rumbaugh, 1998). Na monitoru bylo v pravé horní části zobrazeno cílové číslo, v dolní části se nacházely tečky (na 11 různých pozicích) nebo číslice, které měl Austin řadit a počítat. Procházel 8 různými formami testu (obr. 15 el. přílohy). Například v 1. formě měl řadit náhodně rozmístěné číslice 1 až 9 do správného pořadí. Na obr. 16 (viz. el. příloha) je vidět 6. forma: číslice měly určenou pozici, Austin je měl vybírat do doby, než dosáhl cílové číslice; 7. forma, kde vybíral v jakémkoli pořadí tečky, až došel ke 4; 8. forma: tečky byly umístěny náhodně na několika z 11 možných pozic. V 8. formě musel opravdu počítat, protože nemohl spoléhat na vzorec, podle kterého mohl vybírat v 6. a 7. formě testu. Na řazení číslic byl úspěšnější než na tečky. Naučil se používat principy nutné pro počítání. *One-to-one principle*: vybíral tečky jednu po druhé; *stable-order principle*: každá tečka byla značkou a byla použita v každém pokusu ve smyslu 1 tečka = 1 počet; *cardinal principle*: po dosažení nutného počtu ukončil výběr; *order-irrelevance principle*: používal hodně odlišných způsobů výběru pro stejnou cílovou číslici. Na obr. 17 (viz el. příloha) je srovnání Austina a Lany. Výsledky jsou velmi podobné, oba dosáhli počtu 3, Austin dokonce 4.

V navazujících experimentech šimpanzi Lana a Mercury opět přiřazovali tečky k arabské číslici (Beran & Rumbaugh, 2001). Mercury se naučil počítat do 7, Lana do 6. Tečky byly rozmístěny náhodně v dolní polovině obrazovky, po označení joystickem zmizely a objevily se v horní části obrazovky na jednom z objektů (obr. 18 el. přílohy). Test byl přerušeno, pokud šimpanz označil o tečku víc. Začínalo se číslicemi 1 a 2. Pouze pokud pochopili ekvivalenci mezi počtem teček a číslicí, mohli správně odpovědět. Obr. 19 (viz el. příloha) ukazuje čas nutný pro označení jednotlivých teček. Je samozřejmé, že vybrání 1 tečky trvalo kratší dobu než vybrání více teček, doba ale neměla vliv na úspěšnost šimpanzů v tomto pokusu. Když odpověděli špatně, často byl jejich odpovídací čas mnohem kratší, resp. vybírali rychleji. Avšak pro takto nesprávně zodpovězenou otázku nebyla typická nějaká určitá chyba. Proto lze říci, že šimpanzi nepoužívali strategii časového rozvržení.

Beran (2004) pokračoval s jejich testováním i později – po 6 měsících a po 3 $\frac{1}{4}$ letech. Ani jeden šimpanz nedokázal hned na prvním sezení po pauze odpovědět správně na všechny počty, ale po několika sezeních byli oba úspěšní. Šimpanzi se znovu neučili jednotlivé hodnoty, ale spoléhali na předchozí znalosti. Pro některá čísla byli méně úspěšní (obr. 20 el. přílohy). Úplně na začátku trénování se šimpanzi učili, kolik teček koresponduje se kterou arabskou číslicí. Po pauze se jejich úspěšnost sice snížila, ale pořád si tyto znalosti v nějaké formě uchovali. Může to být důsledek zapomínání, ale důvod zhoršení nebyl přesně identifikován.

Šimpanzi ovládají všechny námi zkoumané numerické schopnosti: relativní početnost (Beran, Evans, & Harris, 2008), sumaci (Rumbaugh, Savage-Rumbaugh, & Hegel, 1987), ordinalitu a transitivitu (Boysen, Berntson, Shreyer, & Quigley, 1993), „*conservation of quantities*“ (Woodruff, Premack, & Kennel, 1978), chápání proporcí (Woodruff & Premack, 1981) i absolutní početnost a počítání (Matsuzawa, 1985).

4.1.2. Schopnost pravého počítání u gorily (západní) nížinné (*Gorilla gorilla gorilla*)

Úplně odlišnou formu testování počítání (obr. 21 el. přílohy) použila MacDonald (1994), která testovala dospělou gorilu a roční mládě. Jednalo se o dva pokusy, které byly odděleny pauzou. V *prvním experimentu* bylo schováno jídlo na čtyři z osmi možných míst (pro dospělou gorilu) a tři ze šesti (pro mládě) a gorily ho měly najít. Pauza byla dlouhá až 48 hodin pro dospělou a až 10 minut pro mládě. Ve *druhém experimentu* bylo jídlo schováno na stejná místa. Obě gorily vždy hledaly na více než čtyřech nebo třech místech, ale ukázalo se, že zatímco dospělá gorila

přestává hledat, když najde 4. (poslední) položku, mládě vždy hledá na všech šesti místech. Na základě tohoto experimentu, jež testuje nejobtížnější NS – počítání, mohu také dokázat vývoj této NS během života gorily.

4.1.3. Orangutan (*Pongo pygmaeus*) a „conservation of quantities“

Call a Rochat (1996) porovnávali orangutany a 6- až 8-leté děti ve vybírání většího objemu tekutiny (*conservation of quantities*). Prvního pokusu se účastnili pouze orangutani, aby vědci zjistili, zda mají obecný sklon vybírat větší množství džusu. Ze skleniček různých tvarů (obr. 22 el. přílohy) s určitým množstvím byl džus přelit do hrníčku a orangutani si ukázali na ten, který chtěli vypít. Přirozeně si vybírali větší množství džusu a jejich výběr nebyl závislý na tvaru skleničky. V případě stejného množství vybírali náhodně. Je možné, že orangutani využívají některé nápovědy jako je trvání přelévání, zvuk při přelévání či proud. Proto ve druhém experimentu byly použity stejné nádoby neprůhledné a doba přelévání korespondovala s množstvím přeléváného džusu. Ukázalo se, že na nádoby ukazují na základě náhody, tudíž je zřejmé, že doba přelévání ani zvuk nemají vliv na jejich výběr. Třetí pokus kopíroval první s tím rozdílem, že po prvním výběru byly obě nádoby přelity do dalších nádob (obr. 23 el. přílohy). Opět vybírali větší objem. Ve čtvrtém experimentu byly použity nejprve skleničky pro první transformaci, pro druhou potom zkumavky (obr. 24 el. přílohy). Je velmi pravděpodobné, že v případě orangutanů se nejedná o striktní uchování kvantity jako u dětí, ale o jakési pseudouchování – orangutani se řídí vnímáním, ne nějakou logickou strukturou. V pátém experimentu byli orangutani po první transformaci úspěšní. Pak následovalo přelití jednoho množství do jedné skleničky, druhého množství do více skleniček. Tady už se objevily rozdíly v rozhodování (obr. 25 el. přílohy). Takže výběr objemu nebyl závislý na nějaké konkrétní logice. V šestém experimentu byly testovány děti na první čtyři pokusy. Část dětí používala podobné strategie (obr. 26 el. přílohy) jako orangutani – hladinu tekutiny a počet skleniček. Druhá část zakládala svá rozhodnutí na logice – „hladina je sice nižší, ale sklenička širší“ („compensation“), „když je slijeme dohromady, budeme mít víc“ („reversibility“) či „před tím tam bylo méně“ („identity“). Pouze dvě děti dokázaly uchovávat množství. Jedná se o proces založený na kognitivních schopnostech, ne pouze na vnímání. Většina dětí dosáhla stejné nebo i nižší úrovně než orangutani.

Tato studie dokazuje, že děti i orangutani ovládají NS „conservation of quantities“. Orangutani se při výběru většího množství džusu řídí především vnímáním, tj. určováním na základě hladiny tekutiny či počtu skleniček. Naopak některé děti zapojují také logiku.

4.1.4. Druhý nejčastěji testovaný primát makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Druhým nejčastěji testovaným rodem (po rodu *Pan*) z vyšších primátů je rod *Macaca*. Hauser et al. (2000) chtěli zjistit, zda jsou makakové schopni spontánní reprezentace čísla, tj. testovali je bez tréninku a pouze jednou. Postupně byly do dvou neprůhledných nádob vloženy jeden nebo více objektů – plátek jablka (F = food) či kámen (NF = no food) - v různých poměrech. V prvním experimentu (obr. 27 el. přílohy) uspěli makakové pouze v poměrech 1F:1NF (dali samozřejmě přednost jablku), 2F:1F, 3F:2F, 4F:3F a 5F:3F, v ostatních poměrech (5:4, 6:5, 6:4, 8:4, 8:3) obsahujících pouze jablko byli neúspěšní, dokonce i když byl poměr dvojnásobný (8:4). Množství korelovalo s časem, tj. 3 kousky jablka byly do nádoby dávány déle než 2 plátky. Aby se přesvědčivě dokázalo, že opice opravdu vnímají počet a ne časový úsek, byl proveden druhý experiment, v němž se v nádobách vždy nacházel stejný počet, přičemž v jedné byl jeden kámen. Jak je vidět (obr. 28 el. přílohy), opice vybíraly box s větším množstvím jídla, přičemž v případě 4:5 se neúspěch očekával (viz první experiment). Jeden z takto designovaných pokusů (byly

použity šestiny a polovina jablka) dokazuje, že opice vnímají počet a ne objem jídla, proto vybraly $3 \times \frac{1}{6}$ místo $1 \times \frac{1}{2}$. Výsledkem této studie je, že spontánní reprezentace čísla u makaků funguje do 4 položek, nad 4 už rozlišují větší množství (relativní početnost) pouze na základě náhody.

Design předchozího pokusu trochu pozměnili Wood et al. (2008), aby zjistili, zda lze relativní početnost u makaků zkoumat i na základě přelévání průhledných hrnků do neprůhledných, které obsahovaly velké množství kousků mrkve. *První a druhý pokus* testoval poměry 1vs.2, 2vs.3, 3vs.4, 4vs.5 a 3vs.6. Ukázalo se, že i zde je limitem čtyřka – makakové signifikantně rozeznali pouze 4 a méně hrníčků, tj. pouze první tři poměry. *Třetí pokus A* zkoumal, jak makakové vyřeší poměr 1vs.2, když do jedné nádoby bude nalit 1 plný hrníček a druhé 2 do půlky naplněné hrníčky, tj. v obou nádobách bude stejné množství mrkve. V případě stejného množství jídla makakové řešili tuto situaci podle počtu hrníčků, tj. vybrali nádobu se dvěma porcemi. V *třetím pokusu B* byly opice testovány na poměr 1 plný hrníček vs. $\frac{1}{3}$ hrníčku. Spolehlivě vybraly nádobu s 1 hrníčkem, takže vybíraly na základě celkového množství mrkve. To znamená, že rozhodnutí makaků může být založeno jak na celkovém množství mrkve, tak i na počtu hrníčků, které byly do nádoby vylity. V *třetím pokusu C* byly do jedné nádoby nality 2 hrnky mrkve, do druhé hrnek mrkve a hrnek písku. Vybrali nádobu se 2 hrnky mrkve, což dokazuje, že ani v prvním pokusu se nerozhodovali pouze na základě počtu vylití hrnků. V *třetím pokusu D* byl použit neprůhledný hrnek. Makakové řešili tuto úlohu stejně úspěšně. Dokazuje to, že nemusí vidět, do jaké míry je daný hrnek naplněn. Správně vybírají množství 2vs.1, jejich schopnosti tedy nezávisí na předchozí zkušenosti s jídlem, které je v klidovém stavu (v neprůhledném hrnku).

V experimentech Lin et al. (1990) se kromě druhu makak rhesus (3 jedinci) testoval i druh makak asámský (*Macaca assamensis*, 1 jedinec). Makakové se účastnili 6 testů s 2–6 tečkami na bílých kartách, při kterých museli dosáhnout alespoň 80% úspěšnosti. Pouze jeden makak rhesus neuspěl, a proto byl vyloučen z testování. V prvních třech trénincích měli vybírat větší počet z nabízených párů, tj. museli být schopni rozlišit relativní početnost. V trénincích následujících bylo jejich úkolem rozlišit, zda je pár stejný (např. 3vs.3, byli odměněni za výběr karty na pravé straně), nebo odlišný (např. 3vs.5, na levé straně). Byli tedy testováni na „*same/different concept*“, což v tomto případě znamená rozlišování na základě stejného/odlišného počtu teček (Katz & Wright, 2006).

Makakové umí rozeznávat i početnější řadu ze dvou vodorovných řad, které jsou prezentovány na obrazovce (Beran, 2007). Mezi řadami byl červený kurzor (obr. 29 el. přílohy), kterým opice pomocí joysticku pohybovaly na správnou řadu. Řady byly v poměrech 5vs.3, 7vs.5 a 9vs.5. Řady byly i modifikovány (zmenšení, zvětšení řady, přidání čtverečků). Ukázalo se, že opice jsou velmi citlivé na tyto modifikace, protože na všechny varianty odpovídalo 5 z 6 opic správně. Naopak šimpanzice Sarah (Woodruff, Premack, & Kennel, 1978) schopná usuzovat na základě početnosti řady. Možným vysvětlením je, že testování ve 2D na monitoru je jednodušší, než testování ve 3D v případě Sarah.

Všechny výše uvedené studie ukazují, že makakové jsou schopni rozlišovat relativní početnost: při vyšších číslech pouze po tréninku (Beran, 2007), do 4 položek dokonce spontánně (Hauser et al., 2000 či Wood et al., 2008). Když bych kopírovala pořadí obtížnosti numerických schopností u dětí i u makaků, následovala by po relativní početnosti sumace, která je dokázána následujícími experimenty.

Design pokusu pro testování sumace makaků (Hauser, MacNeilage, & Ware, 1996) byl obdobný jako u pětíměsíčních kojenců (Wynn, 1992). Objekty byly dávány za zástěnu (operace 1+1) nebo odebírány (2-1),

nabízeným výsledkem byla 1 nebo 2 (obr. 30 a 31 el. přílohy). Čas, po který makakové pozorovali jednotlivé možnosti, byl v obou případech delší u nepravděpodobné události (např. $1+1=1$). Tyto výsledky jsou podobné výsledkům Wynn (1992). Jediným rozdílem v testování bylo, že děti vždy viděly nejprve objekt následovaný přepážkou, kdežto makakové mohli dříve vidět i prázdnou scénu, teprve potom přepážku následovanou objekty, což děti nezvládly až do 10 měsíců věku. Toto testování vyžadovalo nejen NS, ale i vědomí stálosti skrytého objektu (*object permanence* = *OP*). *OP* se u dětí začíná vyvíjet mezi čtvrtým a osmým měsícem života (Piaget, 1954). Zde porovnávám kojence s teprve se vyvíjejícím nejranějším stadiem *OP* a makaky, kteří dosahují stadií vyšších (Natale, Antinucci, Spinozzi, & Poti, 1986), proto jsou makakové v tomto ohledu úspěšnější.

Sumace, resp. odečítání, je u makaků spontánní (Sulkowski & Hauser, 2001), pokud je počet objektů max. 3. Objekty mohou být odlišné (jedlé a nejedlé) a makakové chápou také nulu. Experimentátor vždy položil na zem dvě podložky, na každou dal 0 až 3 švestky nebo stejně velké železné ořechy, popřípadě kombinaci obou objektů. Potom byly podložky skryty za zástěnu a experimentátor odebral, přidal či přemístil jeden objekt z jedné či obou podložek. Makakové ve většině případů spolehlivě šli k té podložce, kde bylo větší množství švestek, nebo v případě stejného množství švestek se rozdělili přibližně na půlku, což znamená, že pochopili i rovnost (obr. 32 el. přílohy). Pokud na jedné podložce byla jedna švestka a na druhé jeden oříšek, šli ke švestce, takže upřednostnili jedlý objekt. Na tyto experimenty navázal Flombaum et al. (2005), který chtěl dokázat, že makakové jsou schopni spontánně „počítat“ i s většími čísly. Při experimentech se makakové dívali déle na nemožné výsledky ($3+1=8$ či $2+2=8$). Zjistilo se ovšem, že u menšího poměru 2:3 nebyl rozdíl mezi jednotlivými časy tak velký. Z toho vyplývá, že jsou omezeni Webrovým zákonem. Poslední pokus zjišťoval, jestli makakové opravdu rozlišují počet nebo „délku řady“. Vědci použili řadu malých, středních nebo velkých citronů (obr. 33 el. přílohy), přičemž 8 malých = 6 středních = 4 velké citrony. Makakové se opravdu dívali déle na nesprávný výsledek, což dokazuje, že doopravdy mohou spontánně reprezentovat také velká čísla.

Na porovnání dospělého člověka a makaka (Cantlon & Brannon, 2007) byl designován pokus, ve kterém byl 14 lidem a dvěma opicím prezentován na obrazovce set s „x“ tečkami, po malé pauze set s „y“ tečkami (obr. 34 el. přílohy). Jejich úkolem bylo vybrat ze dvou obdélníků ten, který obsahoval sumu obou setů. Nejlehčí sumací byla operace $1+1=2$, tou nejtěžší byla celková suma 17. Při porovnání výsledků se zjistilo (obr. 35 el. přílohy), že celková přesnost byla vyšší u člověka (94% vs. 76%), ale čas potřebný k odpovědi byl vyrovnaný. Podobně sejevila i korelace mezi poměrem a rychlostí jejich odpovědí. Primárním omezením byl pro oba druhy poměr mezi správnou a špatnou odpovědí (tj. Webrův zákon). Z testů tudíž vyplývá, že lidé i primáti sdílí kognitivní systém pro neverbální aritmetiku.

Washburn a Rumbaugh (1991) dokázali schopnost ordinality a transitivity u makaků. Výsledkem řady pokusů bylo, že se oba testovaní makakové naučili rozeznávat větší číslíci (0-9), přičemž každá číslice korespondovala s počtem jedlých kuliček. Během méně než 900 pokusů spolehlivě vybírali číslice, kterou spojili s větším počtem jedlých kuliček. Dokázali se naučit, jak jdou číslice po sobě: resp. v pokusu, kde bylo na obrazovce náhodně znázorněno pět číslic (obr. 36 el. přílohy), vybrali nejprve největší, pak pokračovali menší a menší číslicí. Jeden makak dokonce pochopil, že jednotlivé číslice se liší o stejnou jednotku, tj. 8 je větší než 7 o jednu kuličku a 8 je větší než 6 o dvě kuličky.

Brannon a Terrace (1998, 2000) testovali makaky na řazení čísel vzestupně, sestupně a nemonotónně. Učili je na počtech 1-4, poté testovali na 5-9. Objekty se lišily ve velikosti, tvaru, barvě i umístění (obr. 37 el. přílohy). V *prvním experimentu* řadili dva makakové číslice 1-4 vzestupně či sestupně správně. Ale makak učený na nemonotónní řazení (3-1-4-2) to nezvládl. Byl proto převeden na vzestupné řazení, ve kterém jeho úspěšnost vzrostla. Monotónní řada je tudíž snazší na naučení než řada nemonotónní. *Druhý experiment* testoval, zda jsou schopni řadit i nové stimuly 5-9. Makakové trénování na vzestupné řazení dokázali seřadit i nové stimuly, ale makak trénovaný na sestupné řazení nikoli, nedokázal prodloužit známou řadu o nové stimuly.

Z pokusů Brannona a Terrace (1998, 2000) i Washburna a Rumbaugh (1991) vyplývá, že se makakové mohou naučit řadit číslice či počty objektů vzestupně, sestupně pravděpodobně jen po vhodném tréninku (Washburn & Rumbaugh, 1991). Nemonotónní řada je pro ně na naučení příliš obtížná.

Aby se dokázalo, že schopnost osvojit si abstraktní numerická pravidla není omezena pouze na primáty, Scarf et al. (2011) testovali holuby na stejném principu jako byli testováni makakové (Brannon & Terrace, 2000). Výsledky ukázaly, že i holubi mohou pochopit abstraktní pravidla pro řazení položek a aplikovat je na nové stimuly (obr. 38 el. přílohy). Nabízí se dvě vysvětlení: *první*, jde o konvergentní evoluci numerických schopností a ty se u primátů i holubů vyvinuly nezávisle na sobě; *druhé*, numerická schopnost je homologní znak odvozený od společného předka linií vedoucích k „ptákům a plazům“ a k „savecům“. V tom druhém případě by podobnou NS mohli mít také plazi. Dnes se ale myslí, že jde spíše o konvergenci NS (Emery & Clayton, 2004).

Testování makaků dokazuje následující NS: relativní početnost (Hauser, Carey, & Hauser, 2000), sumaci (Hauser, MacNeilage, & Ware, 1996), ordinalitu a transitivitu (Washburn & Rumbaugh, 1991) a také „*conservation of quantities*“ (Beran, 2007).

4.1.5. Stadium numerických schopností u paviána anubi (*Papio anubis*)

Dalším možným designem pokusu na testování relativní početnosti je současná prezentace dvou odlišných množství (1-8) jedlých (hrozinky nebo buráky) nebo nejedlých (kamínky) položek (Schmitt & Fischer, 2011). Jakmile paviáni a makakové jávští ukázali na vybrané množství, byli odměněni buď jídlem, na které ukázali, nebo stejným množstvím jídla jako bylo jimi vybrané množství nepotravních objektů. V pokusech byly používány tři testovací formy. *První* bylo jídlo, které bylo použito jako jeden z možných výběrů i jako odměna. Opice vybíraly větší množství (obr. 39 el. přílohy), ale relativně nízko nad hranici náhody (69%). *Druhou formou* byly kamínky a odměnou bylo stejné množství jídla. Opice vybíraly větší množství častěji než v předchozím případě (84%). U *třetí formy* byly opice odměňovány jiným jídlem, které bylo schováno pod tácem s prezentovaným jídlem, jejich přesnost byla 86%. Z práce vyplývá, že nahodilost odměny je důležitější, než význačnost či důležitost podnětu, a že mentální ztvárnění podnětu, ne jeho fyzická kvalita, určuje úspěch při diskriminaci.

Paviánům (Barnard, Hughes, Gerhardt, DiVincenti Jr, Bovee, & Cantlon, 2013) bylo současně či postupně prezentováno 1 až 8 buráků, které byly umístěny do dvou ze tří hrnků, a byli odměňováni obsahem vybraného hrnku. Aby se zjistilo, který systém používají pro určování množství, zda přesnou (do 4), přibližnou (nad 4) či obě reprezentace, byly jim prezentovány tři druhy setů: oba malé (<5), oba velké (>4) a potom jeden velký a jeden malý. Hypotézy zněly: pokud paviáni používají přesnou reprezentaci, budou vybírat větší počet pouze v obou malých setech; pokud používají přibližnou, budou úspěšní ve všech a výkon bude ovlivněn poměrem mezi sety; kdyby používali obě reprezentace, v případě většího a menšího setu by nevybírali větší. Ukázalo se, že paviáni jsou schopni

vybírat větší z prezentovaných setů všech tří typů, tudíž používají pouze přibližnou reprezentaci k diskriminaci (obr. 40 el. přílohy).

4.1.6. Numerická kompetence u novosvětských opic rodu *Saimiri* a *Cebus*

I kotulové veverkovití (*Saimiri sciureus*) byli testováni na chápání relativní početnosti. Ve studii Thomase et al. (1980) byli kotulové odměňováni za menší počet. Byly jim prezentovány karty s černými tečkami tří různých velikostí. Trénovanými poměry byly 2:7, 2:6 až 2:3, 3:7 až 3:4, 4:7 až 4:5, 5:7, 5:6, 6:7 a potom i 7:8, 8:9. Oba kotulové byli velmi úspěšní (obr. 41 el. přílohy), oba prošli poměrem 7:8 a jeden dokonce i 8:9.

Terrell a Thomas (1990) prováděli pokusy se čtyřmi kotuly, při kterých muselo být dosaženo 90% úspěšnosti, s určováním počtu stran mnohoúhelníků (obr. 42 el. přílohy). Dva nejlepší kotulové (*S. sciureus sciureus* a *S. boliviensis boliviensis*) rozeznali sedmi- a osmiúhelník, další v pořadí byl šesti- a sedmiúhelník a čtvrtý rozeznal pětiúhelník a sedmiúhelník. V další fázi experimentu kotulové určovali, který set (obr. 43 el. přílohy) má menší počet stran (sumace). Jedna opice rozeznala poměr 6vs.8 a 7vs.8, další už jen 6vs.8. V této úloze je také patrná interakce prostorové orientace a rozeznávání tvaru, nejedná se pouze o testování numerických schopností.

Kotulové mají také nezbytné předpoklady pro „conservation of quantities“ (Czerny & Thomas, 1975). Stimulem byly plastové barevné objekty, které byly podle objemu rozděleny do pěti kategorií. Experimenty se skládaly ze dvou hlavních částí. *První*, vybírání objektu o větším objemu; *druhá*, určování, zda objekty v jednom prezentovaném páru mají stejný/odlišný objem. V první části byly „návnady“ skryvány pod objekty různých objemů, odměnou za výběr většího objektu byly rozinky. Ve druhé části byl prezentován pár objektů a na obě strany od kotula byly navíc skryté dvě „návnady“. Když byl pár složen z odlišných objemů, výběr levé návnady byl odměněn; když byl pár stejný, výběr pravé byl odměněn. Všechny opice dosáhly kritéria 90% na všechny otázky.

Jiným typem otázky týkající se konzervace je určování, zda je délka dřevěných obdélníků stejná či jiná (Thomas & Peay, 1976). Nejprve byly prezentovány dva stejně dlouhé obdélníky, které začínaly a končily na stejné úrovni. Kotulové byli odměněni za vybrání „návnady“ napravo, která značila, že se jedná o stejnou délku. Potom byl jeden z obdélníků posunut. Test se rozšířil i na různě dlouhé obdélníky, které začínaly či končily na stejné úrovni. Kvůli zobecnění získaných znalostí byl pokus rozšířen na válce. Pouze dva ze čtyř kotulů byli schopni správně odpovídat na všechny okruhy otázek. Takže mohou říci, že mají NS zvanou „conservation of quantity“.

Malpy hnědé (*Cebus apella*) byly testovány na větší ze dvou setů jídla. Byly prezentovány dva sety, oba byly odkryty a zase hned zakryty neprůhledným víčkem, teprve potom malpy odpovídaly; v těžší fázi byly přidány ještě další 1-3 hrozinky. Malpy odpovídaly správně (obr. 44 el. přílohy), ovládají tudíž relativní početnost a jsou schopné vybírat větší ze setů bez toho, aby je musely vidět současně (Beran, Evans, Leighty, Harris, & Rice, 2008).

Beran (2008) testoval malpy i na „conservation“. Na monitoru jim byly prezentovány vždy dvě řady čtverečků a úkolem bylo vybrat řadu s větším počtem. Potom se s jednou z nich manipulovalo. Malpy vhodně odpovídaly na různé typy manipulací, některé z nich měnily vztahy mezi řadami, jiné ne, tzn. někdy musely opice vybrat tutéž řadu podruhé, jindy musely vybrat řadu druhou.

Spolehlivě zde mohu shrnout, že novosvětské opice ovládají relativní početnost (Thomas, Fowlkes, & Vickery, 1980), sumaci (Beran, Evans, Leighty, Harris, & Rice, 2008) a také „conservation of quantities“ (Beran, 2008; Thomas & Peay, 1976).

4.2. Poloopice (*Prosimii*)

Čtyři druhy lemurů (*Eulemur fulvus*, *E. mongoz*, *Lemur catta*, *Vaceria rubra*) byly testovány podobně jako kojenci (Wynn, 1992) a makakové (Hauser, MacNeillage, & Ware, 1996). Je to jediná nalezená studie (Santos, Barnes, & Mahajan, 2005) o poloopicích a ukázala, že i poloopice jsou schopné jednoduchých aritmetických operací $1+1=2$ vs. 1, $1+1=2$ vs. 3, 1 malý + 1 malý = 2 malé vs. 1 velký citron (obr. 45 el. přílohy). Ve všech případech déle pozorovaly nesprávný výsledek, přičemž velikost citronu nehrála žádnou roli.

5. Numerické schopnosti používané šelmami

V této kapitole interpretuji postupy a výsledky experimentů jednotlivých čeledí šelem v tomto pořadí: *Felidae* (kočkovití), *Hyaenidae* (hyenovití), *Canidae* (psovití), *Mustelidae* (lasicovití), *Otariidae* (lachtanovití) a *Procyonidae* (medvídkovití). Numerické schopnosti v rámci jedné čeledi jsou seřazeny vzestupně – s rostoucí obtížností.

Smečka lvic podle řvaní vetřelců určuje, zda je bude pronásledovat nebo ne (McComb, Packer, & Pusey, 1994). Lvi pustinní (*Panthera leo*) jsou kočkovité šelmy, které vytváří sociální skupiny. Aby se zjistilo, za jakých podmínek budou lvice pronásledovat jiné smečky či jedince, byly jim pouštěny nahrávky (jednotlivce nebo skupiny tří). Jako odpověď na nahrávky lvice buď zůstaly na místě a soustředěně koukaly směrem ke zdroji řvaní, nebo se vzdálily, nebo následovaly řev. Velkou roli hrál počet vetřelců. Obvykle ochotněji pronásledovaly jednoho vetřelce než tři (obr. 46A el. přílohy). Pokud šly za třemi, šly pomaleji, více sledovaly ostatní a častěji dělaly pauzy. I počet členů ve smečce ovlivnil pronásledování. Samotná nebo dvě lvice pronásledovaly vetřelce méně často než skupiny tří a více. Pronásledování ovlivňoval také počet dospělých samic, počet dospívajících jedinců (1-3 roky) i lvícat. S větším počtem samic ve smečce rostla pravděpodobnost pronásledování, ale klesala s počtem vetřelců. Když smečka měla dospívající i lvíčata častěji pronásledovala (obr. 46B el. přílohy). Jedním vysvětlením, proč smečka s mláďaty častěji pronásleduje, je fakt, že je pro ni teritorium více důležité pro výchovu mláďat. Druhým je to, že cena za ignoraci protivníka je větší, protože mláďata jsou více zranitelná. Avšak i tak samice často mláďata kvůli pronásledování opustí a vystaví je tak velkému riziku. I přítomnost dospívajících je důležitá, protože, i když jsou méně zkušené, se mohou účastnit pronásledování. Jedná se o první experimentální důkaz, že boj mezi smečkami je založen na relativní velikosti početnosti.

Druhou zkoumanou kočkovitou šelmou je kočka domácí (*Felis silvestris catus*), která se naučila rozlišovat mezi 2 a 3 tečkami (Pisa & Agrillo, 2009). Během tréninku byly prezentovány dvě karty s 2 nebo 3 tečkami stejné velikosti, ale v různých pozicích (obr. 47 el. přílohy). Kočky se snadno naučily, které tečky jsou odměňovány (dvě byly učeny na 3 tečky, dvě na 2 tečky). V testování se tečky lišily velikostí a ani jeden výběr nebyl odměňován (s počtem pokusů se ale snižovala snaha koček vybírat). Dvě kočky se úspěšně naučily rozlišovat správnou kvantitu. S počtem pokusů jejich úspěšnost rostla, takže se v průběhu experimentování učily, tudíž pravděpodobně nejsou schopné rozlišovat spontánně. V průběhu testování se také ukázalo, že spíše než na numerických informacích zakládají svůj výběr na ploše teček. Plocha teček jako alternativní řešení je pro ně asi jednodušší variantou než rozhodování na základě absolutního počtu. Ale vzhledem k tomu, že rozlišují dva počty v případě, kdy jsou tečky stejně velké, ovládají NS zvanou absolutní početnost.

Hyena skvrnitá (*Crocuta crocuta*), podobně jako například lev (McComb, Packer, & Pusey, 1994), je také schopná zhodnotit relativní počet vetřelců podle jejich volání (Benson-Amram, Heinen, Dryer, & Holekamp, 2011).

Testované skupině hyen byly pouštěny nahrávky 1/2/3 vetřelců. Samotná samice strávila více času orientací k více vetřelcům, než k jednomu, a méně často je pronásledovala. Na první volání (v setu byly 3) reagovaly všechny hyeny stejně. Pokud se jednalo o 1 vetřelce, volání se opakovalo a stávalo se pro ně známým. Pokud bylo vetřelců víc, byly opatrnější. Jednotlivé hyeny byly různě opatrné, což mohlo být dáno jejich individuálními zkušenostmi nebo sociálním postavením.

Nejčastěji testovanou numerickou schopností u šelem je ta nejlehčí – relativní početnost. Vlk obecný (*Canis lupus*) byl trénován na poměr 1vs.4, kde položky byly prezentovány postupně (obr. 48 el. přílohy), a jeho úkolem bylo vybrat větší množství (Utrata, Virányi, & Range, 2012). Testovací poměry byly 1vs.2, 1vs.3, 1vs.4, 2vs.4, 2vs.3, 3vs.4. Devět z deseti vlků vybíralo větší množství nad hranici náhody. Jejich výkon nebyl ovlivněn pořadím či umístěním položek. Vlci zvládli všechny poměry, pouze s nepatrnou tendencí zlepšovat se při menším poměru mezi položkami (obr. 49 el. přílohy). Ale na druhou stranu Webrův zákon bývá více vidět u větších setů.

Kojot préríjní (*Canis latrans*) je také ovlivňován Webrovým zákonem, stejně jako mnoho dalších živočichů (Baker, Shivik, & Jordan, 2011). Měl rozlišovat větší a menší hromadu jídla v různých poměrech. Kojoti přirozeně vybírali větší set, když byl poměr menší než 0,5, tj. 2:5, 1:3 a 1:4 (obr. 50 el. přílohy). Jsou tedy schopni nejjednodušší NS – relativní početnosti. Pes domácí (*Canis lupus familiaris*) sdílí kognitivní schopnosti s kojotem (Baker, Morath, Rodzon, & Jordan, 2012). Psi byli testováni stejně jako kojoti a většina psů vybírala větší set. Jeho diskriminace je závislá na poměru mezi jednotlivými sety, jejich výkon byl ovlivněn Webrovým zákonem.

Také jiná studie dokazuje schopnost relativní početnosti psa (Ward & Smuts, 2007). Byli testováni na 8 různých poměrů. Oba talíře byly prezentovány současně a po celou dobu je psi viděli a mohli porovnávat jejich množství. Poté byly talíře prezentovány sice současně, ale následně zase překryty, takže pes si musel informaci i zapamatovat. Poslední úroveň bylo odkrytí a následné zakrytí jednoho talíře, poté druhého (obr. 51 el. přílohy). S obtížností úloh klesala úspěšnost vybírání většího setu, ale pořadí byly výsledky signifikantní. Byl vidět vliv Webrova zákona (obr. 52 el. přílohy), ale vliv pohlaví či věku ne.

Pes ovládá schopnost sumace podobně jako pětíměsíční kojenci (Wynn, 1992), také déle pozoroval nesprávný výsledek (West & Young, 2002). Na příklad $1+1=2$ se díval stejně dlouho při prezentaci „1“ a po přidání „1“ (tudíž celkem 2), což bylo způsobeno buď tím, že to očekával, takže se nemusel dívat déle, nebo tím, že ještě nevěděl, co má vlastně od pokusů očekávat. Při příkladu $1+1=1/3$ se už díval na výsledek déle (obr. 53 el. přílohy), což je stejný výsledek jako ve studii Wynn (1992).

Fretky domácí (*Mustela putorius furo*) jsou schopné rozlišit absolutní počet „3“ v setu obsahujícím 15 až 20 položek (Davis, 1996). Začínalo se se 3 položkami, postupně byly přidávány další (od větších počtů k počtům blížícím se 3). Za správný pokus byl považován ten, kdy fretka sežrala pouze 3 kuličky a vrátila se zpět na výchozí místo (obr. 54 el. přílohy). Nesprávnou odpovědí bylo sněžení více či méně kuliček. Kontrolními testy byly menší či zlomené kuličky. Jejich velikost neměla vliv na provedení pokusu. Fretky jsou schopné rozlišit absolutní množství (i když jim to trvá dlouho), ale musí mít dostatečný důvod to dělat. Pokud je hrozba nějakého negativního následku dočasně pozastavena, jejich numerické schopnosti se vrací na úplný počátek – snědí všechno. Fretky tedy mají dva módy pro používání NS: složitější (absolutní početnost) používají v případě, že jsou k tomu nuceny; jednodušší v případě klidu a bezpečí (snědí všechno).

Také lachtan hřívnatý (*Otaria flavescens*) ukázal schopnost rozeznávat relativní početnost: více a méně (Abramson J. S., Hernández-Lloreda, Call, & Colmenares, 2011). Ryby byly prezentovány současně (pověšené na háčku, obr. 55 el. přílohy) nebo postupně. Jednalo se o různé varianty počtů 1-6. V případě současné prezentace byli lachtani úspěšní a jejich úspěch závisel na poměru (obr. 56 el. přílohy). V případě postupné prezentace pouze 1 lachtan ukázal, že je schopen si informace zapamatovat a porovnat sety mentálně (obr. 57 el. přílohy).

Po 6 měsících tréninku se mýval severní (*Procyon lotor*) naučil rozlišovat absolutní počet „tří“ (Davis, 1984). Správně vybíral průhlednou krabičku se 3 hrozny (obr. 58 el. přílohy). Nejprve si směl hrát s krabičkou se 3 hrozny, aby se ji naučil otevírat, protože pouze krabička se 3 šla otevřít. Potom mu byly prezentovány dvě krabičky s 1vs.3 a postupně se přidávaly další, konečnou řadou bylo 1vs.2vs.3vs.4vs.5.

6. Další savci využívající numerickou kompetenci

Rizikovost situace rozhodovala, stejně jako u fretky (Davis, 1996), i o kognitivních schopnostech u myšice temnopásé (*Apodemus agrarius*). V experimentu byla navozena situace, kdy si myšice musela vybrat mezi malým a velkým množstvím živých mravenců a zhodnotit zároveň kořist i risk vyplývající z jejich lovení (Panteleeva, Reznikova, & Vygoniyailova, 2013). Nejprve byl zjišťován proces lovení při různých počtech mravenců (10 až 60). Ukázalo se, že myšice aktivně loví, dokud tam nějakí mravenci jsou. Počet zabitých a snědených mravenců rostl s počtem mravenců v aréně. Ovšem ne vždy je snědly, protože když jich bylo v aréně hodně (30-60), myšice byly nervózní a cítily se nepohodlně, proto je zabíjely, aby se snížil počet agresivních mravenců okolo nich. Druhým úkolem této studie bylo zjistit, jaký počet mravenců preferují. Mravenci byli umístěni do dvou průhledných tunelů, myšice do nich mohla vlézt (obr. 59 el. přílohy). Poměry mravenců byly 5vs.15, 5vs.30 a 10vs.30. Ve všech případech si myšice vybraly menší počet mravenců (obr. 60 el. přílohy), bylo to pro ně pohodlnější, potom opustily tunel a po čase se do něj zase vrátily. Kdežto v případě větších počtů mravenců hned vyskočily z tunelu a jen vzácně se k němu vrátily. Byla zde použita metoda „*avoidance learning*“ (vyhýbání se negativnímu podnětu) pro naučení početní diskriminace a negativní reinforcement (posilování) jako princip operantního podmiňování, což je jiný princip než když zvířata dostávají odměnu. Výsledkem, i přes trochu odlišné testování, je, že myšice, stejně jako jiné druhy živočichů, spontánně projevují numerické schopnosti (konkrétně relativní početnost).

Za použití negativního reinforcementu při operantním učení diskriminace Capaldi a Miler (1988) udělali serii pokusů, které studovaly počítání laboratorních potkanů (*Rattus norvegicus*) po sobě jdoucích stimulů. Potkani běhali k boxům, aby získali potravu. Odměna byla přítomna v „R pokusu“, zatímco v „N“ byl box prázdný. Potrava byla prezentována nepravidelně: RRN, NRRN, RRRN, NRRRN... Potkani první „N“ nemohli očekávat, ale kvůli očekávání posledního „N“ zpomalovali (obr. 61 el. přílohy). Vědci tudíž navrhuji, že potkani počítají odměny, které v tom daném bloku získají. Je ovšem možné, že jako nápoředu brali spíše čas, který uběhl, než se dospělo k „N pokusu“ v daném bloku. Následující pokus ukazuje prioritní využívání času pro řešení početních problémů.

Breukelaar a Dalrymple-Alford (1998) chtěli dokázat, že potkani umí počítat, že nevybírají správnou páčku podle časování (obr. 62 el. přílohy). Potkani měli zmáčknout páčku levou, když zazněly dva zvuky (celkem 2s), a pravou, když zaznělo zvuků 8 (8s). Sety byly různorodé: stálý počet zvuků a různá doba trvání či naopak. Během tréninku byli potkani velmi přesní, když měli rozhodovat na základě času i počtu. Byli přesní i při rozlišování trvání signálu, když byl počet konstantní. Ale když byl čas konstantní, jejich přesnost byla mnohem nižší. Sedm potkanů (ze 32) se výborně naučilo rozeznávat 2s vs. 8s, ale kritéria pro počet zvuků nedosáhli. Tj. času dávají přednost,

ale i přesto se většina potkanů byla schopná naučit rozlišovat na základě počtu zvuků. Když jim byly prezentovány dvojsmyslné signály (2 zvuky/8s a 8 zvuků/2s), během kterých počet i trvání vyžadovalo opačnou páčku, ukázalo se, že počet nemá vliv, zatímco trvání ano. Dokonce i nepřesné časové nápovědy (2 nebo 8 zvuků + trvání ve středních hodnotách mezi 2s až 8s) měly vliv na výběr, přestože byly přítomné přesné početní nápovědy. Čas je prioritní, ale i přesto mají potkani velmi přesné rozlišování na základě počtu, když je čas neutrální. Během vybírání páčky jsou početní i časové informace zpracovávány současně, ale celkové trvání je pro ně význačnější nápověda. U potkanů tudíž existuje jakási přirozená zaujatost pro používání doby, přestože je počet někdy přesnější nápověda. Takže se dá říci, že počítání je pro ně těžší, než odhadování času.

I kopytníci, jako je kůň domácí (*Equus caballus*), jsou schopní spontánně vybírat větší ze dvou setů (Uller & Lewis, 2009). Vědci se inspirovali pokusy na makacích (Hauser, Carey, & Hauser, 2000) a dětech (Feigenson, Carey, & Hauser, 2002) a výsledky byly obdobné. Koním byla prezentována jablka v různých poměrech. Poměr 2vs.1 zvládlo 10 koní ze 14 a 3vs.2 10 z 16. Takže většina koní spontánně vybrala koš, který obsahoval větší počet jablek (až do 3 položek). Aby byl kontrolován objem, bylo prezentováno 1 velké jablko vs. 2 malá (sety měly stejný objem). 15 koní zvládlo tuto úlohu a preferovalo výběr počtu nad objemem. Nakonec byl testován i větší počet jablek (4vs.6), kde všech 16 koní vybíralo na základě náhody, což je stejný výsledek jako u dětí a makaků. Koně tudíž spontánně zvládají výběr většího setu (tj. relativní početnost) obsahujícího max. 3 položky.

Dokonce i slon indický (*Elephas maximus*) má alespoň v určování většího/menšího setu srovnatelné schopnosti s primáty (např. šimpanz: Beran, Evans, & Harris, 2008, makak: Hauser, Carey, & Hauser, 2000 či kotul: Thomas, Fowlkes, & Vickery, 1980). Banány (1-6) jim byly prezentovány současně, nebo postupně, a tudíž se mohli řídit pohybem experimentátora nebo zvukem dopadajících banánů (Irie-Sugimoto, Kobayashi, Sato, & Hasegawa, 2009). V obou pokusech sloni vybírali větší množství banánů a jejich výběr nebyl závislý na poměru. Jejich přesnost bude možná ovlivňována až při větších množstvích. Možným vysvětlením je „*subitizing*“ (odhad množství). Sloni při postupné prezentaci sice nemohou vidět oba kýble najednou, aby mohli vyčíslit oba sety, ale někteří vědci jsou toho názoru, že *subitizing* lze použít i pro sekvenční či akustické kvantily jako alternativní jednodušší řešení.

Studium slona afrického (*Loxodonta africana*) ovšem říká opak (Perdue, Talbot, Stone, & Beran, 2012). Dvěma slonicím byly prezentovány dva neprůhledné barely, přičemž byly položky jedna po druhé pokládaly buď na ně, nebo do nich. Aby nehodnotily jenom podle času, který experimentátor strávil u toho kterého barelu, byla zde dělána i „falešná vhození“, aby se čas vyrovnal. Poměry byly všechny kombinace 1-6 a 10vs.5 a 8vs.4. Slonice vybíraly větší množství, ale výběr závisel na poměru. Ovšem v případě dvojnásobného množství – malé sety (1:2, 2:4) i velké (3:6, 4:8 a 5:10) – byla úspěšnost stejná. Ze studie proto vyplývá, že posuzování větší/menší funguje i u slonů na stejném principu jako u člověka: jejich diskriminace je ovlivněna Webrovým zákonem, úspěšněji vybírají sety o menším poměru mezi nimi.

Delfín skákavý (Noam) byl také testován na rozlišování „méně“ ve 2D i 3D (Kilian, Yaman, Fersen, & Güntürkün, 2003). Experiment ve 3D je znázorněn na obr. 63 (viz el. příloha). Objekty byly čtyř typů (A až D). Začalo se s tréninkem homogenních setů (A nebo B) na poměr 2vs.5. Potom se testování rozšířilo na objekty C a D i na heterogenní sety (A až D). V dalších fázích byla kontrolována i hustota a byl zapojen i nový poměr 3vs.4. Delfín byl úspěšný ve všech testech, kromě toho zaměřeného na menší hustotu. V něm dosáhl kritéria pouze v případech, které byly nejvíce podobné těm, na které byl trénován. Není úplně jasné, na základě čeho vlastně vybíral menší set,

jestli na základě vizuálního vjemu (doplaval k setům, potom si oba prohlédl a vybral), nebo echolokace (zdálky pozoroval, potom plaval přímo k vybranému setu). V pokusu zaměřeném na 2D prezentaci (obr. 64 el. přílohy) byly sety složené z objektů o stejné celkové ploše a následně mixované z různých velikostí (obr. 65 el. přílohy). Dále testování pokračovalo s novými počty 2vs.3, 3vs.4, 4vs.5, potom také 2vs.4, 3vs.5. Nabízely se dvě možnosti, na kterých Noam zakládat mohl svá rozhodnutí – buď „vyber 2, pokud není, tak 3, rozhodně ne 5“, nebo „vždy vyber nižší číslo“. Testování na 1vs.2 a 5vs.6 dokázalo druhou variantu. Delfin byl úspěšný ve všech případech kromě 4vs.5, i zde jsou dva možné důvody: buď ztratil motivaci nebo to už bylo za prahem jeho možností. Ovšem úspěš i v případě 5vs.6 (obr. 66 el. přílohy), tzn. druhý důvod to není. Takže mohu říci, že se Noam naučil rozeznávat menší z prezentovaných setů, tj. relativní početnost. Není ale jisté, zda je 5vs.6 jeho prahem.

Jaakkola et al. (2005) pokračovali v testování delfínů na relativní početnost – tabule s prezentovanými tečkami byly tentokrát umístěny nad vodou. Rozšířili počet teček až na 8 na jedné tabuli. Úspěšnost diskriminace delfína závisela na Webrově zákoně, tj. klesala s poměrem blížícím se 1. Yaman et al. (2012) rozšířili znalosti o delfínech až na rozlišování do 10 položek na jedné kartě.

Abramson et al. (2013) testovali kromě tří delfínů i běluhu (*Delphinapterus leucas*) na relativní početnost. V jednom experimentu byly položky prezentovány současně (pod vodou) a v době výběru buď vidět byly (obr. 67A el. přílohy), nebo nebyly (nutno použít echolokaci, obr. 67B el. přílohy). Byly to sety malých čísel (1-6). Ukázalo se, že všichni vybírali větší set v případě vizuálním, ale pouze běluha použila echolokaci. Není jasné, proč delfíni echolokaci nepoužili, možná ji nebyli zvyklí používat v experimentech obecně. U vizuálního pokusu nebyl vidět vliv poměru (Webrova zákona), zatímco u použití echolokace už ano. Na postupnou prezentaci (obr. 68 el. přílohy) byl testován pouze delfín. Byl uvykán na 3 poměry, poté testován na nové (10vs.4, 8vs.5 apod.). Vybíral větší kvantitu i v případě nových párů. I běluha byla testována na postupnou prezentaci ryb. Také vybírala větší set. Oba pokusy ukazují, že delfíni i běluhy jsou schopni vybírat větší množství nad hranici náhody, přestože nikdy nemohou vidět celý set nebo oba sety naráz. Jsou tedy schopní mentální reprezentace a srovnání. Takže tyto výsledky potvrzují ostatní studie dělané na mořských savcích jako lachtani (Abramson J. S., Hernández-Lloreda, Call, & Colmenares, 2011) či delfíni (Kilian, Yaman, Fersen, & Güntürkün, 2003). Kytovci jsou tedy schopni pouze relativní početnosti.

7. Ptáci

Snad nejdéle testovaným druhem ptáka je papoušek šedý, jehož výzkumu se dlouhodobě věnuje především vědkyně Irene Pepperberg. Zkoumá mnoho kognitivních schopností, včetně numerické kompetence. Numerické schopnosti se vyskytují i ve volné přírodě u ptáků, kteří se vyrovnávají se situacemi jako je hnízdní parazitismus či food-hoarding. V kapitole se budu věnovat jak žakovi, tak i dalším modelovým ptákům typickým pro testování kognitivních schopností, jako je holub nebo kur. Součástí budou i NS v souvislosti s fenoménem hnízdního parazitismu a food-hoardingu.

7.1. Nejprostudovanější druh papoušek šedý (*Psittacus erithacus*)

Žako jménem Alex už měl rozsáhlé znalosti o barvách, tvarech a různých objektech (Pepperberg, 2002), když se začal učit určovat množství (do 6). Díky těmto znalostem uměl pracovat i s heterogenními sety (obr. 69 el. přílohy), např. uměl odpovědět na otázku: „Kolik modrého dřeva?“ (obr. 70 el. přílohy). Alex se naučil označovat

položky až do 6 mluvenou angličtinou, plně značkám rozuměl, chápal i nulu a určoval také sumu malých množství (Pepperberg, 2006, 2013).

Alex byl trénován identifikovat malé sety objektů anglickými slovy. Jako objekty byly používány například klíče či kousky papíru. Nejprve se učil rozeznávat 3 a 4 (těmito číslicemi se začalo, protože už uměl na základě rohů určit trojúhelník a čtverec), potom 2 a 5, pak 6 a nakonec 1. Učili ho tak, aby formoval jakousi číselnou řadu. Musel pochopit, že značka se o „jedničku“ liší oproti značce předchozí. Pokud odpověděl správně, byl pochválen, dostal danou položku, ke které se otázka vztahovala, nebo mohl požádat o jinou alternativní odměnu. Při testování se využíval celý jeho dosavadní repertoár. Naučil se rozlišovat až 6 různých položek v heterogenních setech (obr. 71 el. přílohy). Jeho úroveň byla vyšší než u dětí jakéhokoli věku, protože těm byly prezentovány pouze sety homogenní, které jsou obecně jednodušší, protože testovaný subjekt nemusí přemýšlet nad zařazením objektu do určité kategorie.

V testech pracujících s heterogenními sety mu byly pokládány otázky typu „Kolik modrého dřeva?“, kde jeho přesnost byla cca 83% (obr. 72 el. přílohy). Tyto sety byly testovány proto, aby se rozlišilo, zda používá počítání či vjemy (subitizing). Pokud by používal spíše vjem, nedělal by žádné chyby pro čísla 1 a 2, méně chyb na 3 a u vyšších čísel by se počet chyb stupňoval. Ovšem Alex dělal chyby náhodně u všech čísel. Chyby mohou být různých typů, které ani nemusí souviset s číslem: slova mohou znít podobně (skoro polovina jeho chyb); špatné porozumění značce; odlišné vnímání barev ptáka a člověka; spojení informací – na označení objektu musí být použity 2 kategorie (objekt + např. barva).

Zůstalo otázkou, zda Alex pouze správně používal značky, nebo jim i rozuměl. Takže mu byla ukázána kolekce se 3 různě početnými sety stejných objektů různých barev (obr. 73 el. přílohy) nebo 3 různě početné sety různých objektů stejných barev. A byla mu položena otázka „Jakou barvu mají objekty, kterých je X?“ Na tuto otázku odpovídal správně skoro z 90% bez předchozího tréninku. Aby odpověděl správně, musel správně chápat jednotlivé informace. Chápal, jak jdou jednotlivé značky pro čísla po sobě (ordinalita) a že poslední označuje celkové množství (kardinalita), a tím překonal děti až do cca 3 let věku.

Na otázku „Jakou barvu mají 3 předměty?“ (v setu 2, 3 a 6 objektů), 3x po sobě odpověděl 5. Tak experimentátor změnil otázku: „Jakou barvu má 5 předmětů?“. To odpověděl „žádný“. Byla to překvapující odpověď, protože nikdy nebyl trénován na používání „žádný“ v případě absence nějakého množství. Byl trénovaný na „žádný“ v případě otázek na stejný/jiný, když žádná kategorie nebyla stejná nebo jiná. Spontánně to převedl i na otázku „Která barva je větší?“ pro stejně velké objekty. Používal toto slovo z následujících důvodů: označení nulového setu; představa „žádný“ je abstraktní a je to porušení očekávání presence, děti tento koncept používají před tím, než zjistí, že se jedná o „nulu“, ale Alex úmyslně používal „žádný“ v otázkách s čísly; posledním důvodem je možnost, že chtěl vyvolat debatu. Jak moc je ale Alexova představa o „žádný“ spojena s pochopením „nuly“ u dětí a zvířat, je otázkou.

Když byl testován jiný papoušek jménem Griffin na určování, kolik kliknutí na počítači slyšel, Alex odpověděl za něj, ale postupně tyto sumy sčítal. Griffin měl odpovědět 2 (neodpověděl), Alex odpověděl 2. Pokus byl zopakován, Alex odpověděl 4. Proto byl tedy testován na sumaci oříšků či sladkostí (na různé kombinace až do sumy 6). Jeho přesnost byla skoro 94% při sumaci 1 nebo 2, pro 5 a 6 to bylo skoro 82%.

Naučili ho také pojmenovávat arabské číslice, aby ho mohli testovat abstraktně – bez přítomnosti fyzických položek, a potom testovali, jestli má nějaké ponětí o ordinalitě. Už uměl rozlišovat větší/menší, ale na základě fyzické velikosti. Na začátku při prezentaci dvou stejně velkých číslic „x“ a „y“ na tuto otázku odpovídal „žádný“ (obr. 74 el. přílohy). Bylo potřeba, aby vyvodil, že arabská číslice (přítomná fyzicky) má stejnou velikost, jako když ji vysloví. Potom mu byly prezentovány jak číslice, tak fyzické položky. Jeho výsledky v těchto pokusech byly zajímavé. Pokud totiž byla číslice, která odpovídala množství většímu (6 vs. 5 položek) či stejnému (2 vs. 2 položky) jako řada položek, nebo číslice menší než řada, jeho přesnost byla cca 76%. Ale když byla 1 číslice větší vs. 1 objekt – odpověď byla „žádný“, v tomto případě fyzicky přítomný set přemohl odpověď na symbol.

Potom mu chtěli rozšířit slovní zásobu o „7 a 8“. Když se je naučil správně vyslovovat, bylo třeba pochopit, že $6 < 7 < 8$ (ordinalita), a mohl je pak zařadit do numerické řady. Když se toto naučil, testovali ho na sčítání arabských číslic (test probíhal stejně jako sčítání položek). Bez předchozího tréninku spontánně převedl znalosti ze sčítání položek na sčítání symbolů (číslic) až do celkové sumy 8. Rozšířil svou schopnost pravého počítání až do osmi.

7.2. Komplexní schopnosti holuba skalního (*Columba livia*)

Experimenty týkající se holuba skalního budou popisovány podrobněji, protože jedním z cílů je designovat nové experimenty pro jejich testování (viz kap. 7.7.).

Honig a Stewart (1989) dělali pokusy, aby zjistili citlivost holubů na relativní početnost. Holubi byli trénováni na diskriminaci stimulů designovaných jako pozitivní („všechny červené tečky = jídlo“), nebo negativní („všechny modré = absence jídla“). Řady byly znázorňovány v různém poměru barev. Ukázal se přímý vztah mezi přítomností červených teček a rychlostí odpovědi v přítomnosti těchto teček. Pokud tam bylo málo či žádné červené tečky, odpovídali mnohem pomaleji. Potom byly testy rozšířeny na nové počty (např. 64 teček); dále byly tečky nahrazeny 0 a X (obr. 75 el. přílohy); měnily se také velikosti teček a nakonec byly tečky nahrazeny obrázky (obr. 76 el. přílohy). Holubi jsou schopní relativní diskriminace a nejsou omezeni jen na jednoduché elementy. Ovládají *abstraction principle*, tj. nezáleží na typu diskriminovaných objektů.

Holubi byli trénováni i na určování „více“ při záblescích červeného či modrého světla (Alsop & Honig, 1991). V *prvním experimentu* byla sekvence složena ze 7 záblesků, červené záblesky následovaly po modrých a naopak. Záblesk trval 0,3s a pak byla pauza 0,2s. Po posledním záblesku holubi odpovídali klovnutím do levého tlačítka, když bylo více modrých záblesků. Do pravého, když bylo více červených. Holubi se naučili rozeznávat relativní početnost záblesků. Výkon byl ovlivněn i pořadím, ve kterém byly záblesky prezentovány. Když byly nejprve modré, více odpovídali směrem k červeným. Když byly modré prezentovány jako druhé, odpovídali více na modré. Úspěšnost odpovídání byla nižší, když byli testováni na 5 či 9 záblesků, sekvence 5 či 9 pravděpodobně narušily výkon (hlavně na počátku testování) tím, že se končilo dříve (5) nebo později (9), než bylo známé u 7 záblesků. Lze říci, že na počátku testování nových sekvencí je mátl čas, po který tyto nové sekvence trvaly.

Ve *druhém experimentu* bylo pořadí červených a modrých záblesků náhodné, o to více bylo možných kombinací, proto byla prezentována pouze sekvence 5 záblesků. Trvání záblesků a mezer mezi nimi se měnilo podle jednotlivých fází tréninku. *První*, trvání 0,33s, mezera 0,33s. Po ní následovaly další 4 fáze prezentovány v odlišném pořadí (A až D). *B a D*, trvání záblesků 0,33s, mezery 0,66s a 1s. *A a C*, mezery 0,33s a trvání 0,66s a 1s. *Šestá* byla opakováním první fáze. Počet modrých záblesků koreloval s počtem odpovědí na modré (bez vlivu náhodného pořadí). Bylo zde vidět zlepšení v přesnosti po první fázi tréninku. S rostoucím trváním záblesku rostla i přesnost

výkonu během fází A až D. Trvání mezery mělo také vliv na výkon holuba (lepší výkon při 0,33s než při 1s; při 0,66s to neplatilo, možná to bylo způsobeno tím, že trénink končil 6. formou – 0,33s). Poslední záblesk měl zřejmě dominantní vliv na výkon holuba, protože v posledních dvou záblescích dělali holubi skoro 2x tolik chyb.

Ve *třetím experimentu* byly prezentovány pouze 3 záblesky různých kombinací. Mezera mezi prvním a prostředním byla 0,5s, 1,5s nebo 2,5s, druhá mezera byla vždy 0,5s. Záblesk trval pokaždé 0,5s. Pokud by bylo časové umístění důležité, potom by vliv prvního záblesku klesal s rostoucí mezerou. V porovnání s prvním experimentem (poslední dva záblesky mají velký vliv), by měla mít měnící se pozice prvního záblesku relativně malý vliv. Když byla sekvence složena ze záblesků stejné („M“) barvy (sekvence MMM), rozdílné mezery neměly vliv na přesnost. Když se na prvním místě objevil jinak („o“) barevný záblesk (sekvence oMM), rostoucí mezera mezi prvními dvěma záblesky zvyšovala přesnost, protože první záblesk měl menší vliv na finální rozhodnutí (všichni holubi odpovídali správně častěji s 2,5s mezerou). V sekvenci MoM rostoucí mezera snížila přesnost, stejně tak i v sekvenci MMo. Celkově lze říci, že časová vzdálenost mezi záblesky je důležitá proměnná.

V *prvním experimentu* studie Roberta (2010) bylo prezentováno 5 záblesků červené (A) či zelené (b) barvy. Jejich poměry byly 5:0, 4:1 a 3:2. Po prezentaci se po stránkách objevily stejně barevné stimuly a holubi měli vybrat, která barva byla prezentována častěji. Byl vidět „distance effect“, tzn. přesnost klesala s tím, jak se čísla přibližovala k sobě (obr. 77 el. přílohy). Ve *druhém experimentu* byly poměry 2:1, 3:2 a 4:2. Zde byl vidět „magnitude effect“, kde výkon holuba byl lepší při poměru 2:1 a 4:2, než při 3:2 (obr. 78 el. přílohy). *Třetí experiment* kontroloval celkové trvání záblesků, tj. červené i zelené záblesky trvaly dohromady stejně dlouho. I zde byl vidět „magnitude effect“ (obr. 79 el. přílohy). Tzn. holub se neřídil délkou trvání, ale počtem jednotlivých záblesků. Dále se ukázalo, že pokud je menší počet záblesků na konci sekvence, klesá výkon. Tato práce stejně jako práce předchozí (Alsop & Honig, 1991) dokazuje, že délka záblesku není pro holuby nijak důležitá. Větší vliv má na holuby spíše trvání časové mezery mezi nimi (Alsop & Honig, 1991). Obě studie ale dokazují, že poslední záblesky mají velký vliv na výkon holuba.

Holubi byli trénováni na rozlišování relativního množství „hodně“ (6 nebo 7) a „málo“ (1 nebo 2). Postupně byly přidány i nové stimuly 3, 4 a 5 (Emmert, Lohmann, & Niemann, 1997). Elementy měly různé tvary, velikosti, byly prázdné nebo vybarvené, různě rozmístěné. Nové počty (3, 4, 5) holubi správně zařadili mezi málo a hodně (na pomyslné číselné řadě). U vyšších počtů (5, 6, 7) nebyl vidět větší signifikantní rozdíl v přesnosti, ale u malých počtů 1 až 4 ano. Toto zjištění koresponduje s Webrovým zákonem. Během testování nespolehali na fyzické parametry elementů. Holubi si osvojili si řadu 1-7 a seřadili jednotlivé počty, jak jdou po sobě (ordinalita).

Holubi rozlišovali také mezi dvěma vizuálními stimuly, které přikrývaly nádobku s jídlem (obr. 80 el. přílohy) a které se lišily počtem, objemem či obojím (Olthoff & Roberts, 2000). V *1. experimentu* symboly odpovídaly 0, 1, 3, 5, 7 nebo 9 kouskům zrní. Větší počet měl zároveň i větší objem. Holubi se naučili vybírat stimul, který korespondoval s větším počtem odměny (i v případě nových párů) a během testů sumace také vybírali symboly, které dohromady daly větší množství. Poskládali si řadu $0 < 1 < 3 < 5 < 7 < 9$ (schopnost ordinality). Na základě tohoto experimentu ale není možné určit, zda holubi vybírají na základě počtu či objemu. Ve *2. experimentu* byl proto objem setů držen konstantní, lišil se jen počet kuliček. Tady se ukázalo, že holubi nerozhodují na základě počtu, ale na základě objemu (tj. náhodně). Neukázali žádnou preferenci vybrat hodně malých kuliček místo mála velkých. Pouze když jedna z možností byla 0, tak vybrali větší počet. Ve *3. experimentu* byl počet kuliček konstantní (1),

ale lišily se objemem. Holubi vybírali větší množství jídla. Holubi jsou celkově schopni sumace, ale ne na základě počtu, nýbrž na základě celkového objemu položek. Je možné, že když jsou jim stimuly prezentovány současně, tak jejich odpověď je založena na objemu odměny. Schopnost abstrakce (velké stimuly „počítat“ stejně jako malé) jim ale chybí.

Straub a Terrace (1981) trénovali holuby nejprve na postupné označování barev A (modrá), B (červená), C (zelená), D (žlutá) – sekvence AB, ABC a ABCD. Jejich výsledky byly vysoko nad hranicí náhody. Potom byli testováni na různé kombinace 2 a 3 barev (nemusely jít za sebou). Holubi odpovídali správně, tj. podle naučeného pořadí barev, i na nesousední barvy, takže ovládají princip ordinality.

Holubi vybírali na monitoru symboly, které odpovídaly počtu elementů (Xia, Emmerton, Siemann, & Delius, 2001). Počet elementů byl 1 až 5, odpovídající symboly byly A, B, F, G, H (obr. 81 el. přílohy). Po tréninku bylo pět holubů schopno přiřadit 1 až 4, dva holubi 1 až 5. Měnilo se uspořádání elementů i symbolů, i tvar elementů (čtverce, motýlci...), byly prezentovány také heterogenní sety (obr. 82 el. přílohy). Holubi jsou schopni asociovat malé počty s numerickými symboly a jsou schopni určit absolutní počet.

Tyto pokusy (Xia, Emmerton, Siemann, & Delius, 2001) rozšířili Hirai a Jitsumori (2009) na škálu 1 až 8. Holubi byli trénováni na počet 1, 3, 5 a 8 (stejně velké tečky svítily bíle na monitoru). Museli jednotlivé elementy postupně označit, a tím zčervenaly. Po zčervenání se objevily srovnávací stimuly (barvy): zelená, fialová, modrá a žlutá (1, 3, 5, 8). Pro nové počty (2, 4, 6, 7) holubi klovali do srovnávacích stimulů co nejbližších pro počty, které znali. Takže holubi se úspěšně naučili absolutní počet 1 až 8 a pomyslně jej seřadit. Byl také kontrolován počet klovnutí, např. dvě tečky (ze 3) vyžadovaly 2 klovnutí (každá), zatímco třetí tečka jen jedno, tudíž celkový počet klovnutí byl 5. Takže experiment zjišťoval, zda holub nerozlišuje na základě času či celkového počtu klovnutí. Bylo pozorováno, že počet teček má na výběr holuba vliv víc, než časová nápověda nebo jiná událost (jako je celkový počet klovnutí). Nejméně přesní byli při určování pěti teček. Kraje škály (1 a 8) si málo kdy spletli se sousedními počty (na rozdíl od prostředních hodnot 3 a 5). V tomto experimentu byl celkový čas, nutný k odpovědi, nedůležitý.

Holubi byli podobně jako potkani (Capaldi & Miller, 1988) testováni na absolutní počet (Rayburn-Reeves, Miller, & Zentall, 2010). Nejprve měli 1x klovnout do stimulu v centru obrazovky, přičemž 3x byli odměněni, ale počtvrté ne (RRRN). Ovšem ani to, že za čtvrté klovnutí nic nedostali, je nezpomalilo. Jsou dvě možná vysvětlení: buď na určování nepoužívají počet, nebo je to neodradilo. Proto se zvýšil požadovaný počet klovnutí na 10. Tady už se ukázala delší čekací doba před posledním (neodměňovaným) pokusem. Holubi jsou schopni předvídat pokus (spočítat odměny), kdy nebudou odměněni, ale jen tehdy, když na každý pokus musí klovnout 10x. Pokud jen jednou, neprojevuje se u nich žádná numerická kompetence.

Na základě vědeckých publikací vydaných do současné doby mohou shrnout, které numerické schopnosti holubi zvládají. Jedná se o jednoduché schopnosti: relativní početnost (Honig & Stewart, 1989; Alsop & Honig, 1991; Roberts, 2010) a sumaci (Olthof & Roberts, 2000); také o schopnosti obtížnější: schopnost ordinality (Emmerton, Lohmann, & Niemann, 1997; Straub & Terrace, 1981), absolutní početnost (Xia, Emmerton, Siemann, & Delius, 2001) i počítání (Rayburn-Reeves, Miller, & Zentall, 2010).

7.3. Relativně jednoduché schopnosti kura bankivského (*Gallus gallus*)

I čerstvě vylíhnutá kuřátka jsou schopná relativní početnosti a sumace. Byla imprintována pěti stejnými objekty (Rugani, Fontanari, Simoni, Regolin, & Vallortigara, 2009). V 1. experimentu aréna obsahovala dvě zástěny, za které

byly umístovány objekty (obr. 83 el. přílohy). Během tréninku tam byla jen jedna zástěna, za kterou byl viditelně umístěn jeden míček, jakmile ho kuře 3x po sobě následovalo, přešlo se k testovací fázi, kde byly dva sety se 2vs.3 míčky, které byly současně nebo postupně viditelně přesunuty za zástěny. Kuřata preferovala výběr 3 míčků. Ve 2. *experimentu* byly jako stimuly využity červené čtverce, rozlišování 2vs.3. Kuřata byla rozdělena na 3 skupiny. *První*, čtverce byly stejné jako v tréninku. *Druhá*, set se 2 obsahoval stejné čtverce, set se 3 obsahoval menší čtverce, byl tudíž kontrolován celkový obrys. *Třetí*, totéž, ale byla kontrolována celková plocha. Čtverce byly prezentovány postupně. Kuřata opět vybírala přepážku s více čtverci. Ve 3. *experimentu* byly míčky umístěny za obě přepážky a pak zpoza jedné přemístovány za druhou. Jednalo se o dva typy experimentů. *Zprvé*, (4-2) vs. (1+2), tj. za zástěnami míčky nejprve v poměru 4vs.1, poté byly 2 přemístěny za zástěnu s původně jedním míčkem, a (5-3) vs. (0+3) – v obou případech byl větší set umístěn tam, kde na konci zbyly pouze 2 míčky, tj. špatný (menší) výsledek (obr. 84A el. přílohy). *Zadruhé*, (4-1) vs. (1+1) a (5-2) vs. (0+2), kde byl míček přemístován zpoza správné přepážky směrem ke špatné (obr. 84B el. přílohy). Přestože byly podmínky těžší, už od počátku testování kuřata vybírala 3 míčky. Rozlišování bylo v prvním a druhém pokusu založeno na tom, jak si kuřata pamatovala, kde zmizely objekty. Druhý pokus ukázal, že rozlišují na základě počtu, ne na základě fyzického vzhledu, místa či obrysu. Ve třetím pokusu také vybírají správně bez ohledu na to, že je nápovědy vedly k počáteční nebo ke konečné události.

Mladá kuřata byla testována na rozlišování absolutního počtu - dvou malých kvantit (Rugani & Regolin, 2008). *1. experiment* (rozlišování 1 vs.2), kuřata byla rozdělena na dvě skupiny, jedna byla odměňována za „1“, druhá za „2“. V *prvním testování* byly použity stejně velké černé tečky, pouze v různých pozicích. V *druhém testu* byly stejně velké červené tečky v různých pozicích doplněné černým obdélníkem (obr. 85 el. přílohy). Výsledkem obou testů je, že obě skupiny se naučily bez problémů rozlišovat 1 vs.2. Ve 2. *experimentu* (2vs.3) byla kuřata rozdělena na ty, kterým byly prezentovány tečky, a na ty, kterým čtverečky (obr. 86 el. přílohy). V každé skupině pak byla odměňována za jiný počet. Během tréninku byly objekty černé a stejně velké. V *prvním testování* byly černé, stejně velké, ale prostorové uspořádání se měnilo. Všechny skupiny vybíraly správně. Ve *druhém testování* byl pro skupinu s tečkami kontrolován prostor a velikost (kuřata vybírala správně). Skupina se čtverečky měla kontrolováný perimetr (obvod), např. délka obvodu pro stimulus reprezentovaný dvěma čtverečky byl stejný. Kuřata vybírala správně, ale skupina se dvěma čtverečky byla úspěšnější. Ve *třetím testu* byly červené čtverečky a černý obdélník, který tečky z části překrýval. Kuřata uspěla. *Čtvrtý test* byl obdobný, ale kuřata neuspěla. Možným vysvětlením je viditelnost pouze 16% čtverečku oproti minulému testu, kde byla 44%. Tyto výsledky mohou souviset s pojmem „amodal completion“, tj. jestli chápou celistvost objektu, i když je částečně zakrytý (Nagasaka, Lazareva, & Wasserman, 2007). V *pátém testu*, kde byly všechny prezentované objekty černé, kuřata také uspěla. Ve 3. *experimentu* (4vs.5) byla kuřata rozdělena na dvě skupiny, jedné byla prezentovaná řada teček, druhé tečky poskládané do tvaru (obr. 87 el. přílohy). Skupina s tečkami v řadě neprošla ani tréninkem. Druhá skupina byla v *prvním testu* testována stejně jako v tréninku (4vs.5 v kruhu). Ve *druhém testu* byla jiná pozice v prostoru a ptáci vybírali náhodně. Ve *třetím testu* byla odebrána jedna tečka, opět vybírali náhodně. Ve *čtvrtém* byly tečky nahrazeny obrysem. Kuřata spíše odpovídala na základě prostorové konfigurace než počtu. Ve 4. *experimentu* byl poměr 4vs.6. Tečky během prvního tréninku byly v řadě 0,5 cm nebo 1 cm od sebe. Ve další fázi experimentu se jejich prostorové rozložení dále měnilo. Ani jedno kuře neprošlo tréninkem. Jednalo se o diskriminaci stejného poměru (2:3) jako v pokusu 2vs.3, ale pravděpodobně proto,

že se jednalo o větší čísla, tak kuřata v testu neuspěla. V 5. experimentu (3vs.4) byly prezentovány tečky (0,4 nebo 1,2 nebo 1,5 cm od sebe) během tréninku. V prvním testování se lišilo jen prostorové uspořádání. Ve druhém i velikost teček, ve třetím i plocha. Pouze jedno kuře prošlo tréninkem, ale ve všech testech bylo na hranici náhody.

Tato studie dokazuje (Rugani & Regolin, 2008), že kuřata úspěšně rozlišují pouze malé 1vs.2 a 2vs.3. V těchto poměrech jsou úspěšná i přes četné kontroly barvy, tvaru či uspořádání. Ve zbytku testování při rozlišování vyšších hodnot neuspěla. Takže horní limit jejich diskriminace na základě počtu je pravděpodobně „trojka“. U větších počtů už přechází zřejmě k jiným nápodobám (prostor apod.).

Kur bankivský ovládá jak základní NS – relativní početnost a sumaci (Rugani, Fontanari, Simoni, Regolin, & Vallortigara, 2009), tak i NS pokročilejší – rozlišování absolutní početnosti v setech s malými počty (Rugani & Regolin, 2008).

7.4. Čeled' *Corvidae* a testování numerických kognitivních schopností různé složitosti

Čeled' krkavcovitých (*Corvidae*) je častým modelovým taxonem pro testování kognitivních schopností. Vránám hrubozobým (*Corvus macrorhynchos*) byly současně (obr. 88 el. přílohy) prezentovány dva sety objektů (Bogale, Kamata, Mioko, & Sugita, 2011) během tréninku v poměru 2vs.5 v různém uspořádání (obr. 89 el. přílohy). Vrány se naučily rozlišování relativní početnosti poměrně rychle. Během testování se jednalo o jiné poměry a měly tendenci vybírat v menších setech známou větší kvantitu (3/5 a 4/5), ve větších setech novou větší hodnotu (5/7, 5/8), kromě 5/6 (vliv Webrova zákona). Ukázala se přirozená tendence vybírat větší sety v případě malých množství.

Vrány bělavé (*Corvus tristis*) byly trénovány na vybírání většího setu (Zorina & Smirnova, 1996) o počtech 1 až 12. Barva, velikost i rozestavení se měnily během trénování, větší set mohl obsahovat malé elementy apod. Vrány dosahovaly vysoké přesnosti (cca 75%), včetně vyšších poměrů mezi sety. Testovány byly na 10-20 elementů, kde také byly úspěšné (cca 71%), ale už měly větší problém se změnou poměru a se změnou celkové plochy.

Vrány šedé (*Corvus cornix*) byly trénovány na přiřazování arabské číslice či řady ke vzoru (Smirnova, Lazareva, & Zorina, 2000), prezentovány byly tři karty: jedna vzorová, dvě na výběr. Nejprve se začalo s přiřazováním barev (bílé a černé) ke vzoru (obr. 90 el. přílohy), v případě „matching-sample task“ („výběr stejné“) měl být vzor umístěn ke stejné barvě, v případě „odddity-sample task“ („výběr jiné“) k barvě druhé. Potom se vzor umístil doprostřed (obr. 91 el. přílohy) a barvy byly nahrazeny číslicemi (1, 2) a následně i elementy o určitém počtu. Testována byla nejprve kombinace známých a neznámých číslic (2vs.3) či počtů elementů, potom byly prezentovány páry pouze nových stimulů (5-8). Žádná vrána neměla výsledky signifikantně odlišné na známé kombinace a na nové kombinace. Vrány jsou schopné transitivity – schopnosti přiřazovat karty jak na základě fyzické podobnosti (barva), tak i na základě počtu elementů (obr. 92 el. přílohy). Tyto znalosti umí také aplikovat na nové stimuly (v tomto případě 5-8).

V navazující práci (Smirnova, Lazareva, & Zorina, 2003) testovali vrány v podobném experimentu, ve kterém se vrány naučily vybírat kartu (stimulus) na základě znalosti, že za ni dostanou korespondující počet larev. Během tréninku byla vzorová karta stejného typu jako jedna z možností na výběr (obr. 93A el. přílohy), např. vzorová byla s číslicí, zatímco na výběr byla jedna karta s číslicí a druhá s odlišným počtem elementů. Během testování byla vzorová karta odlišná (obr. 93B el. přílohy), např. na vzorové byly tři elementy, zatímco na výběr byla číslice 3 nebo 4. Vrány byly schopné se naučit, že počet elementů koresponduje s číslicí na základě porovnávání informací: počet elementů koresponduje s počtem larev, číslice koresponduje s počtem larev, takže elementy korespondují s číslicí

(transitivita). Druhou variantou je porovnávání pouze počtu elementů a číslic. Pravděpodobnější cesta je ta první, protože lidé i zvířata se rychleji učí s odměnami, než bez nich. Bez předchozího tréninku byly vrány schopné také podobné operace jako je sčítání. Na začátku experimentu vrány pouze věděly, že číslice a řada elementů koresponduje s počtem larev. Na konci už věděly, že přepůlená karta (např. 2/2, tj. celkem 4) koresponduje se stejně rozdělenými larvami v nádobě (obr. 94 el. přílohy).

Cílem studie Ujfalussy et al. (2014) bylo zjistit, zda jsou kavky obecné (*Corvus monedula*) schopné založit rozlišení relativního množství na mentální reprezentaci. Byly jim postupně prezentovány dva sety (všechny kombinace 1-5 položek), ale v době výběru nebyl set jako celek vidět. Kavky vybíraly větší set spontánně, i když byl čas potřebný na dané sety stejný (na vyrovnání počtu byly použity kamínky). Jejich úspěšnost byla závislá na Webrově zákonu (neuspěly v poměrech 3:5, 4:5, 3:4). Ovšem v případě druhého kontrolního testu, kdy byla prezentována 1 velká kočičí granule vs. 3 malé (celkový objem obou setů byl stejný), kavky vybíraly náhodně, tzn. nerozlišovaly na základě počtu, ale na základě objemu. Ptáci v případě obtížnější úlohy (kontroly objemu) nepoužívali jako náповědu počet, ale objem. Což ovšem neznačí, že nejsou schopni rozlišit sety na základě relativní početnosti. Ukazuje to pouze, že pokud mohou využít jinou, jednodušší, náповědu (objem) než je počet, udělají to.

Charakteristickým znakem komplexních kognitivních schopností je flexibilita používání informací. To vyžaduje abstraktní reprezentaci informace. V pokusech Pfuhl a Biegler (2012) zjišťovali, kterou mentální reprezentaci používají kavky, která je přirozenější a dominantnější při určování sekvence, jestli ordinalita nebo řetězení (to je považováno za nejjednodušší, jedná se o asociaci mezi jednotlivými položkami). Kavkám byly ukazovány triplety složené z abstraktních obrázků (obr. 95 el. přílohy). Tři položky byly vždy prezentovány v přesně daném pořadí. Test obsahoval navíc ještě jeden obrázek, který byl z jiné sekvence („rušitel“). Mezi chyby, které kavky dělaly, patřilo: vybrání rušitele místo položky na stejné pozici (nejčastější chyba); vybrání rušitele na jiné ordinální pozici; vybrání položek ve špatném pořadí. Pochopily, že první události nepředchází nic, druhá navazuje na první apod. Tato reprezentace závisí na porozumění číslům a je to komplexnější proces než pouhé asociativní řetězení.

Numerické schopnosti krkavcovitých jsou tedy následující: relativní početnost (např. Zorina & Smirnova, 1996), sumace (Smirnova, Lazareva, & Zorina, 2003), schopnost transitivity (Ujfalussy, Miklósi, Bugnyar, & Kotrschal, 2014) a ordinality (Pfuhl & Biegler, 2012).

7.5. Numerické schopnosti u ptáků ukrývajících si potravu (food-hoarding)

Pojem „food-hoarding“ či „food-storing“ znamená shromažďování potravy do skrýší. Lejsčík dlouhonohý (*Petroica australis*) je pěvec, u něhož samci a samice během zimy kompetují o jídlo a vykrádají i skrýše ostatních. Lejsčík byl testován, zda při vybírání cizích skrýší uplatňuje numerické rozhodování (Hunt, Low, & Burns, 2008). Obecným schématem pokusů bylo prezentování dvou množství moučných červů (jeden po druhém), obě místa pak byla zakryta a pták si měl vybrat (obr. 96 el. přílohy). Byla prezentována různá množství o celkovém počtu až 18 červů. Ptákům byl dovolen přístup jen k první vybrané skrýši. V pokročilejší fázi byli někteří červíci nahrazeni kamínky či jedno místo bylo naplněno a druhé necháno prázdné. Poslední experiment byl udělán proto, aby se ukázalo, zda budou hledat déle, když očekávají větší množství potravy. Byly jim například prezentovány 2 červíci, ale dovoleno získat jen jednoho. Aby se minimalizovala také náповěda objemu, byli jim ukázáni např. 2 malí červíci a dovoleno získat 1 velkého. Ve většině případů vybírali místo s větším počtem. Byl kontrolován také čas a celkový objem – do méně početného setu byly přidány kamínky. Přesnost diskriminace lineárně klesala s celkovým počtem položek

schovaných v obou skrýších (obr. 97 el. přílohy). Ptáci déle hledali, když očekávali větší množství červů. Tito pěvci mají numerické schopnosti (relativní početnost) i bez předchozího tréninku. Mají vyšší úroveň než jiná divoká zvířata (do 4 položek) – lejsčáci rozlišili mezi dvěma sety, které měly dohromady až 12 položek. Možným vysvětlením je, že je to nedílná součást jejich strategie – hledání skrýší a jejich vykrádání.

Poddruh tohoto lejsčíka (*Petroica longipes*) byl testován podobně (Garland, Low, & Burns, 2012). Ve dvou experimentech byly použity stejné poměry moučných červů, ale jednou byli červi prezentováni postupně a následně přikryti, podruhé současně a nepřikryti. Třetí experiment se týkal velkých počtů (obr. 98 el. přílohy). Ptáci jsou schopni vybrat větší ze dvou setů (obr. 99 el. přílohy), ať už jsou prezentovány současně nebo postupně. Nepatrně vyšší úspěšnost je vidět při vybírání většího množství při prezentování postupně (obr. 100 el. přílohy) než současně (obr. 101 el. přílohy). Úspěšnost v prvních dvou experimentech byla dána celkovou velikostí obou setů, zatímco ve třetím (v případě velkých počtů) byla dána poměrem mezi sety (vliv Webrova zákona).

7.6. Schopnost určovat množství u hnízdních parazitů

Kachnička karolínská (*Aix sponsa*) je parazitem, který snáší vajíčka do hnízd samice stejného druhu (Odell & Eadie, 2010). Počet vajíček ve snůšce může být důležitým indikátorem, v jaké fázi snášení hostitelská samice je. Když umělé hnízdo obsahovalo 5 vajíček, pro parazita to znamenalo, že hostitelská samice ještě nedokončila snášení. Když obsahovalo 10, tak už se snášení blížilo ke konci. Když 15, inkubace už začala. Když 20, tak inkubace začala nebo bylo hnízdo opuštěno. Parazitické kachničky preferovaly snášení do hnízda, kde bylo méně vajíček. Když jim byla nabídnuta hnízda s 5/10/15/20 vajíčky, častěji si vybraly 5 či 10 a snesly tam více vajíček. Kachničky aktivně srovnávaly obsah hnízd a podle toho uzpůsobily kladení. Ukázalo se, že kachničky jsou citlivé na relativní počet vajíček v hnízdě, ale není jasné, jaký mechanismus numerických kompetencí používají.

Samice vlhovce hnědohlavého (*Molothrus ater*) také synchronizují kladení vajíček s načasováním inkubace u hostitele, který typicky snáší 1 vajíčko denně. Vlhovec hodnotí ochotu na inkubaci podle počtu vajíček. Jestliže může jednotlivá hnízda navštěvovat několik dní po sobě, pamatuje si předchozí počet i počet uplynulých dní (White, Ho, & Freed-Brown, 2009). Byly designovány tři pokusy (obr. 102 el. přílohy), každý byl složen z pretestu, pauzy a testu. V prvním experimentu pretest obsahoval hnízda s 1 a 3 vajíčky. Během pauzy (2 dny), byla do jednoho přidána 2 a do druhého 0 vajíček, takže obě obsahovala 3 vajíčka. V pretestu samice preferovala hnízdo se 3 vajíčky, v testování hnízdo, které původně mělo vajíčko 1, protože v tom druhém se počet nezměnil. Ve druhém experimentu byl pretest stejný, ale pauza byla 3 dny. Do jednoho hnízda přibyla 2 vajíčka (tj. 3 celkem) a do druhého 3 vajíčka (tj. 6 celkem). Podle předpokladu samice preferovala 3 vajíčka v pretestu a 6 vajíček v testu. Ve třetím experimentu bylo v každé voliéře umístěno 9 hnízd 3 typů: v jednom se každý den měnil počet vajíček (3 dny); ve druhém se počet změnil pouze 1x; ve třetím se nezměnil vůbec. Rostoucí preference samic byla vidět u prvního typu hnízd, u druhého klesala po druhém dni a u třetího také klesala. Takže vlhovci preferovali ta hnízda, kde se změnil počet od jejich předchozí návštěvy (podle počtu dnů). Krátce tato hnízda navštívili a zapamatovali si informaci o počtu do dalších dnů.

Hostitelská lyska americká (*Fulica americana*) si naopak všimne a může i odmítnout vajíčko parazitické (Lyon, 2003). V tomto případě vajíčko buď vyhodí z hnízda, nebo je zahrabe v hnízdě. Pokud je parazitické vajíčko velmi podobné a ona si není jistá, tak ho sice inkubuje, ale je na okraji snůšky, kde je inkubace nejnižší. Lyska tudíž „počítá“ (resp. zakládá rozhodnutí na počtu) svá vajíčka a parazitická vajíčka, která jsou navíc, ignoruje. Jedná

se pozoruhodný, ale vzácný případ „počítání“ v divoké přírodě, i když se nejspíš nejedná o počítání v pravém slova smyslu, spíš o „protocounting“.

7.7. Návrh designů pokusů pro holuby testujících relativní a absolutní početnost

Jedním z cílů bakalářské bylo designovat pokusy, které by bylo možné testovat na holubech a které na nich ještě testovány nebyly.

Prvním pokusem bude testování relativní početnosti ve Skinnerově boxu. Principem bude prezentace o 20 slidech (1 slide = 30s), na kterých budou dvě bílé karty s různým počtem teček, přičemž karty budou náhodně střídat svoji pozici. Holubi budou odměňováni za klovnutí do karty s větším množstvím. Uvykacím poměrem bude 3:5 (15 sezení), tečky budou černé a stejně velké. Po splnění kritéria 80% správných klovnutí se postoupí k poměrům s malými čísly: 1:4 (tj. 1:4, 2:8, 3:12); 1:3 (tj. 1:3, 2:6, 3:9, 4:12), 1:2 (tj. 1:2, 2:4, 3:6, 4:8, 5:10) a následovat bude těžší poměr 2:3 (tj. 2:3 a 4:6). Poté přejdeme k poměrům s většími počty: 15:60, 20:60, 30:60 a 40:60. Každý poměr bude testován na 10 sezeních. S chytrými holuby bychom mohli pokračovat ještě s poměry, jejichž čísla se budou lišit o 1 (tj. 5:6 až 9:10). Pro kontrolu budou tečky měnit svou velikost, barvu i pozici na kartě.

Druhým navrhovaným pokusem bude testování absolutní početnosti, které bude prostorovým testem, tj. bude testován v kleci. Na pletivo připevníme dvě karty s tečkami v poměru 2:3. Půlka holubů bude odměňována za vybrání „2“ a druhá za „3“ teček. Před kartami budou umístěny dvě misky, jedna bude obsahovat stejně početnou odměnu, druhá bude prázdná. Během uvykací fáze budou mít holubi přístup k oběma miskám, tečky na kartách budou černé, stejně velké a na stejných pozicích. Pokud holub bude 3x po sobě následovat správnou misku, pokročí do další fáze. Během tréninku misky oddělíme přepážkou, aby holubi nemohli v poslední chvíli měnit své rozhodnutí, a tečky budou umístěny v odlišných pozicích. Během testování tečky budou odlišných barev, velikostí, poté budou vyměněny za odlišné elementy (čtverečky, trojúhelníky či kytičky) a nakonec bude na kartě zobrazen i mix elementů.

Důvod pro navržení tohoto typu pokusu na relativní početnost je ten, že do současné doby byla tato početnost testována pouze na záblescích světla (Alsop & Honig, 1991) nebo na určování větší/menší relativní části z celého setu (Honig & Stewart, 1989). Proto jsem se rozhodla pro porovnávání vizuálních stimulů různých poměrů. Naopak pro navržený pokus na testování složitější numerické schopnosti – absolutní početnosti – jsem se rozhodla hlavně na základě nejasností vyplývajících z vědeckých prací. Zatímco u potkanů, u nichž bylo pozorováno zpomalování při neodměňovaném pokusu (RRRN), byla tato schopnost označena za počítání (Capaldi & Miller, 1988), stejná skutečnost byla u holubů označena za absolutní početnost (Rayburn-Reeves, Miller, & Zentall, 2010). Vzhledem k principům počítání tuto schopnost řadím spíše k počítání, proto jsem vybrala odlišný způsob testování absolutní početnosti, abych mohla předejít jeho nesprávnému zařazení.

8. Obojživelníci a jednoduché numerické schopnosti

V této i následující kapitole, která se bude týkat ryb, bych chtěla velmi stručně shrnout NS obojživelníků a ryb. V databázích jsem našla články nejen o savcích, ale i o dalších skupinách obratlovců. Přestože se týkají NS spíše jednoduchých, vedou nás k domněnce, že numerické schopnosti mohou být homologním znakem odvozeným od společného předka všech obratlovců. Proto považuji za nutné zde alespoň v krátkosti zmínit NS schopnosti obojživelníků a ryb (viz kap. 9).

Jediným testovaným druhem obojživelníků byl mločik popelavý (*Plethodon cinereus*). Mločici vybírali větší ze dvou prezentovaných setů (obr. 103 el. přílohy), jsou tedy schopni relativní početnosti, jejich hraničním počtem pro spontánní výběr je „trojka“ (Uller, Jaeger, Guidry, & Martin, 2003).

9. Numerické schopnosti ryb

Ryby se také staly modely pro zkoumání numerických schopností. Vědci Gómez-Laplaza a Gerlai (2012) testovali, zda skalára amazonská (*Pterophyllum scalare*) dá přednost většímu nebo menšímu hejnu a jestli má aktivita ryb v hejnu vliv na její výběr (obr. 104 el. přílohy). Ukázalo se, že celková aktivita ryb v hejnu není nezbytnou podmínkou pro rozhodování v rámci malých hejn, zatímco aktivita je dostatečnou podmínkou v rozlišování počtu v případě větších hejn.

Gravidní živorodky komáří (*Gambusia holbrooki*) se ochotněji (na základě posuzování relativní početnosti) připojují k většímu hejnu (obr. 105 a 106 el. přílohy), aby je neobtěžovali samci (Agrillo, Dadda, & Bisazza, 2007). Hranicí pro jejich spontánní výběr je pravděpodobně „čtyřka“. Dosahují lepších výsledků než obojživelníci (Uller, Jaeger, Guidry, & Martin, 2003) či 12-měsíční děti (Feigenson, Carey, & Hauser, 2002), které zvládají poměr max. 2:3.

Agrillo et al. (2009) zjišťovali, zda živorodky umí rozlišovat mezi malými množstvími pouze na základě numerické informace. Živorodka ovládá absolutní početnost (obr. 107 a 108 el. přílohy). I v případě postupné prezentace (obr. 109 el. přílohy) mohou zakládat svůj výběr pouze na numerické informaci, používají mentální reprezentaci čísla (viz také Dadda, Piffer, Agrillo, & Bisazza, 2009) a pak porovnávají počty. Tato studie dokázala, že živorodky jsou schopné rozlišovat i abstraktní elementy, ne pouze živé ryby (Agrillo, Dadda, & Bisazza, 2007).

Ryby se rychleji učí, když je přítomný počet i nějaké prostorové nápovědy (obr. 110 el. přílohy), takže přítomnost více informačních zdrojů jim ulehčuje rozhodování (Agrillo, Piffer, & Bisazza, 2011). Kombinace více informací je v přírodě běžná: více jídla zabere víc prostoru, stejně jako větší sociální skupiny.

10. Nejsložitější stadium numerických schopností u bezobratlých

V poslední kapitole se v krátkosti věnuji numerickým schopnostem bezobratlých živočichů.

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) byl testován na rozlišování relativního počtu samičích oděrů (Carazo, Font, Forteza-Behrendt, & Desfilis, 2009). Samci dávají přednost více samicím, jen pokud je poměr menší než 1:2 (obr. 111 el. přílohy).

Numerické schopnosti využívají také mravenci lesní menší (*Formica polyctena*) při navádění skupiny k potravě (Reznikova & Ryabko, 2001). Průzkumník byl umístěn na větev (obr. 112 el. přílohy) se sirupem a po návratu do mraveniště kontaktoval ostatní hledače, kteří podle jeho informací začali hledat. Ve většině případů našli správnou větev okamžitě. Nejjednodušším vysvětlením je, že průzkumník odhadl počet větví a tuto informaci předal dalším mravencům. Je možné, že se nejedná o informaci o počtu větví, ale třeba o vzdálenosti nebo počtu kroků apod. Ale i kdyby toto bylo správné vysvětlení, mravenci jsou schopni určité numerické informace. Vědci je tato schopnost „počítat“ označována jako „*protocounting*“, během něhož je alternativa počítání (např. subitizing) znemožněna. Jedná se o použití počtu jako kritéria pro nalezení potravy, ale bez možnosti přenosu na jiné objekty. Kdyby byl tento přenos dokázán, jednalo by se o pravé počítání.

Včely medonosné (*Apis mellifera*) také vykazují známky *protocountingu* (Chittka & Geiger, 1995). Byly testovány na louce, kam byly umístěny stany jako záchytné body. Včely při hledání potravy používaly počet stanů jako kritérium pro nalezení návnady. Převedení znalostí na jiné objekty nebylo u včel pozorováno, proto se pravděpodobně jedná o *protocounting*.

Včely byly trénovány také na rozlišování absolutního počtu teček „2“ a „3“ (Gross, Pahl, Si, Zhu, Tautz, & Zhang, 2009). Během tréninku (obr. 113 el. přílohy) bylo správně vybrané množství teček odměněno. Testování bylo posléze kontrolováno (obr. 114 a 115 el. přílohy) různými způsoby (barva, tvar elementů apod.). Včely dokázaly rozšířit 2vs.3 na 3vs.4 (schopnost ordinality). Absolutní počet „4“ je pravděpodobně jejich limitem.

Dacke a Srinivasan (2008) prokázali schopnost včel počítat do 4. Trénovali je v tunelu (obr. 116 el. přílohy) na získání potravy poté, co minou určitý počet mezníků, mezi kterými byla měněna také vzdálenost (pravé počítání je mj. definováno tak, že nezáleží na prostorovém uspořádání položek). Tento experiment rozšiřuje výsledky Chittky a Geigera (1995), proto se i u včel může mluvit o pravém počítání.

Vědci Bar-Shai, Keasar a Shmida (2011) testovali čmeláky zemní (*Bombus terrestris*), zda umí počítat. Byli testováni jak v přírodě na rostlině jménem proskurník setý, tak i v laboratoři. Bylo u nich tudíž prokázáno pravé počítání až do 5.

Poslední studie (Nelson & Jackson, 2012) testuje, zda je ve strategii predátora skákavky africké (*Portia africana*) nějak vyjádřena numerická kompetence. Jejich kořistí bývá jiný pavouk – kruháč. Při testování (obr. 117 el. přílohy) bylo dokázáno, že skákavky zakládají svou predaci na počtu a preferují hnízdo kruháče, které už je kolonizováno pouze jednou jinou skákavkou. Nelze však jednoznačně říci, že se jedná o pravé počítání, protože v této studii sice byla prokázána numerická kompetence, ale byla těsně spojená s velmi specifickým objektem – jinou skákavkou, která už osídlila hnízdo kruháče.

11. Výsledky a diskuze

11.1. Shrnutí numerických schopností u zvířat

Množství nalezených relevantních článků (cca 140) svědčí o velkém zájmu vědců zjišťovat NS u zvířat. Kupodivu nebylo do této doby vypracováno žádné široce komparativní review, které by shrnovalo NS více skupin živočichů. Tato bakalářská práce ukazuje, že živočichové v přírodě hojně využívají své schopnosti při určování množství, hlavně pokud se jedná o potravu či počet nepřátel. Nejedná se pouze o savce, či obecně obratlovce, ale nejvyšších stupňů dosahují i někteří bezobratlí. Tabulka 1 shrnuje NS pro všechna testovaná zvířata. Poslední zmíněná schopnost „proporce“ (např. přiřazování $\frac{1}{4}$ k $\frac{1}{4}$) je uvedena spíše pro zajímavost, protože z důvodu nalezení pouze jediného článku (Woodruff & Premack, 1981) věnujícího se této schopnosti u šimpanzů ji nemohu zařadit do komparativního kontextu.

Na základě studií o ontogenezi NS u dětí (viz kap. 3) jsem mohla vytvořit řadu podle rostoucí obtížnosti a rozdělit tak NS do čtyř kategorií. *První kategorie* zahrnuje relativní početnost a sumaci, protože obě tyto schopnosti zvládají kojenci stejného věku. Do *druhé kategorie* spadá schopnost ordinality (řazení za sebou) a transitivity (schopnost přiřadit správný počet numerickému symbolu). Do *třetí kategorie* jsem zařadila „*conservation of quantities*“, resp. zda pozorovaný subjekt například chápe, že dvě řady obsahující stejný počet objektů jsou stejně početné, i když je jedna delší a druhá kratší. A poslední, *čtvrtou, kategorii* je pochopení absolutní početnosti

a vlastního počítání. Tyto dvě dovednosti jsem spojila nejen proto, že hranice mezi nimi je velmi tenká a někdy těžko rozeznatelná, ale i proto, že sami vědci je občas rozdílně označují. Tohoto dělení jsem využívala i při rešerši výskytu jednotlivých schopností u různých taxonů savců (zvláště pak primátů) a následné rekonstrukci ancestrálních stavů znaků jednotlivých numerických schopností (viz kap. 11.2.).

Zjistila jsem, že všichni mnou studovaní živočichové mají nejjednodušší znalosti o určování množství. Jedná se o lehké početní operace (sumace) a o relativní početnost, tj. určování, čeho je více či méně. Zejména při větších počtech je vidět vliv Webrova zákona a zvířata na tyto poměry musí být trénována, ale při menších počtech (kolem 4) obvykle zvládají diskriminovat spontánně. Obtížnější numerické procesy už ovládá méně druhů v rámci mnou studované skupiny savců a ptáků. Mezi komplexnější NS mohou zařadit už kategorii dvě a výše, protože ve většině případů se u daného druhu vyskytuje kategorie 2 (ordinalita) a 3 („*conservation*“) současně. Tudíž mohu říci, že kategorie 1 je ta jednoduchá a všechny kategorie vyšší patří mezi ty obtížnější. Předškolní dítě ovládá všechny kategorie schopností, ale začíná u něj převažovat počítání (cca do 9). Pokud ho může využít, udělá to raději, než aby rozhodlo na základě jiných znalostí. Asi nás nepřekvapí, že schopnost počítání je ze savců vlastní lidoopům, některým šelmám a myšovitým hlodavcům. Z ptáků se potom jedná o papouška šedého. Krkavcovití, kteří jsou jinak známí komplexními kognitivními schopnostmi (Emery & Clayton, 2004) dosáhli pouze schopnosti ordinality (kategorie 2), zatímco u holubů byla prokázána i absolutní početnost (čtvrté stádium). Buď to krkavcovití neumí (potíže s publikováním negativních výsledků), nebo u nich komplexnější numerické schopnosti nebyly testovány. I bezobratlí, jako je včela či čmelák, umí počítat při hledání potravy. U bezobratlých živočichů se ale často mluví o tzv. protocounting, pokud není jasné, zda umí schopnost počítat přenést i na jiné stimuly.

Ovšem v některých případech jsou živočichové dokonce úspěšnější či přesnější než děti. Při rozlišování větší/menší jsou šimpanzi přesnější než pětileté děti (Beran, Johnson-Pynn, & Ready, 2011). Známy žako Alex překonal děti tím, že správně odpovídal i na heterogenní sety, zatímco dětem byly vždy prezentovány pouze sety homogenní (Pepperberg, 2002). Chápal, co jednotlivá označení čísel znamenají, ale děti to začínaly chápat až po cca 3 letech věku. Ontogeneze NS u zvířat je málo studovaná, ale možná tam také platí stejné principy jako u člověka. Mohl by to například dokazovat experiment na gorilách (MacDonald, 1994), který ukazuje, že gorila dospělá chápe principy počítání, zatímco roční mládě toho ještě není schopné.

Do tabulky 1, která shrnuje všechny numerické schopnosti u druhů, které byly testovány, jsem také zahrнула moje odhady, které jsou zvýrazněny červeně. Právě na základě dokázané ontogeneze NS u člověka, jsem některé schopnosti mohla odhadnout. Pokud byl daný druh testovaný pouze na relativní početnost, pravděpodobně bude schopen také sumace (např. delfín: Kilian, Yaman, Fersen, & Güntürkün, 2003), která se u kojenců vyvíjí ve stejném věku jako relativní početnost, a naopak (např. lemuři: Santos, Barnes, & Mahajan, 2005). Kategorie 2 a 3 obsahují pouze po jedné NS, takže zde jsem nic odhadovat nemusela. Poslední mnou navrhovaná kategorie (čtvrtá) také zahrnuje dvě schopnosti – absolutní početnost a počítání, tudíž opět navrhuji, že pokud je zvíře schopno jedné NS, druhou ovládá také (např. gorila: MacDonald, 1994; mýval: Davis, 1984; fretka: Davis, 1996). V případě, že čeleď obsahovala více druhů, které neměly shodné dosažené stupně NS, nejvyšší dosaženou schopnost jednoho druhu/rodu (např. *Macaca mulatta*) jsem odhadla i pro druhy/rody jiné (např. *Papio anubis*), protože do rekonstrukce ancestrálního stavu NS u savců jsem zařazovala nejvyšší stadium pro celou čeleď (obr. 118). A nakonec ještě uvedu poslední případ – pokud zvíře bylo testováno pouze na nejobtížnější NS (např. potkan: Capaldi & Miller, 1988),

na základě vytvořené posloupnosti NS podle obtížnosti předpokládám, že ovládá také schopnosti jednodušší (tj. první tři kategorie). Tabulka neobsahuje žádné nuly (= zvíře danou schopnost neovládá), protože v žádné vědecké práci nebyly publikovány negativní výsledky. V žádné publikaci nebylo řečeno, že by zvíře tu danou NS nezvládlo. Mohu jen říci, že některým zvířatům trvá trénink a pochopení úlohy déle (např. šimpanz a ordinalita: Boysen, Berntson, Shreyer, & Quigley, 1993) nebo mají problémy se složitějším a více kontrolovaným testováním určité schopnosti (např. kur zvládá rozlišovat tečky uspořádané do nějakého tvaru, ovšem ne do řady, ale schopnost jako takovou ovládá: Rugani & Regolin, 2008).

Nejvyšší dosažené úrovně numerických schopností jsem vymapovala na fylogenetický strom (viz. kapitola 11.2.). Porovnávala jsem rekonstrukce ancestrálních stavů pro oba případy – pouze získaná fakta i fakta doplněná mými odhady. Výsledky se téměř stoprocentně překrývaly, kromě jediného rodu *Papio*, u kterého byla testována jen kategorie první, zatímco druhou a třetí jsem pouze odhadovala na základě příslušnosti do čeledi. Obr. 118 a 119 ukazují rekonstrukce, do kterých jsem zahrнула i odhady.

11.2. Rekonstrukce ancestrálního stavu numerických schopností u savců

V této části jsem provedla fylogenetickou rekonstrukci ancestrálního stavu jednotlivých numerických schopností. Pro tvorbu fylogenetických stromů jsem použila program Mesquite 2.75 (Maddison & Maddison, 2011). Fylogenetické vztahy mezi čeleděmi savců jsem převzala z práce Bininda-Emonds et al. (2007). Pro vymapování kategorií NS u primátů jsem použila data o fylogenetických vztazích ze studie Perelman et al. (2011), která vytvořila vztahy na základě dat o genomech primátů. Na rekonstrukci ancestrálních stavů jsem použila metodu maximální parsimonie, u primátů i metodu likelihood.

Mnou vytvořená rekonstrukce jednotlivých NS vymapovaných na fylogenetický strom savců (obr. 118) obsahuje 15 čeledí, u kterých znám nejvyšší dosažené stadium NS, a skupinu *Marsupialia*, u kterých byla nejjednodušší NS odvozena na základě korelace s jinými kognitivními schopnostmi (Wynne & McLean, 1999). Moje hypotéza je, že *Marsupialia* určitě dosahují minimálně prvního stadia a zvládají tudíž relativní početnost a sumaci. Zkoumané numerické schopnosti jsem seřadila podle obtížnosti (viz kap. 11.1.) a rozdělila je pouze do čtyř kategorií, protože některé schopnosti jsou podle mého mínění obtížností na stejné úrovni (Tab. 1).

1. Kategorie: relativní početnost + sumace
2. Kategorie: ordinalita a transitivity
3. Kategorie: konzervace, resp. chápání transformací řad či přelévání tekutin
4. Kategorie: absolutní početnost + počítání

Rekonstrukce NS primátů vymapovaných na fylogenetický strom (obr. 119) obsahuje 11 rodů primátů, u kterých mohu spolehlivě určit nejvyšší dosaženou NS.

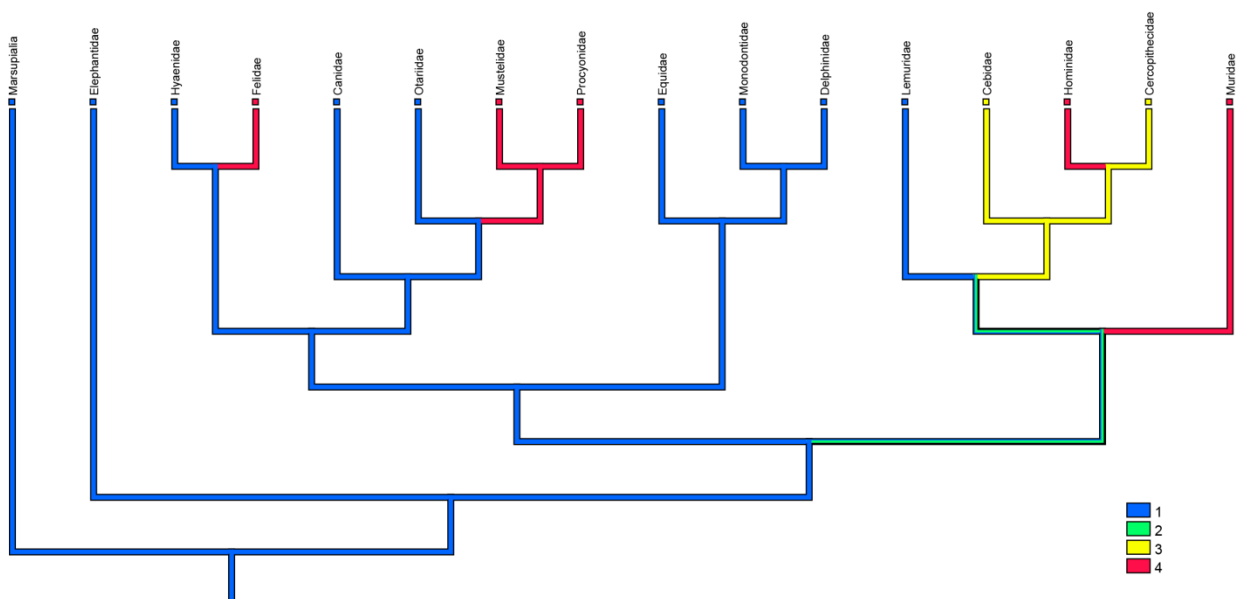
Na rekonstrukci ancestrálního stavu NS savců (obr. 118) můžeme vidět, že pro všechny savce je původní nejjednodušší numerická schopnost relativní početnosti a sumace (kategorie 1). Pouze u fylogenetické linie, která vede k primátům a hlodavcům, je ancestrálním stavem NS vyšší kategorie (2), tj. schopnost ordinality a transitivity. Podle mé fylogenetické rekonstrukce v této skupině některé čeledi pokračovaly ve vývoji NS a byly schopny řešit složitější úlohy (kategorie 3 a 4). Naopak čeleď *Lemuridae* (jediné zahrnuté poloopice) zvládá pouze stádium 1, tedy nižší než bylo u předka celé skupiny (primáti plus hlodavci). Lemuři zřejmě z nějakého důvodu v evoluci

nepotřebovali řešit obtížnější numerické či jiné kognitivní problémy a zvládají řešit pouze relativní početnost a sumace.

Tab. 1: Jednotlivé testované druhy zařazené do čeledí. Numerické schopnosti jsou seřazeny podle obtížnosti. „1“ = schopnost byla u daného druhu testována; „I“ = můj odhad; „proto-“ = protocounting.

	Druh	Čeď	Relativní početnost	Sumace	Ordinalita transitivita	Konzervace	Absolutní početnost	Počítání	Proporce
Primátí	<i>Lemur catta</i>	Lemuridae	I	1					
	<i>Eulemur fulvus</i>	Lemuridae	I	1					
	<i>Eulemur mongoz</i>	Lemuridae	I	1					
	<i>Varecia rubra</i>	Lemuridae	I	1					
	<i>Cebus apella</i>	Cebidae	1	I	I	1			
	<i>Saimiri sciureus</i>	Cebidae	1	I	I	1			
	<i>Papio anubis</i>	Cercopithecidae	1	I	I	I			
	<i>Macaca mulatta</i>	Cercopithecidae	1	1	1	1			
	<i>Macaca fascicularis</i>	Cercopithecidae	1	I	I	I			
	<i>Pongo pygmaeus</i>	Hominidae	I	I	I	1			
	<i>Gorilla gorilla gorilla</i>	Hominidae	I	I	I	I	I	1	
	<i>Pan troglodytes</i>	Hominidae	1	1	1	1	1	1	1
	<i>Homo sapiens</i>	Hominidae	1	1	1	1	I	1	
Šelmy	<i>Rattus norvegicus</i>	Muridae	I	I	I	I	I	1	
	<i>Apodemus agrarius</i>	Muridae	1	I	I	I	I	I	
	<i>Tursiops truncatus</i>	Delfinidae	1	I					
	<i>Equus caballus</i>	Equidae	1	I					
	<i>Elephas maximus</i>	Elephantidae	1	I					
	<i>Loxodonta africana</i>	Elephantidae	1	I					
	<i>Delphinapterus leucas</i>	Monodontidae	1	I					
	<i>Canis lupus</i>	Canidae	1	I					
	<i>Canis lupus familiaris</i>	Canidae	1	1					
	<i>Canis latrans</i>	Canidae	1	I					
Ptáci	<i>Procyon lotor</i>	Procyonidae	I	I	I	I	1	I	
	<i>Otaria flavescens</i>	Otariidae	1	I					
	<i>Panthera leo</i>	Felidae	1	I	I	I	I	I	
	<i>Felis silvestris catus</i>	Felidae	I	I	I	I	1	I	
	<i>Crocuta crocuta</i>	Hyaenidae	1	I					
	<i>Mustela putorius furo</i>	Mustelidae	I	I	I	I	1	I	
	<i>Marsupialia</i>		1	I					
	<i>Petroica australis</i>	Petroicidae	1	I					
Bezobratlí	<i>Corvus cornix</i>	Corvidae	I	1	1				
	<i>Corvus tristis</i>	Corvidae	1	I	I				
	<i>Corvus macrorhynchos</i>	Corvidae	1	I	I				
	<i>Corvus monedula</i>	Corvidae	1	I	1				
	<i>Molothrus ater</i>	Icteridae	1	I					
	<i>Psittacus erithacus</i>	Psittacidae	1	1	1	I	1	1	
	<i>Gallus gallus</i>	Phasianidae	1	1	I	I	1	I	
	<i>Aix sponsa</i>	Anatidae	1	I					
	<i>Fulica americana</i>	Rallidae	I	I	I	I	I	Proto-, I	
	<i>Columba livia</i>	Columbidae	1	1	1	I	1	I	
	<i>Plethodon cinereus</i>	Plethodontidae	1	I					
	<i>Gambusia holbrooki</i>	Poeciliidae	1	I	I	I	1	I	
<i>Pterophyllum scalare</i>	Cichlidae	1	I						
<i>Apis mellifera</i>	Apidae	1	I	1	I	1	Proto-, 1		
<i>Bombus terrestris</i>	Apidae	I	I	1	I	I	1		
<i>Tenebrio molitor</i>	Tenebrionidae	1	I						
<i>Portia africana</i>	Salticidae	I	I	I	I	I	Proto-		

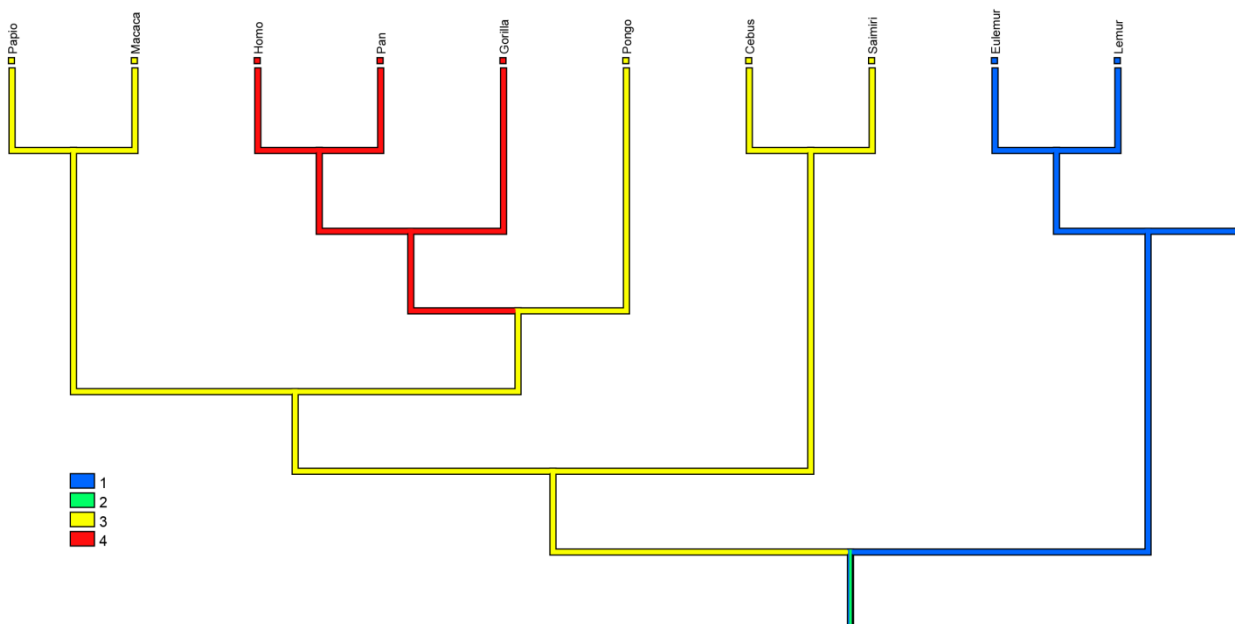
Nejsložitější možné kategorie, schopnosti pravého počítání, dosáhly pouze některé čeledi šelem (*Felidae*, *Mustelidae* a *Procyonidae*), čeleď *Muridae* a z primátů pouze *Hominidae*. Tyto výsledky mohu interpretovat tak, že pokud platí hypotéza „social brain“, která říká, že velké mozky vznikly kvůli sociálním a ekologickým konfliktům ve skupině (Dunbar, 1998), právě čeledi vysoce sociální budou mít nejvyšší stupeň kognitivních schopností. Relativní velikost mozku u obratlovců obecně je spojena s párovým vztahem (Shultz & Dunbar, 2007), u primátů se nejedná o párování, ale o trvalé a stabilní vztahy ve skupině. Poměrně malý mozek, např. u kopytníků, je dán tím, že žijí v relativně nestabilních, i když velkých, skupinách. Naopak větší mozek je u šelem, které žijí ve stabilních skupinách. Právě trvalá vazba přináší nevyhnutelný konflikt o zdroje či o reprodukční úspěch. Život ve skupině přináší potřebu řešit vzniklé problémy, proto se ve skupinách klade větší důraz na vyšší kognitivní schopnosti. Podle mé rekonstrukce platí hypotéza „social brain“ pouze u linie vedoucí k primátům a hlodavcům, o kterých víme, že jsou vysoce sociální. Když se ale zaměřím na konkrétní zkoumané rody, které patří do čeledi šelem, jež mají nejvyšší dosažené stadium NS, zjistím, že pouze rod *Panthera* je rodem, který vytváří pevné vazby. Lvice ale byly testovány pouze na relativní početnost, tudíž o nich nemohu spolehlivě říci, jestli dosahují vyšších stadií. Ale rody *Felis*, *Mustela* a *Procyon*, o kterých mám data o dosažené kategorii 4, žijí i loví soliterně. Proto je otázkou, proč jsou tyto šelmy schopné tak obtížných úloh. Mohlo by to být dáno tím, že musí předvídat pohyb a reakce kořisti, např. fretka při lovu králíka leze až k němu do nory. Nebo noční způsob života – kočka a mýval loví v noci, takže musí být schopni lépe zpracovávat informace z okolního prostředí.



Obr. 118: Rekonstrukce ancestrálního stavu NS u savců, u kterých znám údaje o úrovni numerických schopností. Fylogenetický strom byl vytvořen metodou maximální parsimonie v programu Mesquite 2.75. Barvy označují jednotlivé kategorie NS: (1) relativní početnost + sumace; (2) ordinalita a transitivity; (3) conservation of quantities; (4) absolutní početnost a počítání.

Na obr. 119 je znázorněn podrobnější fylogenetický strom primátů. Pokud bych se řídila současnou definicí zvířecí inteligence (Roth & Dicke, 2005), rekonstrukce ji potvrzuje. Tato definice říká, že flexibilita v chování i mentální přizpůsobivost je dobrým zdrojem pro měření inteligence. Živočichové jsou často nuceni dělat nová rozhodnutí, která běžně nejsou součástí jejich života. Mezi primáty jsou lidoopi flexibilnější, a tudíž inteligentnější, než opice a opice zase než poloopice (Byrne, 1995). Menší úspěch orangutana (*Pongo*) může být dán právě jeho

socialitou, protože fission-fusion skupiny jsou skupiny přechodné, přeskupující se a nemají takovou potřebu investovat do kognitivních zdrojů, hledat souvislosti apod. (Shultz & Dunbar, 2007). Ale na druhou stranu dosahují orangutani stadia 3, což jen potvrzuje jejich vyšší kognitivní schopnosti. Orangutani jsou známí tím, že si velmi dobře pamatují, kde a kdy dozrávají plody, tudíž dobře kombinují informace o prostoru a čase (Martin-Ordas, Haun, Colmenares, & Call, 2010).



Obr. 119: Rekonstrukce ancestrálního stavu NS u primátů, u nichž znám dosažené stadium numerických schopností. Fylogenetický strom byl vytvořen v programu Mesquite metodou maximální parsmonie. Barvy odpovídají jednotlivým kategoriím.

11.3. Závislost numerických schopností na ekologických faktorech

Hypotéza „social brain“ (Dunbar, 1998) říká, že k velkému zvětšení mozku došlo v evoluci kvůli sociálním a ekologickým konfliktům ve skupině. Na základě této hypotézy jsem se rozhodla pomocí korelačních analýz testovat, zda NS souvisí s extrakcí potravy a socialitou, zda korelují s vývojem těchto vybraných ekologických faktorů. Pro analýzu jsem použila pouze rody primátů a přidala k nim ještě čeleď *Muridae* jako outgroupovou skupinu. Data o extrakci potravy a socialitě primátů jsem převzala z bakalářské práce Bc. Lucie Marhounové, která se týkala fenoménu *object permanence* (vnímání skrytého objektu). Slovním spojením „extrakce potravy“ je myšleno, zda zvířata musí potravu před pozřením nějak upravovat, extrahovat například z obalu či použít pro její získání určitý nástroj, nebo se bez této schopnosti obejdou.

Závislost NS na těchto dvou faktorech – extrakci potravy a socialitě – jsem testovala pomocí korelační analýzy (Pagel, 1994). Jako program jsem použila Mesquite 2.75. Pomocí Pagelovy korelační analýzy jsem tedy testovala dvě hypotézy, zda se numerické schopnosti primátů a čeledi *Muridae* vyvíjí nezávisle na sociálních nebo ekologických faktorech nebo zda jejich společnou evoluci nemohu vyloučit. Socialitu zvířat a zda extrahují potravu či ne shrnuje tab. 2.

V programu Mesquite 2.75 jsem kódovala proměnné pouze „0“ a „1“. Jednotlivé kategorie numerické kompetence zvířata buď mají („1“) nebo nemají („0“); potravu extrahují („1“) nebo neextrahují („0“). V sociální organizaci jsem skupiny s jedním samcem označila „0“ (SM) a s více samci (MM, FF) značkou „1“. Jednotlivé

kategorie jsem korelovala se socialitou a poté s extrakcí potravy. Aby byla analýza signifikantní, *p-hodnota* musí být menší než 0,05, *difference* mezi 4 až 8 a musí být provedeno alespoň 1000 simulací. Tab. 3 ukazuje výsledky jednotlivých analýz.

Tab. 2: Maximální dosažená kategorie v numerických schopnostech, extrakce potravy a sociální organizace.

Rod	Kategorie NS	Extrakce potravy ^a	Sociální organizace
<i>Lemur</i>	1	Ne	MM ²
<i>Eulemur</i>	1	Ne	MM ^{1,2}
<i>Varecia</i>	1	Ne	MM ³
<i>Cebus</i>	3	Ano	MM ^{1,2}
<i>Saimiri</i>	3	Ano	MM ^{1,2}
<i>Papio</i>	3	Ano	MM ¹
<i>Macaca</i>	3	Ano	MM ^{1,2}
<i>Pongo</i>	3	Ano ^{a,b}	FF ⁵
<i>Gorilla</i>	4	Ano	MM ⁴
<i>Pan</i>	4	Ano	MM ^{2,3}
<i>Homo</i>	4	Ano	MM
<i>Rattus</i>	4	Ano	SM
<i>Apodemus</i>	1	Ano	SM

„MM“ = multi-male skupiny; „FF“ = fission-fussion; „SM“ = single-male či multi-female skupiny.

Data o extrakci potravy a sociální organizaci primátů jsem převzala od Bc. Lucie Marhounové. Literární zdroje: ⁽¹⁾ Clutton-Brock & Harvey (1977); ⁽²⁾ Clutton-Brock & Harvey (1980); ⁽³⁾ Rowe (1996); ⁽⁴⁾ Yamagiwa, Kahekwa, & Basabose (2009); ⁽⁵⁾ Grueter, Li, Ren, Wei, & van Schaik (2009); ^(a) Dunbar (1995); ^(b) Jaeggi, Dunkel, van Noordwijk, Wich, Sura, & van Schaik (2010)

Tab. 3: Výsledky Pagelovy korelační analýzy, signifikantní výsledky jsou označené červeně; „dif.“ = difference, „p-“ = p-hodnota.

	Kategorie 1		Kategorie 2		Kategorie 3		Kategorie 4	
	Socialita	Extrakce	Socialita	Extrakce	Socialita	Extrakce	Socialita	Extrakce
dif.	0,605	0,444	1,852	4,890	1,852	4,863	2,444	2,557
p-	0,003	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,043	0,047

Testovala jsme nulovou hypotézu, že jednotlivé stupně NS nejsou závislé na socialitě a způsobu získávání potravy. Na základě získaných dat přijímám tuto hypotézu, NS není závislá na socialitě testovaných rodů. Signifikantní výsledky, a tudíž možná závislost NS na extrakci potravy, vyšly pouze u kategorie 2 (ordinalita a transitivity) a 3 („*conservation*“). Ale přestože jsou tyto výsledky průkazné, u food-storujících ptáků (Hunt, Low, & Burns, 2008; Garland, Low, & Burns, 2012) se závislost neprokázala, protože lejsčící, typičtí svým ukryváním potravy i vykrádáním skrýší jiných jedinců, dosahují pouze kategorie 1. Při testování závislosti s kategorií 4 vyšla *p-hodnota* sice signifikantně, ale *difference* je příliš nízká a není průkazná. Nezávislost NS na ekologických faktorech pravděpodobně mohla vyjít z důvodu malého souboru dat.

12. Závěr

V této práci jsem dokázala, že numerické schopnosti jsou člověkem využívány už od kojeneckého věku a s věkem a zkušenostmi se prohlubují. Ontogeneze NS schopností je následovná: už u kojenců se objevuje první kategorie (relativní početnost a sumace); více než roční dítě už ovládá ordinalitu (druhá kategorie), která je základem pro pozdější chápání principů pravého počítání (čtvrtá kategorie); schopnosti konzervace (třetí kategorie) dávají děti přednost asi cca do 5 až 6 let, kdy u nich převládne počítání.

Ve volné přírodě živočichové využívají NS hlavně v situacích, které jsou nutné pro jejich přežití, jako je shánění potravy nebo obrana před nepřáteli, či pro zvýšení jejich fitness (např. hnízdní parazitismus). Proto jsou tyto ekologické faktory využívány při testování kognitivních schopností živočichů. Většina živočichů si v běžném životě se základními numerickými schopnostmi bohatě vystačí, ovšem pokud jsou nuceni, případně po tréninku, mohou své schopnosti rozvinout na vyšší úroveň. Jak tvrdí definice inteligence (Roth & Dicke, 2005), živočichové jsou přizpůsobiví novým situacím a podmínkám. Pokud se např. potkanovi zabrání, aby mohl používat jako návodů čas, najde jinou cestu, jak odměnu získat – začne počítat, pokud se to po něm vyžaduje (Breukelaar & Dalrymple-Alford, 1998). Ale v momentě, kdy se opět objeví časová návoděda – využije ji, a vrátí se tudíž k té původní, jednodušší cestě.

Stejnou posloupnost vývoje NS jako u člověka jsem dokázala i u zvířat (obr. 118 a 119). Rekonstrukce ancestrálního stavu ukazuje, že nejjednodušší schopnosti – relativní početnost a sumaci – ovládají všechna zvířata. Nejdále v této kognitivní schopnosti došli primáti, některé šelmy či papoušci (tab. 1). Především u lidoopů a papouška šedého máme spolehlivé údaje o tom, že se může naučit chápat jednotlivé principy nutné pro pravé počítání. Ale ani u zvířat, která nedosáhla nejvyšší kategorie (př. *Corvidae*), nemohu přesvědčivě tvrdit, že jí nejsou schopná. Schopnost počítat se vyvinula nezávisle v několika skupinách – savcích, ptácích, ale i bezobratlých. Tudíž zde mohu mluvit o konvergentní evoluci. Numerická kompetence je v živočišné říši variabilní a vyvinutá na různých úrovních a pravděpodobně může být ovlivněna i některými ekologickými faktory.

13. Literatura

- Abramson, J. S., Hernández-Lloreda, V., Call, J., & Colmenares, F. (2011). Relative quantity judgments in south american sea lions (*Otaria flavescens*). *Animal Cognition* 14, stránky 695-706.
- Abramson, J. Z., Hernández-Lloreda, V., Call, J., & Colmenares, F. (2013). Relative quantity judgments in the beluga whale (*Delphinapterus leucas*) and the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Behavioural Processes* 96, stránky 11-19.
- Agrillo, C., & Beran, M. J. (2013). Number without language: comparative psychology and the evolution of numerical cognition. *Frontiers in Psychology* 4, stránky 1-2.
- Agrillo, C., Dadda, M., & Bisazza, A. (2007). Quantity discrimination in female mosquitofish. *Animal Cognition* 10, stránky 63-70.
- Agrillo, C., Dadda, M., Serena, G., Piffer, L., & Bisazza, A. (2009). Fish can use numerical information when discriminating between small discrete quantities. *CogSci 2009: The annual meeting of the Cognitive Science Society*, stránky 2414-2419.
- Agrillo, C., Piffer, L., & Bisazza, A. (2011). Number versus continuous quantity in numerosity judgments by fish. *Cognition* 119, stránky 281-287.
- Alsop, B., & Honig, W. K. (1991). Sequential stimuli and relative numerosity discriminations in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 17 (4), stránky 386-395.
- Baker, J. M., Morath, J., Rodzon, K. S., & Jordan, K. E. (2012). A shared system of representation governing quantity discrimination in canids. *Frontiers in Psychology* 3 (387), stránky 1-6.
- Baker, J. M., Shivik, J., & Jordan, K. E. (2011). Tracking of food quantity by coyotes (*Canis latrans*). *Behavioural Processes* 88, stránky 71-75.
- Barnard, A. M., Hughes, K. D., Gerhardt, R. R., DiVincenti Jr, L., Bovee, J. M., & Cantlon, J. F. (2013). Inherently analog quantity representations in olive baboons (*Papio anubis*). *Frontiers in Psychology* 4 (253), stránky 1-11.
- Bar-Shai, N., Keasar, T., & Shmida, A. (2011). The use of numerical information by bees in foraging tasks. *Behavioral Ecology*, stránky 317-325.
- Benson-Amram, S., Heinen, V. K., Dryer, S. L., & Holekamp, K. E. (2011). Numerical assessment and individual call discrimination by wild spotted hyaenas, *Crocuta crocuta*. *Animal Behavior* 82, stránky 743-752.
- Beran, M. J. (2004). Long-term retention of the differential values of arabic numerals by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Animal Cognition* 7, stránky 86-92.
- Beran, M. J. (2007). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) succeed on a computerized test designed to assess conservation of discrete quantity. *Animal Cognition* 10, stránky 37-45.
- Beran, M. J. (2008). Capuchin monkeys (*Cebus apella*) succeed in a test of quantity conservation. *Animal Cognition* 11, stránky 109-116.
- Beran, M. J., & Rumbaugh, D. M. (2001). „Constructive“ enumeration by chimpanzee (*Pan troglodytes*) on a computerized task. *Animal Cognition* 4, stránky 81-89.
- Beran, M. J., Evans, T. A., & Harris, E. H. (2008). Perception of food amounts by chimpanzees based on the number, size, contour length and visibility of items. *Animal Behavior* (75), stránky 1793-1802.
- Beran, M. J., Evans, T. A., Leighty, K. A., Harris, E. H., & Rice, D. (2008). Summation and quantity judgments of sequentially presented sets by capuchin monkeys (*Cebus apella*). *American Journal of Primatology* 70, stránky 191-194.
- Beran, M. J., Johnson-Pynn, J. S., & Ready, C. (2011). Comparing children's *Homo sapiens* and chimpanzees' *Pan troglodytes* quantity judgments of sequentially presented sets of items. *Current Zoology* 57 (4), stránky 419-428.
- Beran, M. J., Rumbaugh, D. M., & Savage-Rumbaugh, E. S. (1998). Chimpanzee (*Pan troglodytes*) counting in a computerized testing paradigm. *The Psychological Record* 48, stránky 3-19.
- Bininda-Emonds, O. R., Cardillo, M., Jones, K. E., MacPhee, R. D., Beck, R. M., Grenyer, R., a další. (2007). The delayed rise of present-day mammals. *Nature* 446, stránky 507-512.
- Biro, D., & Matsuzawa, T. (2001). Use of numerical symbols by the chimpanzee (*Pan troglodytes*): cardinals, ordinals, and the introduction of zero. *Animal Cognition* 4, stránky 193-199.
- Bogale, B. A., Kamata, N., Mioko, K., & Sugita, S. (2011). Quantity discrimination in jungle crow, *Corvus macrorhynchos*. *Animal Behaviour* 82, stránky 635-641.
- Boysen, S. T., & Hallberg, K. I. (2000). Primate numerical competence: contributions toward understanding nonhuman cognition. *Cognitive Science* 24 (3), stránky 423-443.
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., Shreyer, T. A., & Quigley, K. S. (1993). Processing of ordinality and transitivity by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology* 107 (2), stránky 208-215.
- Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition* 83, stránky 223-240.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 9 by Monkeys. *Science* 282, stránky 746-749.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (2000). Representation of the numerosities 1-9 by Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 26 (1), stránky 31-49.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (2002). The evolution and ontogeny of ordinal numerical ability. *The Cognitive Animal*, stránky 197-204.
- Breukelaar, J. W., & Dalrymple-Alford, J. C. (1998). Timing ability and numerical competence in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 24 (1), stránky 84-97.
- Byrne, R. (1995). *The Thinking Ape: Evolutionary Origins of Intelligence*. New York: Oxford University Press.

- Call, J., & Rochat, P. (1996). Liquid conservation in orangutans (*Pongo pygmaerus*) and humans (*Homo sapiens*): individual differences and perceptual strategies. *Journal of Comparative Psychology* 110 (3), stránky 219-232.
- Cantlon, J. F. (2012). Math, monkeys, and the developing brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, stránky 10725-10732.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). Basic math in monkeys and college students. *Public Library of Science: Biology* 5 (12), stránky 2912-2919.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. (1988). Counting in rats: its functional significance and the independent cognitive process that constitute it. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 14 (1), stránky 3-17.
- Carazo, P., Font, E., Forteza-Behrendt, E., & Desfilis, E. (2009). Quantity discrimination in *Tenebrio molitor*: evidence of numerosity discrimination in an invertebrate? *Animal Cognition* 12, stránky 463-470.
- Clutton-Brock, R. H., & Harvey, P. H. (1977). Primate ecology and social organization. *Journal of Zoology* 183 (1), stránky 1-39.
- Clutton-Brock, R. H., & Harvey, P. H. (1980). Primates, brain and ecology. *Journal of Zoology* 190 (3), stránky 309-323.
- Czerny, P., & Thomas, R. K. (1975). Sameness-difference judgments in *Saimiri sciureus* based on volumetric cues. *Animal Learning & Behavior* 3 (4), stránky 375-379.
- Dacke, M., & Srinivasan, M. V. (2008). Evidence for counting in insects. *Animal Cognition* 11, stránky 683-689.
- Dadda, M., Piffer, L., Agrillo, C., & Bisazza, A. (2009). Spontaneous number representation in mosquitofish. *Cognition* 112, stránky 343-348.
- Davis, H. (1984). Discrimination of the number three by a raccoon (*Procyon lotor*). *Animal Learning & Behavior* 12, stránky 409-413.
- Davis, H. (1996). Numerical competence in ferrets. *International Journal of Comparative Psychology* 9 (2), stránky 51-64.
- Davis, H., & Pérusse, R. (1988). Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences* 11 (04), stránky 561-579.
- Dunbar, R. I. (1995). Neocortex size and group size in primates: a test of the hypothesis. *of Human Evolution* 28 (3), stránky 287-296.
- Dunbar, R. I. (1998). The social brain hypothesis. *Evolutionary Anthropology*, stránky 178-190.
- Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2004). The mentality of crows: convergent evolution of intelligence in corvids and apes. *Science* 306 (5703), stránky 1903-1907.
- Emmerton, J. (2001). *Birds' judgements of number and quantity*. (R. G. Cook, Redaktor) Načteno z Avian Visual Cognition: www.pigeon.psy.tufts.edu/avc/emmerton/
- Emmerton, J., Lohmann, A., & Niemann, J. (1997). Pigeons' serial ordering of numerosity with visual arrays. *Animal Learning & Behavior* 25 (2), stránky 234-244.
- Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: object files versus analog magnitudes. *Psychological Science* 13 (2), stránky 150-156.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Science* 8, stránky 307 – 314.
- Flombaum, J. I., Junge, J. A., & Hauser, M. D. (2005). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition* 97, stránky 315-325.
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 44 (1-2), stránky 43-74.
- Garland, A., Low, J., & Burns, K. C. (2012). Large quantity discrimination by North Island robins (*Petroica longipes*). *Animal Cognition* 15, stránky 1129-1140.
- Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2012). Activity counts: the effect of swimming activity on quantity discrimination in fish. *Frontiers in Psychology* 3 (484), stránky 1-12.
- Gross, H. J., Pahl, M., Si, A., Zhu, H., Tautz, J., & Zhang, S. (2009). Number-based visual generalisation in the honeybee. *Public Library of Science: One* 4 (1), stránky 1-9.
- Grueter, C. C., Li, D., Ren, B., Wei, F., & van Schaik, C. P. (2009). Dietary profile of *Rhinopithecus bieti* and its socioecological implications. *International Journal of Primatology* 30 (4), stránky 601-624.
- Gunderson, E., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: the role of the linear number line. *Developmental Psychology* 48 (5), stránky 1229-1241.
- Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London* 267, stránky 829-833.
- Hauser, M. D., MacNeilage, P., & Ware, M. (1996). Numerical representations in primate. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93, stránky 1514-1517.
- Hirai, S., & Jitsumori, M. (2009). Counting absolute numbers of items, from 1 to 8, in pigeons. *Learning & Behavior* 37 (4), stránky 365-379.
- Honig, W. K., & Stewart, K. E. (1989). Discrimination of relative numerosity by pigeons. *Animal Learning & Behavior* 17 (2), stránky 134-146.
- Houdé, O. (1997). Numerical development: from the infant to the child. Wynn's (1992) paradigm in 2- and 3-year olds. *Cognitive Development* 12, stránky 373-391.
- Hunt, S., Low, J., & Burns, K. C. (2008). Adaptive numerical competency in a food-hoarding songbird. *Proceeding of the Royal Society* 275, stránky 2373-2379.
- Chittka, L., & Geiger, K. (1995). Can honey bees count landmarks? *Animal Behavior* 49, stránky 159-164.
- Irie-Sugimoto, N., Kobayashi, T., Sato, T., & Hasegawa, T. (2009). Relative quantity judgment by asian elephants (*Elephas maximus*). *Animal Cognition* 12, stránky 193-199.
- Jaakkola, K., Fellner, W., Erb, L., Rodriguez, M., & Guarino, E. (2005). Understanding of the concept of numerically „less“ by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Comparative Psychology* 119 (3), stránky 296-303.

- Jaeggi, A. V., Dunkel, L. P., van Noordwijk, M. A., Wich, S. A., Sura, A. A., & van Schaik, C. P. (2010). Social learning of diet and foraging skills by wild immature bornean orangutans: implications for culture. *American Journal of Primatology* 72 (1), stránky 62-71.
- Katz, J. S., & Wright, A. A. (2006). Same/different abstract-concept learning by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes* 32 (1), stránky 80-86.
- Kilian, A., Yaman, S., Fersen, L., & Güntürkün, O. (2003). A bottlenose dolphin discriminates visual stimuli differing in numerosity. *Learning & Behavior* 31 (2), stránky 133-142.
- Kobayashi, T., Hiraki, K., Mugitan, R., & Hasegawa, T. (2004). Baby arithmetic: one object plus one tone. *Cognition* 91, stránky B23-B34.
- Krebs, J. R., & Davies, N. B. (1993). *An Introduction to Behavioural Ecology*. Oxford: Blackwell publishing.
- Lin, G., Wang, Y., & Yang, H. (1990). Sameness-difference judgments of numerosness by monkeys (*Macaca mulatta* and *Macaca assamensis*). *International Journal of Comparative Psychology* 3 (4), stránky 245-252.
- Lyon, B. E. (2003). Egg recognition and counting reduce costs of avian conspecific brood parasitism. *Nature* 422, stránky 495-499.
- MacDonald, S. E. (1994). Gorillas' (*Gorilla gorilla gorilla*) spatial memory in a foraging task. *Journal of Comparative Psychology* 108 (2), stránky 107-113.
- Maddison, W. P., & Maddison, D. R. (2011). Mesquite: a modular systém for evolutionary analysis. Version 2.75.
- Martin-Ordas, G., Haun, D., Colmenares, F., & Call, J. (2010). Keeping track of time: evidence for episodic-like memory in great apes. *Animal Cognition* 13, stránky 331-340.
- Matsuzawa, T. (1985). Use of numbers by a chimpanzee. *Nature* 315, stránky 57-59.
- McComb, K., Packer, X., & Pusey, A. (1994). Roaring and numerical assessment in contests between groups of female lions, *Panthera leo*. *Animal Behavior* 41, stránky 379-387.
- Mou, Y., Province, J. M., & Luo, Y. (2014). Can infants make transitive inferences? *Psychology* 68, stránky 98-112.
- Nagasaka, Y., Lazareva, O. F., & Wasserman, E. (2007). Prior experience affects amodal completion in pigeons. *Perception & Psychophysics* 69 (4), stránky 596-605.
- Natale, F., Antinucci, D., Spinozzi, G., & Poti, P. (1986). Stage 6 object concept in nonhuman primates cognition: a comparison between gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) and Japanese macaque (*Macaca fuscata*). *Journal of Comparative Psychology* 100 (4), stránky 335-339.
- Nelson, X. J., & Jackson, R. R. (2012). The role of numerical competence in a specialized predatory strategy of an araneophagic spider. *Animal Cognition* 15, stránky 699-710.
- Odell, N. S., & Eadie, J. M. (2010). Do wood ducks use the quantity of eggs in a nest as a cue to the nest's value? *Behavioral Ecology* 21 (4), stránky 794-801.
- Olthof, A., & Roberts, W. A. (2000). Summation of symbols by pigeons (*Columba livia*): the importance of number and mass of reward items. *Journal of Comparative Psychology* 114 (2), stránky 158-166.
- Pagel, M. (1994). Detecting correlated evolution on phylogenies: a general method for the comparative analysis of discrete characters. *Proceeding of the Royal Society: Biological Sciences* 255, stránky 37-45.
- Panteleeva, S., Reznikova, Z., & Vygoniyailova, O. (2013). Quantity judgments in the context of risk/reward decision making in striped field mice: first „count“, then hunt. *Frontiers in Psychology* 4 (53), stránky 1-8.
- Pearce, J. M. (2008). *Animal Learning & cognition*. Hove: Psychology Press.
- Pepperberg, I. M. (1994). Numerical competence in an african grey parrot (*Psittacus erithacus*). *Journal of Comparative Psychology* 108 (1), stránky 36-44.
- Pepperberg, I. M. (2002). In search of king solomon's ring: cognitive and communicative studies of grey parrots (*Psittacus erithacus*). *Brain, Behavior and Evolution* 59, stránky 54-67.
- Pepperberg, I. M. (2006). Grey parrot numerical competence: a review. *Animal Cognition* 9, stránky 377-391.
- Pepperberg, I. M. (2013). Abstract concepts: data from a grey parrot. *Behavioural Processes* 93, stránky 82-90.
- Pepperberg, I. M., & Gordon, J. D. (2005). Number comprehension by a grey parrot (*Psittacus erithacus*), including a zero-like concept. *Journal of Comparative Psychology* 119 (2), stránky 197-209.
- Perdue, B. M., Talbot, C. F., Stone, A. M., & Beran, M. J. (2012). Putting the elephant back in the herd: elephant relative quantity judgments match those of other species. *Animal Cognition* 15, stránky 955-961.
- Perelman, P., Johnson, W. E., Roos, C., Seuáñez, H. N., Horvath, J. E., Moreira, A. M., & další. (2011). A molecular phylogeny of living primates. *Public Library of Science: Genetics* 7 (3), stránky 1-17.
- Pfuhl, G., & Biegler, R. (2012). Ordinality and novel sequence learning in jackdaws. *Animal Cognition* 15, stránky 833-849.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press, Inc.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Pisa, P. E., & Agrillo, C. (2009). Quantity discrimination in felines: a preliminary investigation of the domestic cat (*Felis silvestris catus*). *Journal of Ethology* 27, stránky 289-293.
- Rayburn-Reeves, R. M., Miller, H. C., & Zentall, T. R. (2010). "Counting" by pigeons: discrimination of the number of biologically relevant sequential events. *Learning & Behavior* 38 (2), stránky 169-176.
- Reznikova, Z. (2007). *Animal intelligence. From individual to socials cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reznikova, Z., & Ryabko, B. (2001). A study of ants' numerical competence. *Electronic Transactions on Artificial Intelligence B* 5, stránky 111-126.
- Roberts, W. A. (2010). Distance and magnitude effects in sequential number discrimination by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 36 (2), stránky 206-216.

- Rodríguez, P., Lago, M. O., Enesco, I., & Guerrero, S. (2013). Children's understanding of counting: detection of errors and pseudoerrors by kindergarten and primary school children. *Journal of Experimental Child Psychology* 114, stránky 35-46.
- Roth, G., & Dicke, U. (2005). Evolution of the brain and intelligence. *Trends in Cognitive Sciences* 9 (5), stránky 250-257.
- Rowe, N. (1996). *The pictorial guide to the living primates*. East Hampton, N. Y.: Pogonias Press.
- Rugani, R., & Regolin, L. (2008). Discrimination of small numerosities in young chicks. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 34 (3), stránky 388-399.
- Rugani, R., Fontanari, L., Simoni, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2009). Arithmetic in newborn chicks. *Proceedings of the Royal Society* 276, stránky 2451-2460.
- Rumbaugh, D. M., Hopkins, W. D., Washburn, D. A., & Savage-Rumbaugh, E. S. (1989). Lana chimpanzee learns to count by „numath“: a summary of a videotaped experimental report. *Psychological Record* 39 (4), stránky 459-470.
- Rumbaugh, D. M., Savage-Rumbaugh, S., & Hegel, M. T. (1987). Summation in the chimpanzee (Pan troglodytes). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 13 (2), stránky 107-115.
- Santos, L. R., Barnes, J. L., & Mahajan, N. (2005). Expectations about numerical events in four lemur species (Eulemur fulvus, Eulemur mongoz, Lemur catta and Varecia rubra). *Animal Cognition* 8, stránky 253-262.
- Scarf, D., Hayne, H., & Colombo, M. (2011). Pigeons on par with primates in numerical competence. *Science* 334, str. 1664.
- Shettleworth, S. J. (2012). Modularity, comparative cognition and human uniqueness. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, stránky 2794-2802.
- Shultz, S., & Dunbar, R. I. (2007). The evolution of the social brain: anthropoid primates contrast with other vertebrates. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences* 274, stránky 2429-2436.
- Schmitt, V., & Fischer, J. (2011). Representational format determines numerical competence in monkeys. *Nature communications* 2, stránky 1-5.
- Smirnova, A. A., Lazareva, O. F., & Zorina, Z. A. (2000). Use of number by crows: investigation by matching and oddity learning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 73, stránky 163-176.
- Smirnova, A. A., Lazareva, O. F., & Zorina, Z. A. (2003). Prototype symbolization in hooded crows. *Neuroscience and Behavioral Physiology* 33 (4), stránky 335-348.
- Sophian, C. (1995). Representation and reasoning in early numerical development: counting, conservation, and comparisons between sets. *Child Development* 66, stránky 559-577.
- Straub, R. O., & Terrace, H. S. (1981). Generalization of serial learning in the pigeon. *Animal Learning & Behavior* 9 (4), stránky 454-468.
- Sulkowski, G. M., & Hauser, M. D. (2001). Can rhesus monkeys spontaneously subtract? *Cognition* 79, stránky 239-262.
- Terrell, D. F., & Thomas, R. K. (1990). Number-related discrimination and summation by squirrel monkeys (Saimiri sciureus sciureus and S. boliviensis boliviensis) on the basis of the number of sides of polygons. *Journal of Comparative Psychology* 104 (3), stránky 238-247.
- Thomas, R. K., & Peay, L. (1976). Length judgments by squirrel monkeys: evidence for conservation? *Developmental Psychology* 12 (4), stránky 349-352.
- Thomas, R. K., Fowlkes, D., & Vickery, J. D. (1980). Conceptual numerosness judgments by squirrel monkeys. *American Journal of Psychology* 93 (2), stránky 247-257.
- Tomasello, M., & Call, J. (1997). *Primate cognition*. New York: Oxford University Press.
- Ujfalussy, D. J., Miklósi, Á., Bugnyar, T., & Kotrschal, K. (2014). Role of mental representations in quantity judgments by jackdaws (Corvus monedula). *Journal of Comparative Psychology* 128 (1), stránky 11-20.
- Uller, C., & Lewis, J. (2009). Horses (Equus caballus) select the greater of two quantities in small numerical contrasts. *Animal Cognition* 12, stránky 733-738.
- Uller, C., Jaeger, R., Guidry, G., & Martin, C. (2003). Salamanders (Plethodon cinereus) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Animal Cognition* 6, stránky 105-112.
- Utrata, E., Virányi, Z., & Range, F. (2012). Quantity discrimination in wolves (Canis lupus). *Frontiers in Psychology* 3 (505), stránky 1-9.
- Wagner, J. B., & Johnson, S. C. (2011). An association between understanding cardinality and analog magnitude representations in preschoolers. *Cognition* 119, stránky 10-22.
- Ward, C., & Smuts, B. B. (2007). Quantity-based judgments in the domestic dog (Canis lupus familiaris). *Animal Cognition* 10, stránky 71-80.
- Washburn, D. A., & Rumbaugh, D. M. (1991). Ordinal judgments of numerical symbols by macaques (Macaca mulatta). *Psychological science* 2 (3), stránky 190-193.
- West, R. E., & Young, R. J. (2002). Do domestic dogs show any evidence of being able to count? *Animal Cognition* 5, stránky 183-186.
- White, D. J., Ho, L., & Freed-Brown, G. (2009). Counting chicks before they hatch: female cowbirds can time readiness of a host nest for parasitism. *Psychological Science* 20 (9), stránky 1140-1145.
- Wilson, D. E., & Mittermeier, R. A. (2009). *Handbook of the Mammals of the World – Volume 1 (Carnivores)*. Barcelona: Lynx Edicions.
- Wood, J. N., & Spelke, E. S. (2005). Chronometric studies of numerical cognition in five-month-old infants. *Cognition* 97, stránky 23-39.
- Wood, J. N., Hauser, M. D., Glynn, D. D., & Barner, D. (2008). Free-ranging rhesus monkeys spontaneously individuate and enumerate small numbers of non-solid portions. *Cognition* 106, stránky 207-221.

- Woodruff, G., & Premack, D. (1981). Primate mathematical concepts in the chimpanzee: proportionality and numerosity. *Nature* 293 (5833), stránky 568-570.
- Woodruff, G., Premack, D., & Kennel, K. (1978). Conservation of liquid and solid quantity by the chimpanzee. *Science* 202 (4371), stránky 991-994.
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition* 36 (2), stránky 155-193.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, stránky 749-750.
- Wynn, K. (1995). Infants possess a system of numerical knowledge. *Current Directions in Psychological Science* 4 (6), stránky 172-177.
- Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number: numerical competence in human infants. *Trends in Cognitive Sciences* 2 (8), stránky 296-303.
- Wynne, C. D., & McLean, I. G. (1999). The comparative psychology of marsupials. *Australian Journal of Psychology* 51 (2), stránky 111-116.
- Xia, L., Emmerton, J., Siemann, M., & Delius, J. D. (2001). Pigeons (*Columba livia*) learn to link numerosities with symbols. *Journal of Comparative Psychology* 115 (1), stránky 83-91.
- Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition* 89, stránky B15-B25.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 74, stránky B1-B11.
- Yamagiwa, J., Kahekwa, J., & Basabose, A. K. (2009). Infanticide and social flexibility in the genus *Gorilla*. *Primates* 50 (4), stránky 293-303.
- Yaman, S., Kilian, A., von Fersen, L., & Güntürkün, O. (2012). Evidence for a numerosity category that is based on abstract qualities of „few“ vs. „many“ in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Frontiers in Psychology* 3 (473), stránky 1-8.
- Zorina, Z. A., & Smirnova, A. A. (1996). Quantitative evaluations in gray crows: generalization of the relative attribute „larger set“. *Neuroscience and Behavioral Physiology* 26 (4), stránky 357-364.

14. Obrazová příloha

Obrazová příloha je v elektronické podobě přiložena na CD.