

Vliv tréninku pracovní paměti na oblast vyšších poznávacích procesů¹

The influence of working memory training to higher cognition

Anna Páchová

Abstrakt: Současné neuropsychologické výzkumy ukazují, že lze pomocí vhodně zvolených počítačových programů rozvíjet kapacitu pracovní paměti. Zároveň byla prokázána souvislost mezi pracovní pamětí a inteligencí. Tato zjištění vedou k otázkám směřujícím k možnostem rozvoje vyšších poznávacích procesů pomocí tréninku pracovní paměti. Výzkumů, zabývajících se tímto tématem, je v současné době několik a některé z nich transfer prokázaly. Je však s podivem, že neexistuje příliš mnoho studií řešících vliv tréninku pracovní paměti na rozvoj školních dovedností. Přičemž právě obtíže s pracovní pamětí jsou jednou z důležitých příčin školního selhávání. Proto jsme se v designu pretest, tréninková fáze a retest pokusili ověřit možnosti rozvoje matematických dovedností pomocí nově navrženého počítačového programu určeného k rozvoji pracovní paměti. V naší studii jsme prokázali signifikantní transfer do oblasti matematických dovedností, který poukazuje na další možnosti využití podobných programů.

Klíčová slova: pracovní paměť, fluidní inteligence, trénink kognitivních funkcí, matematické schopnosti

Abstract: Contemporary neuropsychological studies show that special PC programs are able to improve working memory. In addition, there is an evidence of relationship between working memory and intelligence. These findings lead to the questions of the cognitive enrichment via working memory training. There are some studies with this topic and some of them demonstrate the transfer. Surprisingly, studies which want to show the transfer to school performance almost do not exist. Concurrently many studies agree with the idea, that low working memory capacity is important cause of school failure. Therefore we decided to verify the possibilities of mathematic improvement via working memory training. Design of our study was pretest, training phase and retest. We show significant improvement of mathematic ability. The possibilities of utilization of these types of program are discussed.

Keywords: working memory, fluid intelligence, cognitive function training, mathematical ability

1 Teoretická východiska

V poslední době dochází k postupnému prolamování ledů mezi neurovědním a pedagogickopsychologickým výzkumem. Neurovědně orientovaní autoři si navzáem s didaktiky rozšiřují svůj úhel zájmu. Často se publikují studie zaměřené na mozkovou aktivitu při řešení různých matematických úloh. Na tuto klíčící interakci poukazují i tematicky zaměřené konference (např. *Cognitive Neuroscience Meets Mathematics Education* - 2009, Brugge, Belgie), nově vznikající instituce (*Centres of Educational Neuroscience at the universities of Cambridge and London*) i obory (*Graduate Program in Mind, Brain and*

¹ Výzkum byl podpořen grantovou agenturou UK (číslo grantu: 298811)

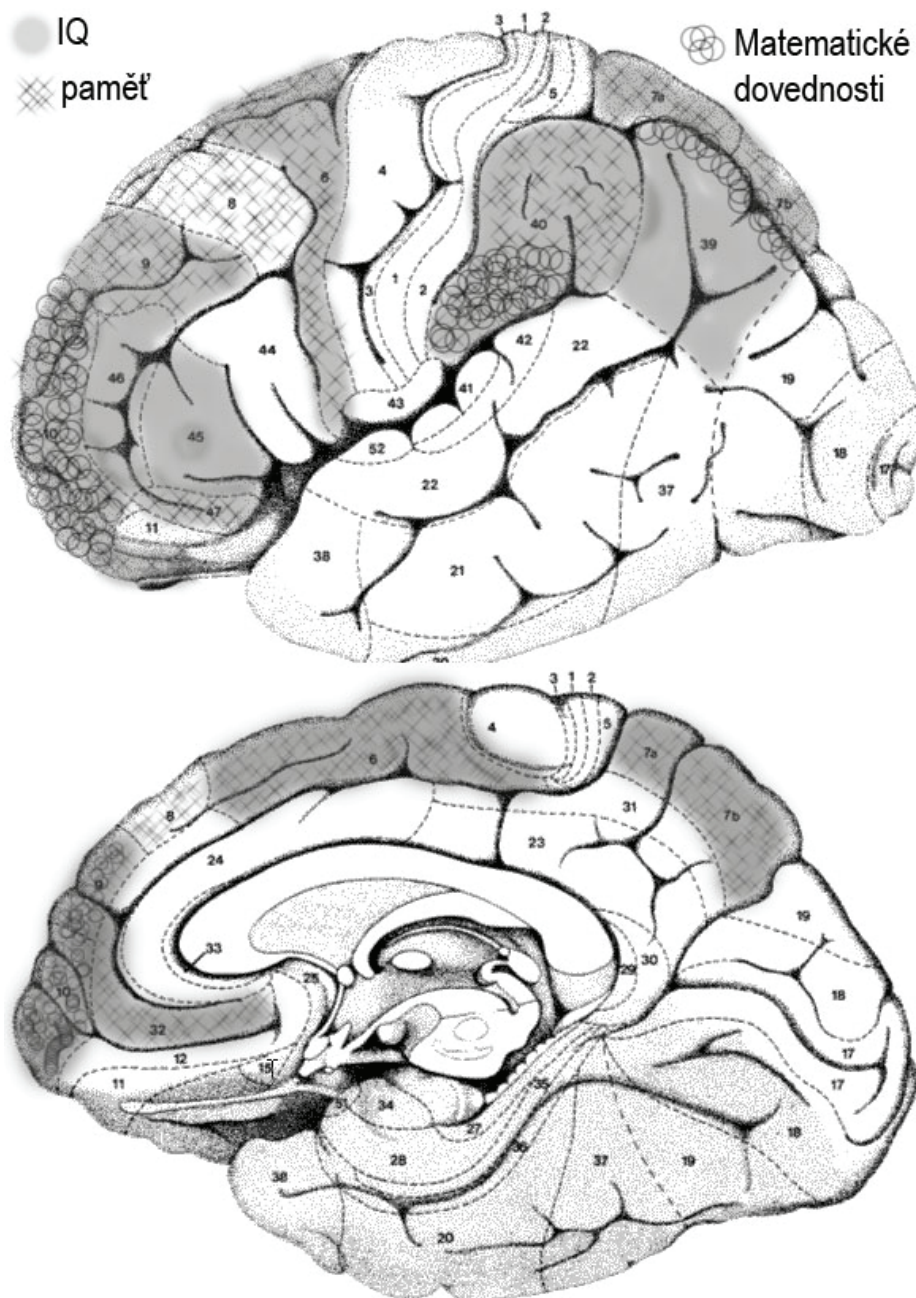
Education at the Graduate School of Education at Harvard University). Začíná se tedy více hovořit o vztahu mezi inteligencí či schopností řešit školní problémy a jednotlivými kognitivními funkcemi. Kognitivní funkce jsou nejčastěji definovány jako souhrn procesů a operací, jimiž si člověk uvědomuje svět a sebe. Mezi kognitivní funkce bývají řazeny tempo, pozornost, učení, paměť a exekutivní funkce (Kopeček, 2005). Ukazuje se, že zejména pracovní paměť dosti souvisí s vyššími poznávacími procesy. Z tohoto předpokladu vycházejí současné neuropsychologické studie, které se zabývají tréninkem pracovní paměti a možným transferem do dalších oblastí. Dalším nutným předpokladem je trénovatelnost pracovní paměti. Tento poznatek je však výdobytkem posledních let, jelikož kapacita pracovní paměti byla v minulosti považována za konstantní veličinu. Statický pohled na pracovní paměť formuloval Miller (1956) ve svém článku *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. V následujícím půl století se touto problematikou zabývalo mnoho autorů. Objevily se dokonce studie, které se pokoušely kapacitu pracovní paměti zvýšit (Kristofferson, 1972; Phillips & Nettelbeck, 1984), jejich snahy však nebyly úspěšné. Až současné studie (Klingberg, Forssberg, & Westerberg 2002; Klingberg et al., 2005; Thorell et al., 2009; Olesen, Westerberg, & Klingberg 2004; Holmes, 2009; Holmes et al., 2010; Jeaggi et al., 2008; Nutley et al., 2011) tento pohled dokázaly změnit tím, že ukázaly možnost zvýšení kapacity pracovní paměti pomocí speciálně navrženoého tréninkového PC programu. Zároveň se tyto studie pokouší dokázat transfer ze zisku v oblasti pracovní paměti do dalších oblastí, zejména inteligence, což se jim povětšinou daří.

Souvislost mezi pracovní pamětí a vyššími poznávacími procesy je vysvětlována zejména tím, že neurokoreláty obou oblastí se do značné míry překrývají. Neuropsychologické výzkumy využívající zobrazovacích technik (nejčastěji funkční magnetická rezonance, fMRI) poukazují na vztah mezi stupněm aktivace prefrontálního a parietálního kortexu a výkonem v inteligenčním testu. Lee a kolegové (2006) ve svém výzkumu ukázali pozitivní korelaci mezi inteligenčním skóre a aktivací prefrontálního kortexu mediálního (Brodmannova area – BA 32), dorsolaterálního (BA 6, 8, 9, 46) a ventrolaterálního (BA 49), dále aktivací parietálního kortexu (BA 7, 39, 40) a kortexu occipitálního. K podobným výsledkům došel i Schmithorst a Holland (2006). Metaanalýza studií zabývajících se neurokoreláty inteligence z roku 2007 (Jung & Haier, 2007) shrnuje výsledky 37 studií do parietofrontální integrační teorie (*PFI-T, Parieto Fronta Integration Theory*). Za relevantní jsou považovány tyto BA: 6, 9, 10, 32, 45, 46, 47 (prefrontální kortex), 7, 39, 40 (parietální kortex). Existují rovněž studie, které dávají do souvislosti inteligenci s objemem šedé mozkové hmoty. I zde se autoři nejvíce zmiňují o výše uvedených oblastech. Bylo rovněž ukázáno, že výše IQ souvisí s objemem šedé hmoty v mediální prefrontální kortexu (BA 24), laterálním prefrontálním kortexu (BA 8, 10, 11, 46, 47), laterálním parietálním kortexu (BA 7, 40), v kortexu temporálním (BA 13, 20, 21, 37, 41), a occipitálním (BA 17, 18, 19) (Colom, Jung, & Haier, 2006). Přesto, že se tedy od sebe jednotlivé studie liší, bezpochyby je inteligence nejčastěji vztahována k prefrontálnímu a parietálnímu kortexu.

Matematické schopnosti bývají některými autory řazeny do oblasti celkových rozumových schopností. Jednotlivé neuropsychologické studie se od sebe liší, a to zejména proto, že každá z nich se zaměřuje na jiný problém. Navíc se ukazuje, že aktivace je jiná v začátcích učení se matematice a jiná u pokročilejších počtářů. Nejčastěji je zmiňována oblast intraparietální rýhy (Ansari, 2007; Cohen Kadosh et al. 2007), supramarginální gyrus (Polk et al. 2001) i oblast prefrontálních kortexu (Diester & Nieder, 2007).

I v oblasti pracovní paměti existuje několik metastudií (Wager & Smith, 2003; Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005). Většina studií se shoduje na pozitivní korelaci mezi pracovní-paměťovými schopnostmi a prefrontálním kortexem (BA 6, 8, 9, 10, 32, 47) a

kortexem parietálním (BA 7, 40) (Chein, Moore, & Conway, 2011). Rovněž bylo poukázáno na souvislost mezi pracovní pamětí a objemem šedé hmoty mozkové v oblastech prefrontálních a parietálních (Colom, Jung, & Haier, 2007). I v případě pracovní paměti jsou to tedy nejčastěji prefrontální a parietální oblast, které jsou dle současných výzkumů odpovědné za individuální rozdíly v testech měřících pracovní-paměťové schopnosti. Zatímco v případě inteligence se jedná o téměř všechny oblasti prefrontálního kortexu a o velkou část parietálního kortexu, pracovní paměť je situována do oblasti o něco menší. Jedná se především o superiorní prefrontální oblast a o parietální oblast inferiorní. V oblasti matematických dovedností je situace nejméně jasná. Nejčastěji se jedná o spodní polovinu parietální oblasti a o oblast prefrontální. Srovnání jednotlivých oblastí viz obrázek 1.



Obrázek 1: BA zodpovědné za úkolů inteligentního testu (dle Jung & Haier, 2007), za fungování pracovní paměti (dle Chein et al., 2011) a za matematické dovednosti.

Z obrázku 1 vyplývá, že vztah mezi vyššími poznávacími procesy (matematické schopnosti, inteligence) a pracovní paměti je z neuroanatomického hlediska velký. To vše spolu s posledními zjištěními o mozkové neuroplasticitě dovoluje předjímat možnosti, které skýtá trénink pracovní paměti. Naznačen je i vztah pracovní paměti a matematických dovedností. Je s podivem, že se více studií nezabývá transferem do oblasti školních dovedností, přestože se obecně považuje za platné, že pracovní paměť hraje v této oblasti důležitou roli.

Výjimkou je studie Holmese (2009). Autor se zaměřil na děti s nižší kapacitou pracovní paměti. Ze vzorku 345 dětí (8-11 let) bylo vybráno 42, u nichž byla kapacita pracovní paměti oslabena. Ukazuje se totiž, že děti s nižší kapacitou pracovní paměti mají zároveň větší obtíže na své vzdělávací dráze (Alloway, 2009). Toto zjištění bylo potvrzeno - vybrané děti byly prospěchově slabší než jejich vrstevníci s vyšší kapacitou pracovní paměti. Za účelem sledování transferu do výukových předmětů byly v pretestové a retestové baterii měřeny školní dovednosti. Dále se autoři zajímali o to, jaký vliv má trénink na různé druhy paměti, respektive na paměť krátkodobou (sluchovou a zrakovou) a na paměť pracovní (sluchovou a zrakovou). Mezi pretestovou a retestovou fází probíhala fáze tréninková. Trénink pracovní paměti probíhal po dobu 5-7 týdnů 35 minut denně. Minimální časová dotace tréninku byla 700 minut. Každý den děti plnily 9 z 10 typů úloh. Všechny tréninkové úlohy byly zaměřeny na nutnost podržet zrakově-prostorové nebo verbální informace v pracovní paměti. Motivační složka tréninkové fáze zahrnovala pozitivní verbální zpětnou vazbu, zobrazování nejlepších skóre dítěte a možnost zahrát si na konci každého sezení PC hru. Ve studii byly využívány dvě verze programu. Ve standardní adaptační verzi se složitost jednotlivých úkolů přizpůsobovala aktuálním možnostem dětí. Druhá verze byla neadaptační – speciálně navržena firmou Cogmed za účelem evaluace adaptačního tréninkového programu (Klingberg et al., 2005). V této verzi docházelo k mírnému zvyšování obtížnosti bez ohledu na schopnosti dětí. V pretestové fázi nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi dětmi zařazenými do adaptivního a neadaptivního programu. Děti, které absolvovaly adaptivní trénink, se statisticky významně zlepšily v úlohách měřících krátkodobou i pracovní paměť. Toto zlepšení bylo signifikantní i při testování půl roku po absolvování tréninku. U druhé skupiny tomu tak nebylo. Statisticky významné zlepšení bylo nalezeno pouze u položek měřících sluchovou pracovní paměť. V žádné skupině však nedošlo k signifikantnímu zlepšení mezi pretestovým a retestovým IQ skórem (verbálním, performačním) ani mezi výsledkem testu čtení a matematických schopností. Nicméně u dětí, které absolvovaly adaptivní verzi programu, došlo po 6 měsících ke statisticky významnému zlepšení (porovnával se výsledek pretestu a výsledek retestu, který následoval 6 měsíců po absolvování tréninku). Nikde v textu se ale bohužel nedozvídáme, jak na tom byla po 6 měsících skupina dětí, která neabsolvovala žádný trénink. Nelze tedy identifikovat, zda signifikantní zlepšení dětí, které absolvovaly adaptivní verzi programu, je způsobeno tímto programem, nebo zda hrají roli (i) jiné faktory (např. probíraná látka, zrání apod.). Z tohoto hlediska tedy nelze uvažovat udávanou studii za stoprocentně přesvědčivou. Efekt transferu ze zlepšení pracovní paměti na netrénovanou školní problematiku by tedy bylo třeba znovu ověřit.

Cílem naší studie bylo tedy zjistit, zda je možné tréninkem pracovní paměti rozvíjet i oblast matematických dovedností. V našem výzkumu jsme se rozhodli, stejně jako Holmes, jít cestou obecnějšího tréninku (*core training*) a nikoli tréninku strategií (*strategic training*), vzhledem k tomu, že obecnější trénink je považován za efektivnější a jeho dosah bývá širší (Morrison & Chein, 2010). Vzhledem k tomu, že jsme navrhli vlastní počítačový program určený k tréninku pracovní paměti, bylo prvotním cílem studie rovněž ověření funkčnosti nového programu.

2 Metody

2.1 Design výzkumu

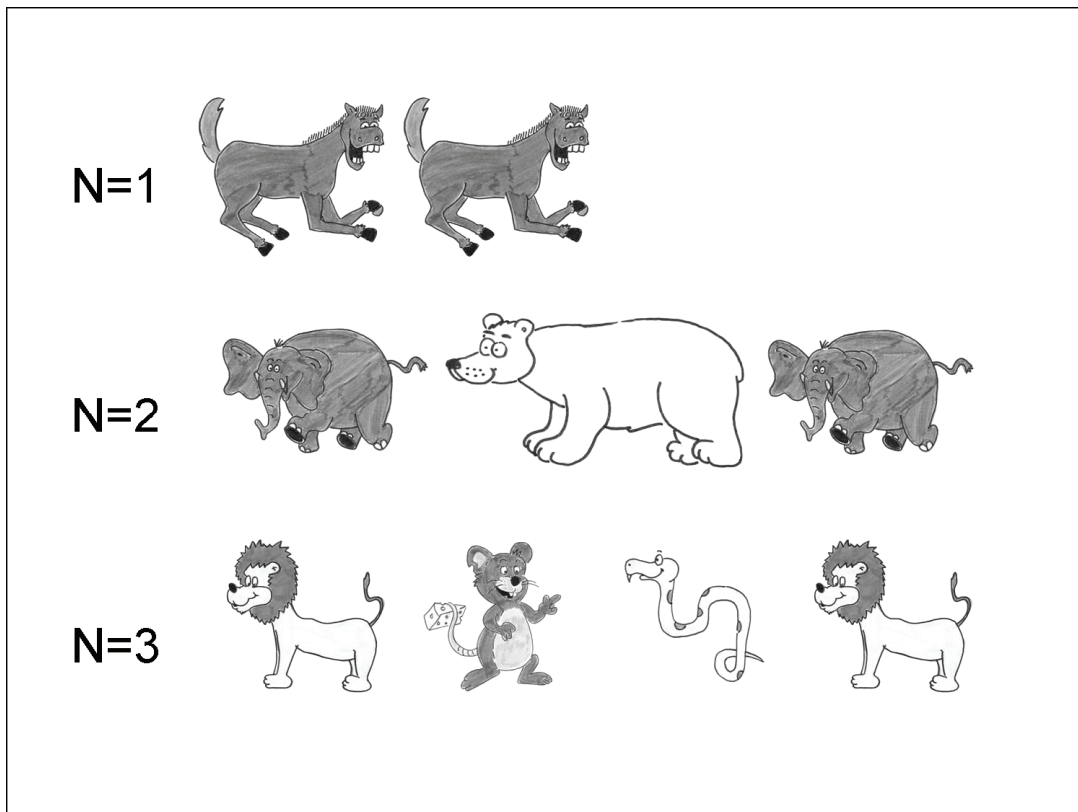
Výzkum probíhal v designu pretest, tréninková fáze a retest. V pretestové a retestové fázi byla testována fluidní inteligence, matematické dovednosti, pracovní paměť a paměť krátkodobá. Inteligence byla měřena pomocí *Ravenových Standardních progresivních matic* (Raven, Raven, & Court, 1998). Matematické dovednosti byly měřeny didaktickými testy, které

vycházely z uvolněných úloh výzkumů TIMSS a PISA. Zrakově prostorová pracovní paměť byla měřena pomocí subtestu *Paměť na korálky* ze Stanford-Binetova inteligenčního testu (Thorndike, Hagen, & Sattler, 1986). V tomto subtestu je dítě seznámeno s fotografií korálků uspořádaných na tyčce, přičemž mu je dána instrukce, aby si toto uspořádání zapamatovalo. Po 5 vteřinách je fotografie otočena a úkolem dítěte je sérii korálků zopakovat. Tento subtest nebyl původně spjat s pracovní pamětí. Vzhledem k tomu, že definujeme pracovní paměť jakožto systém umožňující aktivní udržení informace v mysli za účelem vyřešení problému a navzdory rušení způsobené řešením problému (Páchová & Štumpf, 2012), považujeme tento subtest za vhodný k měření zmiňovaného procesu. Rušení je způsobeno nutností hledat potřebné korálky a stavět stavbu. Zraková krátkodobá paměť byla měřena pomocí subtestu *Paměť na předměty* Stanford-Binetova inteligenčního testu (Thorndike et al., 1986). V tomto subtestu je dítěti prezentována řada obrázků. Úkolem je tuto řadu následně zopakovat. K měření sluchových pamětí byly užity subtesty *Paměť na čísla* (Thorndike et al., 1986). Sluchová krátkodobá paměť byla měřena pomocí části, ve které je třeba zapamatovat si čísla v prezentovaném pořadí. Sluchová pracovní paměť byla zkoumána pomocí výkonu, jakého dítě dosáhlo při opakování čísel v obráceném pořadí.

Tréninková fáze probíhala zhruba 2krát týdně 40 minut po dobu cca 1,5 měsíce. Každé dítě odtrénovalo v průměru zhruba 400 minut. Tato délka tréninku se ukazuje jako nejefektivnější (Páchová & Štumpf, 2012). Z analýzy, která byla provedena v minulosti (Páchová & Štumpf, 2012), vyplynulo, že nejvhodnějším schématem pro trénování pracovní paměti je n-back task, respektive dual n-back task a princip zrakově prostorových matic. Tento typ her jsme tedy následně sledovali ve freewarových i komerčně dostupných hrách. S nabývajícím zkušenostmi s těmito hrami se začalo ukazovat, že žádná hra nám nevyhovuje dostatečně (nízká možnost vlastní modifikovatelnosti hry, nemožnost záznamu hry a ukládání důležitých dat, nedostatečná adaptabilita her, přílišné finanční náklady atd.). Z těchto důvodů jsme se rozhodli o vlastní návrh softwaru, který vycházel zejména z naší osobní zkušenosti s programy zaměřenými na pracovní paměť.

Rozhodli jsme se navrhnout 6 her – 3 založené na principu n - back task a 3 na principu zrakově prostorové matice.

Obrázkový n-back je hra určená k tréninku zrakové pracovní paměti. Úkolem je reagovat stisknutím určeného tlačítka, pokud se před n obrázky objevil daný obrázek (viz obrázek 2), respektive reagovat stisknutím jiného tlačítka v případě, že se tomu tak nestalo. Výhodou naší verze hry je možnost nahrát do databáze obrázků jakékoli obrázky v běžně dostupných formátech, které si dítě bude přát. Zároveň je tím umožněno vytvářet různé varianty této hry. Touto možností je zvyšována motivace dětských hráčů.



Obrázek 2: Příklady sekvencí po kterých je třeba reagovat v případě N=1, N=2 a N=3.

Červí prostorový n-back je hra určená k tréninku zrakově prostorové pracovní paměti. Princip hry je stejný, jako v předchozím případě. Úkolem je reagovat v případě, že se červík objeví na stejném místě jablíčka, jako tomu bylo před n zobrazeními (v opačném případě je nutná reakce pomocí jiného tlačítka).

Automobilový prostorový n-back je určen rovněž k tréninku zrakově prostorové pracovní paměti. Princip hry je totožný s předchozí variantou. Úkolem je reagovat tehdy, když zablikalo stejné autíčko jako autíčko před n zobrazeními.

Hry typu n-back task začínají na obtížnosti na $n=1$. Úkolem je tedy reagovat tehdy, kdy po sobě následují dvě totožná zobrazení. Tento jednoduchý back, který většina dostupných programů nenabízí, jsme zvolili z důvodu dostupnosti hry pro děti s nízkou kapacitou pracovní paměti a také jako možnost lepšího zácviku a seznámení se s obecným principem hry. Výhodou všech typů našich n-backů je možnost téměř stoprocentní kontroly nad průběhem hry. U každé úrovně je možnost nastavení všech důležitých vlastností – hodnota n , počet kol, doba zobrazení, počet n událostí, minimální počet správných řešení, při kterých dojde k postupu na vyššího úroveň, velikost matice (u prostorových backů). Takovýto design hry se nám zdá výhodný zejména proto, že lze hru přizpůsobit možnostem a potřebám konkrétního dítěte. Tím, že se hra přizpůsobí dítěti, je sníženo riziko věčného selhávání či naopak stálého postupu, od čehož si slibujeme nižší úbytek motivace v průběhu tréninku. Dalším motivačním prvkem obsaženým v naší modifikaci n-back task hry je možnost multiplayer (možnost hraní dvou hráčů na jednom PC proti sobě). Na základě vlastních zkušeností s hrami tohoto typu jsme se rozhodli pro stoprocentní nutnost reakce po každém kole. Dítě musí reagovat vždy – tedy jak v případě n události, tak i v opačném případě. Domníváme se, že tento způsob ovládní hry povede k vyšší koncentraci dětí. Při naší vlastní zkušenosti s hrami jsme považovali za užitečné, pokud hra umožňovala okamžitou zpětnou

vazbu o správnosti odpovědi. Z toho důvodu jsme se rozhodli tuto funkci zabudovat i do našeho vlastního programu. V levé části obrazovky je umístěn semafor – v případě správné odpovědi se jeho světla rozsvítí zeleně, v případě chyby červeně. Za další důležitý motivační prvek rovněž považujeme zpětnou vazbu po každém kole – tzn. dítě dostává informaci o tom, jak si během dané úrovně vedlo a co tento výsledek znamená (opakování úrovně, vzestup do dalšího úrovně).

Princip zrakově prostorových matic je obsažen ve třech principiálně identických variantách. Obecným principem hry je zapamatovat si políčka matice, ve kterých se objevil předmět A a ve kterých se objevil předmět B (objevování předmětů probíhá v různém pořadí např. AABAB...). Úkolem je nejprve kliknutím myši nalézt všechny předměty A a následně všechny předměty B. Zvyšování obtížnosti probíhá přidáváním předmětů a zvyšováním počtu políček v matici. Při kliknutí na předmět B v době, kdy je nutné hledat předmět A, dítě ztrácí život. Je tedy nutné správně si zapamatovat jak políčka, ve kterých se něco objevilo, tak i identitu objeveného. Jinými slovy, je nutné udržet v paměti informaci o předmětech B za současného hledání předmětů A. Od tohoto očekáváme vyšší zaměstnanost pracovní paměti.

Varianty zrakově prostorových matic jsou následující:

- hříbkový les – úkolem je nalézt nejprve všechny hříbky a pak ukázat všechny muchomůrky;
- zámková dlažba – úkolem je nalézt všechny mince, následně všechny lebky;
- krtci v zahradě – úkolem je nalézt nejprve všechny krtky a následně všechny žížaly.

2.2 Výzkumný vzorek

Výzkumný vzorek byl tvořen dvěma soubory dětí, které se vzájemně překrývaly. Do korelačních analýz bylo zahrnuto celkem 102 dětí ve věku 9-12 let ($10,4 \pm 0,87$). Z celkového počtu 102 dětí bylo 45 dívek a 57 chlapců. Pro všechny děti se jednalo o první testování v rámci výzkumu. Některé děti následně utvořily experimentální skupinu, některé skupinu kontrolní a pro zbytek dětí se jednalo o jedinou aktivitu v rámci našeho výzkumu. Z celkového počtu 102 dětí bylo 44 ($11,2 \pm 0,43$) zahrnuto do další části výzkumu. 27 dětí utvořilo experimentální skupinu, zbytek dětí tvořil neaktivní kontrolní skupinu. Všechny děti navštěvovaly běžnou základní školu 4. či 5. rokem.

2.3 Statistické analýzy

Data jsou uváděna jako aritmetický průměr a střední chyba aritmetického průměru $x \pm SEM$ (n), kde n je velikost souboru (počet dětí).

Normalita dat byla testována Shapiro-Wilk W testem. Normální rozložení nebylo prokázáno, proto jsme volili neparametrické metody. Pro testování rozdílů mezi dvěma nezávislými soubory (chlapci vs. dívky) byl použit Mann Whitneyho U test. V případě posuzování rozdílů mezi dvěma závislými soubory (výsledky pretestu a retestu) byl použit Wilcoxonův párový test. Při korelačních analýzách byl použit Spearmanův korelační koeficient. Rozdíly byly brány jako signifikantní na hladině významnosti $p < 0,05$. Statistické analýzy byly provedeny pomocí softwaru Statistica 6.1 (StatSoft, Tulsa, UK).

3 Výsledky

Celkově bylo otestováno 102 dětí ve věku 9-12 let v těchto oblastech: matematické dovednosti (didaktický test), intelektové schopnosti (*Ravenovy Standardní progresivní matice*) a paměťové schopnosti (*Paměť na korálky*, *Paměť na čísla* a *Paměť na předměty*). Vztah mezi jednotlivými veličinami je znázorněn v tabulce 1.

Tabulka 1: Korelace mezi vyššími poznávacími procesy a pamětí

	IQ	matematika	korálky	Čísla	Čísla obr. ¹	předměty
IQ	1,00	0,56	0,54	0,20	0,19	0,42
Matematika		1,00	0,41	0,19	0,39	0,34
Korálky			1,00	0,20	0,36	0,36
Čísla				1,00	0,41	0,27
čísla obr.					1,00	0,23
předměty						1,00

Hodnoty uvedené kurzívou jsou statisticky významné.

¹Subtest Paměť na čísla v obráceném pořadí.

Téměř všechny korelace mezi vyššími poznávacími procesy a pamětí byly statisticky významné (výjimkou je korelace mezi pamětí na čísla v obráceném pořadí a inteligencí a korelace mezi pamětí na čísla a matematickými schopnostmi). Koncept vyšších poznávacích procesů a pracovní paměti je si tedy velice blízký. Nejvyšší korelace byly nalezeny mezi inteligencí, resp. matematickými schopnostmi a subtestem *Paměť na korálky*, tedy subtestem měřícím zrakově prostorovou pracovní paměť. V dalším kroku jsme zkusili jednotlivé paměťové subtesty seskupit do funkčních celků. Pracovní paměť byla tedy definována jako součet skóre získaných v subtestu *Paměť na korálky* a v subtestu *Paměť na čísla* ve zpětném pořadí. Krátkodobá paměť pak byla definována jakožto součet skóre získaných v subtestu *Paměť na předměty* a *Paměť na čísla* v prezentovaném pořadí. Z modalitního hlediska jsme rozlišili paměť auditorní počítanou jakožto součet obou částí subtestu *Paměť na čísla* a paměť zrakovou počítanou jakožto součet skóre v subtestu *Paměť na korálky* a *Paměť na předměty*. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Korelace jednotlivých paměťových systémů a vyšších poznávacích procesů

	IQ	matematika	WM ¹	STM ²	Zraková	auditorní
IQ	1,00	0,56	0,52	0,37	0,59	0,26
matematika		1,00	0,46	0,32	0,45	0,35
WM			1,00	0,43	0,91	0,54
STM				1,00	0,52	0,76
zraková					1,00	0,38
auditorní						1,00

¹Pracovní paměť

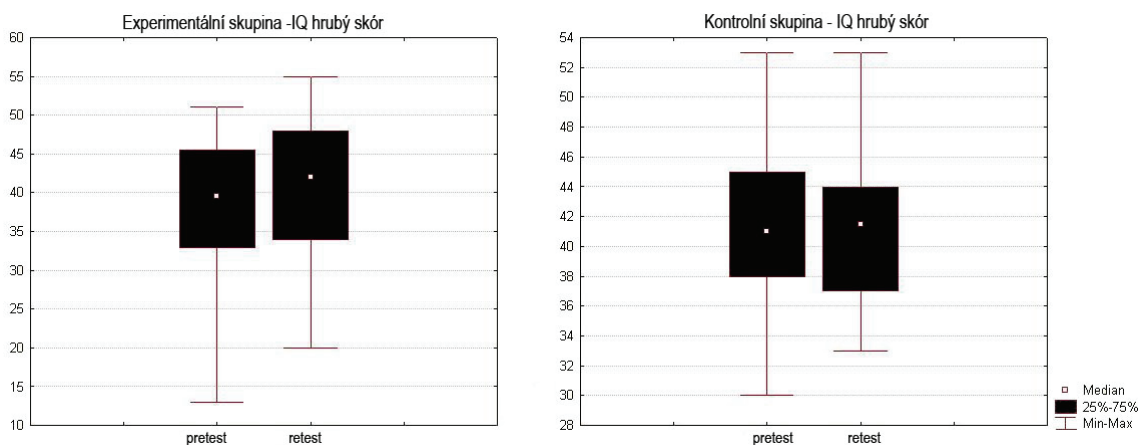
²Krátkodobá paměť

Všechny hodnoty uvedené v tabulce jsou statisticky významné.

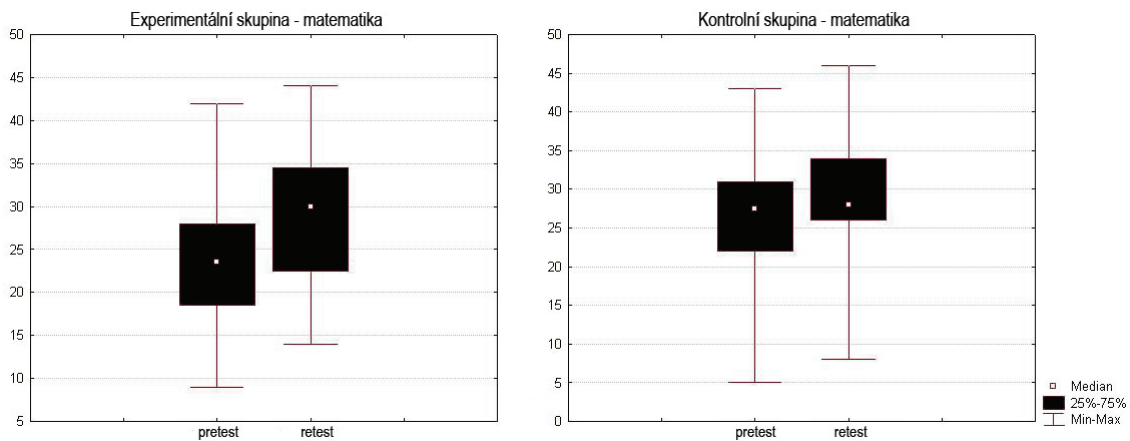
Korelace uvedené v tabulce 2 jsou všechny statisticky významné. Jak v případě matematických schopností, tak v případě inteligence byla nalezena vyšší korelace s konceptem pracovní paměti než s konceptem paměti krátkodobé. Zároveň byly nalezeny vyšší korelace se zrakovou pamětí než s pamětí auditorní. Potvrdil se tedy náš předpoklad vztahu vyšších poznávacích procesů a zrakové pracovní paměti, na kterém byl postaven tréninkový program.

Výzkumu, který byl zaměřen na možnosti tréninku vyšších poznávacích funkcí, se zúčastnilo celkem 44 dětí, z toho 28 chlapců a 16 dívek. Rozdíly mezi chlapci a dívkami nebyly statisticky významné. Experimentální skupina byla tvořena 27 dětmi, zbytek dětí byl zařazen do neaktivní kontrolní skupiny. V pretestové fázi nebyly nalezeny signifikantní rozdíly mezi tréninkovou a kontrolní skupinou v žádné ze sledovaných oblastí (paměť, inteligence, matematické schopnosti). Následovala tréninková fáze, ve které se experimentální skupina zúčastnila našeho 400 minutového počítačového tréninku pracovní paměti. Po této fázi podstoupily obě skupiny retest. Retestové úlohy byly analogické k úlohám pretestovým, nebyly s nimi však totožné.

V experimentální skupině bylo nalezeno signifikantní zlepšení v subtestu měřícím zrakově prostorovou pracovní paměť (subtest *Paměť na korálky*). V ostatních paměťových zkouškách nebylo zlepšení prokázáno. Zároveň bylo ukázáno signifikantní zlepšení v experimentální skupině mezi pretestem a retestem a to jak v oblasti inteligence (obrázek 3), tak v oblasti matematiky (obrázek 4). V kontrolní skupině k žádnému signifikantnímu zlepšení nedošlo.



Obrázek 3. Rozdíly v oblasti IQ mezi pretestem a retestem v experimentální a v kontrolní skupině.



Obrázek 4: Rozdíly v oblasti matematických dovedností mezi pretestem a retestem v experimentální a v kontrolní skupině.

Z výsledků tedy vyplývá, že námi navržený počítačový program určený k tréninku pracovní paměti je funkční. Dále bylo ukázáno, že zlepšení v oblasti zrakově prostorové pracovní paměti vedlo k transferu do oblasti vyšších poznávacích procesů. Lze tedy říci, že pomocí tréninku pracovní paměti je možné rozvíjet jak oblast inteligence, tak oblast matematických dovedností. Zlepšení v oblasti matematických dovedností bylo dokonce vyšší než zlepšení v oblasti inteligence. Překvapivě nedošlo k transferickému zlepšení do dalších paměťových subsystemů.

4 Závěr a diskuze

Korelační analýza ukázala vztah paměťových funkcí a vyšších poznávacích procesů. Tato zjištění jsou v souladu se současnou neuropsychologickou literaturou. Nejvlivnější z pamětí se ukázala paměť zrakově prostorová. Volba tréninkového programu založeného na rozvoji zrakově prostorové pracovní paměti byla tedy správná. Byla nalezena vysoká korelace mezi inteligencí a pracovní pamětí. Vztah mezi matematickými schopnostmi a pracovní pamětí byl rovněž signifikantní, ale celkově o něco nižší. Tyto poznatky odpovídají neuropsychologickým předpokladům znázorněným na obrázku 1 (viz výše).

Bylo ukázáno, že pomocí tréninku pracovní paměti je možné rozvíjet vyšší poznávací procesy. Byla tedy potvrzena zjištění autorů zabývajících se touto problematikou (Klingberg et al., 2002, 2005; Thorell et al., 2009; Olesen et al., 2004; Holmes, 2009; Holmes et al., 2010; Jeaggi et al., 2008; Nutley et al., 2011). V oblasti paměti došlo k signifikantnímu zlepšení pouze v oblasti zrakově prostorové pracovní paměti. Tato zjištění poukazují tedy spíše k rozdělenosti pracovní paměti na složku zrakovou a auditorní. Stojí tedy blíže modelu Baddeleyho a Hitcha (Baddeley, 2000), nežli Cowanově modelu (Cowan, 2001). Náš výsledek je tedy v rozporu se zjištěním Holmese (2009), který prokázal signifikantní transfer do všech paměťových oblastí. Holmesův trénink byl ale téměř o polovinu delší. Je tedy možné, že k transferu do dalších paměťových oblastí je třeba delšího tréninku. Ač takovýto závěr může znít překvapivě, poukazují k němu i závěry korelační analýzy, kde byl ukázán vyšší vztah mezi zrakově prostorovou pracovní pamětí a inteligencí, než mezi zrakově prostorovou pracovní pamětí a pracovní pamětí auditorní.

Transferické zlepšení v oblasti matematických dovedností bylo dokonce vyšší než zlepšení v oblasti inteligence. Nové znalosti žáků do hry zřejmě vstupovat nemohly, jelikož kontrolní skupina žádné takové signifikantní zlepšení neukazovala. Tento výsledek je tedy do jisté míry v rozporu jak s korelační analýzou, tak se schématem vztahu pracovní paměti a vyšších poznávacích procesů znázorněných na obrázku 1 (viz výše). Podle dřívějších zjištění bychom totiž předpokládali vyšší zlepšení v oblasti inteligence nežli v oblasti matematických dovedností.

Oblast matematických dovedností je tedy možné rozvíjet pomocí programů určených k tréninku pracovní paměti. V budoucnu by bylo zajímavé vyzkoušet tréninkový program u dětí, které mají matematické schopnosti oslabené. Ukazuje se totiž, že tyto děti mívají horší i kapacitu krátkodobé paměti (Alloway, 2009). Některé studie zároveň naznačují (Jaeggi et al., 2008; Páchová, 2010), že zisk z tréninku je u skupin osob s nižší vstupní úrovní vyšší. U dětí s oslabenými matematickými schopnostmi by tedy program mohl přispět k řešení jejich problémů.

Literatura

- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92–98.
- Ansari, D. (2007). Does the parietal cortex distinguish between “10,” “ten,” and ten dots? *Neuron*, 53(18), 165–167.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, (4), 417–423.
- Cohen Kadosh, R., Cohen Kadosh, K., Kaas, A., Henik, A., & Goebel, R. (2007). Notation-dependent and -independent representations of numbers in the parietal lobes. *Neuron*, 53, 307–314.
- Colom, R., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2006). Finding the g-factor in brainstructure using the method of correlated vectors. *Intelligence*, 34, 561–570.
- Colom, R., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). General intelligence and memory span: Evidence for a common neuroanatomic framework. *Cognitive Neuropsychology*, 24, 867–878.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87–114.
- Diester, I., & Nieder, A. (2007). Semantic associations between signs and numerical categories in the prefrontal cortex. *PLoS Biol.*, 5, 288–294.
- Holmes, J. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Dev. Sci.* (12), 9–15.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hinton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Appl. Cognit. Psychol.* 24, 827–836.
- Chein, J. M., Moore, A. B., & Conway, A. R. A. (2011). Domain-general mechanisms of complex working memory span. *NeuroImage*, 54, 550–559.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc Natl Acad Sci*, 105, 6829–33.
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences*. 30, 135–187.

- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-791.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., & Dahlstrom, K. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD – a randomized, controlled trial. *JAmAcad ChildAdolesc Psychiatry*, 44(2), 177–86.
- Kopeček, M. (2005). Mapování funkcí lidského mozku včera a dnes. *Sanquis*, 38, 26-29.
- Kristofferson, M. W. (1972). Effects of practice on character-classification performance. *Canadian Journal of Psychology*, 26, 54–60.
- Lee, K., Lim, Z. Y., Yeong, S. H. M., Ng, S. F., Venkatraman, V., & Chee, M. W. L. (2007). Strategic differences in algebraic problem solving: Neuroanatomical correlates. *Brain Research*, 1155, 163–171.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Morisson, A. B., & Chein, J. A. (2010) Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychon Bull Rev*, 18, 46 – 60.
- Nutley, B., Soderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L. B, Humphreys K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. *Developmental Science*, 14(3), 591–601.
- Olesen, P.J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal Aktivita after training of working memory. *Nat Neurosci*, 7, 75–79.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46–59.
- Páchová, A. (2010). *Učitelnost progresivních matic: srovnání českých a romských žáků*. Nепublikovaná diplomová práce. Univerzita Karlova, Česká Republika.
- Páchová, A., & Štumpf, O. (2012). Paměť příliš podceňovaná. In M. Dolejš a kol. (Eds.), *PhD existence II*. (pp.100-109). Olomouc: UP Olomouc.
- Phillips, C. J., & Nettelbeck, T. (1984). Effects of practice on recognition memory of mildly mentally retarded adults. *American Journal of Mental Deficiency*, 88, 678–687.
- Polk, T. A., Reed, C. L., Keenan, J. M., Hogarth, P., & Anderson, C. A. (2001). A dissociation between symbolic number knowledge and analogue magnitude information. *Brain Cogn*, 47, 545–563.
- Raven, J. C, Raven, J. E, & Court, J. H. (1998). *Progressive matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Schmithorst, V. J., & Holland, S. K. (2006). Functional MRI evidence for disparate developmental processes underlying intelligence in boys and girls. *NeuroImage*, 31, 1366 –1379.
- Thorell, L., Lindqvist, S., Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106-113.
- Thorndike, R. L., Hagen, E. P., & Sattler, M. (1986). *Stanford-Binet Intelligence Scale: Fourth Edition*. Chicago: Riverside.
- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3, 255–274.

Kontakt

Mgr. Anna Páchová
Katedra psychologie
PedF UK
M. D. Rettigové 4
116 39 Praha 1
annapachova@gmail.com