



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0570

Kognitívne a mozgové mechanizmy sémantického spracovania informácií

Zodpovedný riešiteľ **MUDr. Igor Riečanský, PhD.**

Príjemca

Centrum experimentálnej medicíny SAV, v. v. i. - Ústav normálnej a patologickej fyziológie

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Centrum experimentálnej medicíny SAV, v.v.i.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Univerzita Viedeň, Rakúsko

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Výsledkami projektu nie sú patenty, patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

MARKO, Martin - RIEČANSKÝ, Igor. The left prefrontal cortex supports inhibitory processing during semantic memory retrieval. In *Cortex*, 2021, vol. 134, p. 296-306. (2020: 4.027 - IF, Q1 - JCR, 1.786 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 0010-9452. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.11.001>

MARKO, Martin - RIEČANSKÝ, Igor. The structure of semantic representation shapes controlled semantic retrieval. In *Memory*, 2021, vol. 29, no. 4, p. 538-546. (2020: 2.090 - IF, Q3 - JCR, 0.948 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 0965-8211. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/09658211.2021.1906905>

MARKO, Martin - MICHALKO, Drahomír - DRAGAŠEK, Jozef - VANČOVÁ, Zuzana - JARČUŠKOVÁ, Dominika - RIEČANSKÝ, Igor. Assessment of automatic and controlled retrieval using verbal fluency tasks. In *Assessment*, 2023, vol. 30, no. 7, p. 2198-2211. (2022: 3.8 - IF, Q2 - JCR, 1.57 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 1073-1911. DOI: <https://doi.org/10.1177/10731911221117512>.

MARKO, Martin - RIEČANSKÝ, Igor. Differential effects of executive load on automatic versus controlled semantic memory retrieval. In *Memory and Cognition*, 2023, vol. 51, p. 1145-1158. (2022: 2.4 - IF, Q2 - JCR, 1.025 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 0090-502X. Dostupné na: <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01388-x>

PETRÍKOVÁ, Dominika - MARKO, Martin - ROVNÝ, Rastislav - RIEČANSKÝ, Igor. Electrical stimulation of the cerebellum facilitates automatic but not controlled word retrieval. In *Brain Structure and Function*, 2023, vol. 228, no. 9, p. 2137-2146. (2022: 3.1 - IF, Q1 - JCR, 1.168 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 1863-2653. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s00429-023-02712-0>

MARKO, Martin - MICHALKO, Drahomír - KUBINEC, Adam - RIEČANSKÝ, Igor. Measuring semantic memory using associative and dissociative retrieval tasks. In *Royal Society Open Science*, 2024, vol. 11, no., art. no. 231208. (2023: 2.9 - IF, Q1 - JCR, 0.787 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 2054-5703. Dostupné na: <https://doi.org/10.1098/rsos.231208>

Uplatnenie výsledkov projektu

Projekt priniesol nové poznatky o kognitívnych a neurofyziológických mechanizmoch sémantickej kognície. Výsledky projektu sú významné z hľadiska základných poznatkov o ľudskej mysli a mozgu a môžu byť využité v aplikovanom a klinickom výskume v klinickej psychológii, neurológii a psychiatrii. Nami vytvorené testové paradigmy (ACT, ADT) ponúkajú teoreticky plauzibilný a metodicky sofistikovaný prístup, ktorý môže nájsť široké uplatnenie pri posudzovaní lexikálno-sémantických funkcií u neurotypických ako aj neurodivergentných jedincov (metodický prínos). Vďaka schopnosti postihnúť funkčnosť rôznych konceptuálnych (pamäťových a exekutívnych) procesov súčasne majú metodiky ACT a ADT potenciál priniesť hlbší vhľad do komplexnej architektúry ľudského myslenia, a tak inšpirovať nové modely a trendy v kognitívnej neurovede (teoretický impakt). Jednoduchosť a tvárnosť týchto metód ďalej umožňuje ich flexibilnú kombináciu s pokročilejšími elektrofyziologickými, neurovizuálnymi a neurostimulačnými metódami, ako aj počítačnými prístupmi, ktoré simulujú kognitívne fenomény „in-silico“. Týmto spôsobom je možné prepájať rôzne vedné oblasti, a tak hlbšie porozumieť vzťahom medzi myslou a mozgom človeka (interdisciplinarita). Nami vyvinuté metodiky spĺňajú najvyššie psychometrické štandardy, a preto z ich uplatnenia môže benefitovať klinický výskum a prax. Vďaka širšej ponuke behaviorálnych indexov môžu nadobudnúť uplatnenie v diferenciálnej diagnostike a kvantitatívnom hodnotení štruktúry deficitov, ktoré súvisia s narušením sémantických funkcií (klinický impakt). Nadobudnuté poznatky o interfunkčných vzťahoch medzi doménovo-všeobecnými a sémantickými mechanizmami kontroly, môžu viesť k presnejšej charakteristike primárnej príčiny deficitov u pacientov s narušenými mnestickými a exekutívnymi funkciami. Vďaka tomu bude v budúcnosti možné lepšie špecifikovať účinné postupy (napr. kognitívne tréningy) s účelom zmiernenia alebo kompenzácie sémantických deficitov (behaviorálne intervencie). Výsledky neurostimulačných štúdií otvárajú možnosti smerujúce k zlepšeniu neuropsychologickej diagnostiky pacientov (napr. v súvislosti s traumou mozgu, cievnou mozgovou príhodou, alebo progresom neurodegeneratívnych ochorení) ako aj účinnosti terapeutických postupov s cieľom povzbudiť narušené lexikálno-sémantické a jazykové funkcie (neurostimulačné intervencie).

Realizácia projektu priniesla dopad aj v širšej perspektíve, zahŕňajúcej profesný rozvoj členov riešiteľského kolektívu, rozvoj domácich vedeckých inštitúcií a propagáciu vedy na Slovensku. Na projekte participovalo niekoľko doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov, ktorí získali hodnotné skúsenosti a expertízu v oblasti behaviorálnej neurovedy (rozvoj mladých vedeckých pracovníkov). V súvislosti s riešením projektu viedli členovia riešiteľského kolektívu množstvo záverečných študentských prác (bakalárskych, diplomových, a dizertačných), zastrešovali študentskú prax a stáže a realizovali odborné semináre pre študentov (edukačný prínos). Prácou na projekte sme navyše značne prispeli k diseminácii výsledkov smerom širšej verejnosti zrozumiteľným spôsobom na viacerých popularizačných podujatiach (popularizácia vedy). V neposlednom rade je potrebné upozorniť aj na skutočnosť, že veľké množstvo výstupov projektu bolo publikovaných s otvoreným prístupom, pričom dáta, programový kód a implementované metodiky boli uložené na repozitóriá s voľným prístupom (podpora otvorenej vedy). Napokon, výsledky projektu nás motivovali k podaniu viacerých nových výskumných projektov, ktoré boli príslušnými komisiami vysoko hodnotené a napokon úspešné.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Vytvorili a optimalizovali sme vysoko reliabilné a validné neuropsychologické paradigmy hodnotenia sémantickej kognície – asociačný reťazový test (association chain test, ACT) a asociačno-disociačný test (ADT). Tieto behaviorálne paradigmy prekonávajú nedostatky štandardných testov (napr. testy verbálnej fluencie), ktoré sa notoricky využívajú vo výskumnej a klinickej praxi. Naše nové metodiky majú množstvo dôležitých výhod, pričom tá najdôležitejšia spočíva v schopnosti diferencovať rôzne automatické (napr. sémantická aktivácia, efektívnosť šírenia informácií v sémantickej sieti a asociatívne reťazenie) a kontrolované procesy (napr. interferenčná kontrola, proaktívna inhibícia, retroaktívna supresia intrúzií alebo selektívnosť), ktoré riadia vyhľadávanie pojmov. V sérii behaviorálnych experimentov, v ktorej sme integrovali ACT a ADT so záťažovými a interferenčnými paradigmami, sme následne preukázali kauzálne zapojenie všeobecných exekutívnych funkcií (pracovná pamäť, exekutívna pozornosť a mentálna flexibilita) v riadení sémantického vyhľadávania. Pomocou týchto experimentov sme splnili cieľ detailne preskúmať funkčné vzťahy medzi supradoménovými (všeobecnými) a doménovo-súhrnnými (sémantickými) mechanizmami kontroly. Cieľ odhaliť vzťah medzi štruktúrnymi a procesnými aspektami sémantického vyhľadávania sme naplnili prostredníctvom modelovania a analýzy komplexných sietí. Tento prístup priniesol kľúčové poznatky, ktoré poukazujú na skutočnosť, že organizácia konceptuálnych štruktúr podmieňuje dynamiku a štruktúru procesu vyhľadávania pojmov v sémantickej pamäti, ako aj mieru zapojenia špecifických kontrolných mechanizmov, ktoré ho usmerňujú. Dôležitým cieľom projektu bolo preskúmať oblasti a funkčné okruhy mozgu, ktoré sa kauzálne podieľajú na vybavovaní informácií zo sémantickej pamäti. Tento cieľ sme naplnili prostredníctvom neurostimulačných štúdií, ktoré spoločne poukázali na komplementárnu úlohu prefrontálnej kôry, ktorá podmieňuje efektívnosť proaktívnej sémantickej kontroly (t. j. bráni vniknutiu rušivých konceptuálnych obsahov do centra pozornosti), a mozočka, ktorý naopak podporuje automatické vybavovanie pojmov (t. j. usmerňovanie vyhľadávania podľa zaužívaných/habituálnych konceptuálnych štruktúr).

Publikačným výstupom projektu je doteraz 10 prác publikovaných in extenso v recenzovaných časopisoch registrovaných v databáze WOS (viaceré z nich v Q1). Vo všetkých týchto publikáciách bol prvý alebo korešpondujúci autor členom riešiteľského kolektívu tohto projektu. Doterajší počet citácií na tieto práce vo WOS (bez autocitácií) je 24 a citácie sú aj v článkoch publikovaných v prestížnych vedeckých časopisoch s najvyšším rankingom (PNAS, Trends in Cognitive Sciences, Behavior Research Methods). Môžeme teda zhodnotiť, že projekt bol úspešný. Prostredníctvom interdisciplinárneho prístupu, ktorý kombinuje súčasné trendy v psychometrike, experimentálnej psychológii a neurovede, sme odhalili viaceré dôležité kognitívne a nervové mechanizmy, ktoré podmieňujú unikátnu kapacitu človeka, čím je pojmové myslenie.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

We created and optimized highly reliable and valid neuropsychological paradigms for the assessment of semantic cognition - the association chain test (ACT) and the association-dissociation test (ADT). These behavioral paradigms overcome the shortcomings of standard tests (e.g., verbal fluency tests) that are notoriously used in research and clinical practice. Our new methodologies have a number of important advantages, the most important of which is the ability to differentiate between different automatic (e.g., semantic activation, information propagation efficiency in the semantic network, and associative chaining) and controlled processes (e.g., interference control, proactive inhibition, retroactive intrusion suppression, or selectivity), which control semantic memory search. In a series of behavioral experiments, in which we integrated ACT and ADT with load and interference paradigms, we subsequently demonstrated the causal involvement of general executive functions (working memory, executive attention, and mental flexibility) in the control of semantic retrieval. With these experiments, we fulfilled the goal of examining in detail the functional relationships between domain-general and domain-specific (semantic) control mechanisms. We achieved the goal to reveal the relationship between structural and processing aspects of semantic search through the modeling and analysis of complex

networks. This approach has yielded the key findings that point to the fact that the organization of conceptual structures governs the dynamics and structure of the process of searching for concepts in semantic memory, as well as the degree of involvement of specific control mechanisms that guide the search. An important goal of the project was to investigate the areas and functional circuits of the brain that are causally involved in retrieving information from semantic memory. We fulfilled this goal through neurostimulation studies which pointed to the complementary role of the prefrontal cortex, which regulates the effectiveness of proactive semantic control (i.e., prevents the intrusion of distracting conceptual contents into the spotlight of attention), and the cerebellum, which, on the contrary, supports the automatic recall of concepts (i.e., guides the search according to pre-potent/habitual conceptual structures).

The publication output of the project so far involves 10 full-length papers published in peer-reviewed journals registered in the database WOS (several of them in Q1). In all these publications, the first or corresponding author was a member of the project team. The number of citations to these works in WOS (without self-citations) so far is 24, and the citations also appeared in articles published in prestigious scientific journals with the highest ranking (PNAS, Trends in Cognitive Sciences, Behavior Research Methods). We thus evaluate the project as successful. Through an interdisciplinary approach that combines psychometrics, experimental psychology, and neuroscience, we have uncovered several important cognitive and neural mechanisms that underlie the unique human capacity of conceptual thinking.