

DOI: <https://doi.org/10.54937/ssf.2025.24.3.28-38>

Neurofyziologické mechanizmy pamäťových a učebných procesov

Neurophysiological Mechanisms of Memory and Learning Processes

Tomáš Jablonský, Mária Hrobková

Abstract

In our contribution, we focus on the neurophysiological mechanisms of memory and learning processes, which represent the fundamental biological principles of how memory and learning function in the brain. We supplement this with significant empirical findings in the field to provide a deeper insight into the aspects influencing these processes. We present a mutually enriching approach that supports the practical application of scientific knowledge while also stimulating the development of new, innovative learning strategies.

Keywords: Hippocampus. Amygdala. Prefrontal cortex. Neural network. Neurotransmitters. Neuroplasticity.

Úvod

Porozumenie neurofyziologickým mechanizmom pamäti a učenia predstavuje fundamentálny predpoklad pre optimalizáciu pedagogických prístupov. Súčasný neurovedecký výskum poskytuje významné poznatky o kognitívnych a synaptických procesoch, prostredníctvom ktorých mozog kóduje, konsoliduje a vybavuje si informácie, ako aj o jeho schopnosti adaptívne reagovať na nové stimuly. Tieto zistenia zásadne prispievajú k hlbšiemu pochopeniu dynamiky učenia a jeho biologických základov. Doktor Charles Limb, M.D. z Katedry vzdelávania na Johns Hopkins University v Baltimore zastáva názor, že prepojenie učenia a neurovied predstavuje dynamickú interakciu, ktorá umožňuje efektívne využitie vedeckých poznatkov v praxi a zároveň podporuje inovatívny rozvoj učebných stratégií (Cárová). Napriek nespochybniteľnému významu spolupráce medzi vedcami a učiteľmi sa zdá, že toto obohacujúce prepojenie zatiaľ nie je považované za prirodzenú súčasť vzdelávacieho procesu. Hoci by integrácia vedeckých poznatkov do pedagogickej praxe mohla výrazne zlepšiť efektivitu vyučovania a podporiť rozvoj inteligencie u žiakov, toto spojenie stále nie je dostatočne využívané

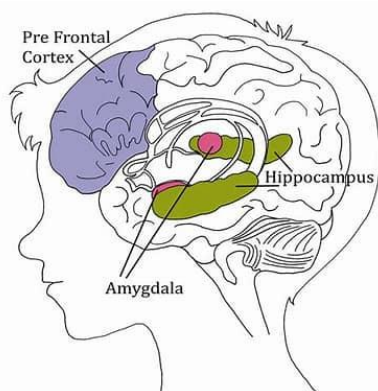
ani oceňované v každodennej školskej realite. Aby sa však tieto možnosti využili naplno, je potrebné prepojiť teoretické poznatky o fungovaní mozgu s praktickými metódami vyučovania. Keď učitelia porozumejú tomu, ako mozog spracúva, rozoznáva a uchováva informácie, môžu tieto poznatky efektívne využiť pri výučbe. Týmto spôsobom sa zlepši nielen ich prístup k vyučovaniu, ale aj schopnosť žiakov osvojiť si nové vedomosti.

Schopnosť učiť sa a rozpomätať sa na naučené informácie je jednou z najdôležitejších funkcií ľudského mozgu. Mozog nie je nikdy pevne daný, ale pokračuje v zmene učením a skúsenosťami počas celého života. Vývoj ľudského mozgu ako centra kognitívnych, asociatívnych a pamäťových funkcií, ktoré determinujú procesy učenia sa jedinca, je z veľkej časti dokončený už v rámci prenatálneho vývoja jedinca (Škoda, Doulik, 2011). Po narodení dochádza k ďalšiemu vývoju a prepojeniu nervových buniek, čím sa vytvára primárna neurónová sieť. Táto sieť je základom pre kognitívne a asociačné procesy jedinca.

Neurofyziologické základy pamäti a učenia sú komplexné a zahŕňajú rôzne mechanizmy a štruktúry v mozgu. Medzi kľúčové aspekty patria: štruktúry mozgu – hipokampus, amygdala, prefrontálna kôra a mechanizmy mozgu – neurónová sieť, neurotransmitery a neuroplasticita. Najprv si rozoberieme štruktúry mozgu, pretože poskytujú fyzický základ pre procesy učenia, pamäti a potom prejdeme k mechanizmom mozgu, ktoré opisujú dynamiku učenia a uchovávanie informácií. Zároveň budeme dopĺňať relevantné výskumy z tejto oblasti, aby sme získali hlbší pohľad na procesy, ktoré ovplyvňujú učenie a pamäť.

Štruktúry mozgu zapojené do procesu pamäti a učenia

Ľudský mozog predstavuje vysoko komplexný systém zložený z viacerých funkčne špecializovaných oblastí. V rámci tejto štúdie sa však zameriavame na tri kľúčové neuroanatomické štruktúry – hipokampus, amygdalu a prefrontálnu kôru, ktoré zohrávajú zásadnú úlohu v integrácii neurokognitívnych procesov, najmä v súvislosti s učením, konsolidáciou pamäťových sŕôp a rozhodovacím správaním.



Obr. 1: Štruktúry mozgu zapojené do procesu pamäti a učenia
Zdroj: <https://teachpeaceofmind.org/research/>

Limbický systém zahŕňa mozgové štruktúry, ktoré sú primárne spojené s emóciami, pamäťou a motiváciou. Amygdala a hipokampus sú jeho dôležitými súčasťami, pretože súvisia s pamäťou, učením a emocionálnou reguláciou.

Amygdala sa nachádza hlboko v temporálnom laloku mozgu. Aktivita amygdaly pri ukladaní aj vyvolávaní emocionálnych podnetov naznačuje, že amygdala zohráva dôležitú úlohu aj pri posilnení pamäti na emocionálne udalosti (Phelps, Anderson, 1997). Okrem emocionálnej regulácie amygdala ovplyvňuje aj fyziologické reakcie organizmu na stresové situácie. Pri dlhodobom vystavení stresu môže nadmerná aktivita amygdaly prispieť k vzniku úzkostných porúch a posttraumatickej stresovej poruchy. Keď sa mozog ocitne v stave stresu, frustrácie alebo dokonca nudy, amygdala sa sústreďí na spracovanie pocitov úzkosti. V dôsledku toho sú informácie presmerované do najstaršej, vývinovo primárnej časti mozgu. Výsledkom sú základné reakcie, ktoré súvisia s prežitím: boj, útek alebo zamrznutie. Amygdala ovplyvňuje aj agresiu, impulzívne správanie a schopnosť učiť sa prostredníctvom odmienu a trestov. Zohráva úlohu v sociálnej komunikácii, empatii a interpretácii výrazov tváre a ovplyvňuje naučené správanie spojené so závislosťou (Borník, 2024). Amygdala spolupracuje s hipokampom pri ukladaní emocionálnych spomienok, s orbitofrontálnou kôrou pri učení sa na základe odmienu, trestov a s prefrontálnou kôrou pri regulácii impulzívneho správania.

Výskumy naznačujú, že činnosť amygdaly je možné ovplyvniť prostredníctvom behaviorálnej terapie, meditácie alebo fyzickej aktivity. Zníženie nadmernej aktivity tejto štruktúry môže pomôcť pri liečbe emocionálnych a impulzívnych reakcií, čím sa zlepšuje schopnosť učenia sa, zvládanie stresu a celková emocionálna stabilita.

Hipokampus sa nachádza vo vnútornej oblasti temporálneho laloku. Je súčasťou limbického systému, ktorý je obzvlášť dôležitý pri regulácii emocionálnych reakcií. Anatómia hipokampu je zásadná pre jeho funkciu.

Jeho štruktúra v tvare morského koníka umožňuje efektívne prepojenie s inými časťami mozgu, ako sú amygdala a prefrontálna kôra, čím ovplyvňuje emocionálne reakcie a rozhodovanie. Hipokampus prijíma podnety a odosiela signály do zvyšku mozgu prostredníctvom entorhinálnej kôry, ktorá sa nachádza pod prednou oblasťou hipokampu (Yassa, 2025). Hipokampus zohráva hlavnú úlohu pri ukladaní dlhodobej pamäti a pri jej odolnosti voči zabudnutiu. Okrem toho, hipokampus plní dôležitú funkciu pri priestorovom spracovaní a navigácii. Táto štruktúra ovplyvňuje aj reguláciu emócií, zvládanie stresu a emocionálne reakcie, pričom má vplyv na prežívanie zážitkov a ich spracovanie v nervovom systéme. Hipokampus je tiež zapojený do úlekovej reakcie, ktorá predstavuje automatickú odpoveď organizmu na náhle podnety. Spolu s amygdalou moduluje reakcie na nečakané zvuky a podnety, pričom jeho poškodenie môže viesť k zvýšenej citlivosti na stresové situácie (Holmannová, 2019). Aktivita, ako sú cvičenie a mentálna stimulácia, môžu podporiť rast hipokampu, čím sa zvýšia kognitívne schopnosti. Mozog teda premieňa údaje zo zmyslov na informácie v časti mozgu zvanej hipokampus, ktorá hrá dôležitú úlohu pri tvorbe nových spomienok a zapamätaní si nových informácií.

Podľa nedávneho výskumu vzniká v hipokampe až 700 nových neurónov za jediný deň. Ako nové pribúdajú, staré odumierajú. Tento neustály proces obnovy znamená, že v päťdesiatom roku života už má človek úplne odlišnú štruktúru neurónov, než akú mal pri narodení. Ide o významný objav, ktorý zásadne mení naše chápanie fungovania mozgu (Procházková, 2016).

Prefrontálna kôra (PFC) pokrýva prednú časť čelového laloku mozgovej kôry. Prefrontálna kôra sa označuje za centrum osobnosti v ľudskom mozgu (Sarı, Erbaş, 2022). Je spojená s limbickým systémom len malým počtom spojení, no napriek tomu má veľký vplyv na emočné správanie a, naopak, emócie ovplyvňujú činnosť mozgovej kôry.

Prefrontálna kôra je prepojená s mnohými ďalšími časťami mozgu a je schopná odosielať a prijímať informácie. Je rozdelená na tieto dve časti (Bandoim, 2023):

- Mediálny PFC (mPFC) – podieľa sa na sebauvedomení, pamäti a emocionálnom spracovaní,
- Laterálny PFC (lPFC) – podieľa sa na senzorickom spracovaní, motorickej kontrole a monitorovaní výkonu.

Prefrontálna kôra dokáže produkovať kogníciu, ktorá je analytická, konceptuálna, interpretatívna a komplexná. Je schopná premýšľať veci do hĺbky a chápať dôvody udalostí, ich významy a ich dôsledky pre budúcnosť (Shapiro, 2021). Arain (2013) uvádza, že prefrontálny kortex sa podieľa na mnohých mozgových funkciách. Jednou z najdôležitejších je výkonná funkcia, čo je schopnosť sebaregulácie a plánovania dopredu. Príklady výkonných funkcií sú: kontrola správania a impulzov, odkladanie okamžitého uspokojenia, regulácia emócií, plánovanie, rozhodovanie, riešenie problémov, stanovovanie dlhodobých cieľov, vyvažovanie krátkodobých odmien s budúcimi cieľmi,

zmena správania pri zmene situácií, predvídanie dôsledkov svojho správania, schopnosť zohľadniť viacero prúdov informácií, schopnosť sústrediť svoju pozornosť.

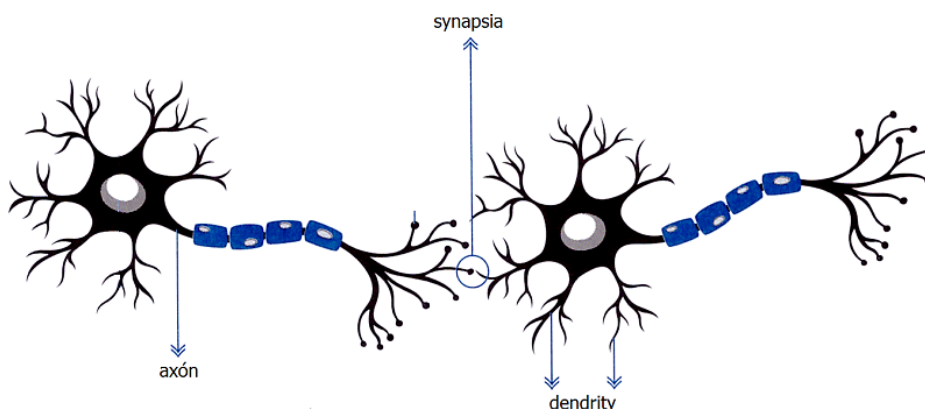
Výskumy ukázali, že prefrontálna kôra je nadradená nielen druhotným častiam motorickej oblasti, ale aj všetkým ostatným mozgovým štruktúram (Hvizdošová, 2016). Prefrontálna kôra dozrieva až do veku približne 20 – 25 rokov. To vysvetľuje, prečo dospievajúci často konajú impulzívne a majú problémy s kontrolou správania. Výskumy naznačujú, že jej úplný vývoj je nevyhnutný pre schopnosť robiť zložité rozhodnutia.

Funkcia prefrontálneho kortexu je, aspoň do značnej miery, racionálna a logická. Funkcia limbického systému je ovládaná emóciami. Tieto dve časti mozgu spolupracujú pri rozhodovaní, pričom emócie môžu ovplyvniť logiku a, naopak, racionálne myslenie môže regulovať emocionálne reakcie.

Mechanizmy mozgu zapojené do procesu učenia a pamäti

Pre hlbšie pochopenie procesov učenia a pamäti sa budeme venovať mechanizmom mozgu, ako sú neurónová sieť, neurotransmitery a neuroplasticita, ktoré ich významne ovplyvňujú.

Neurónová sieť v mozgu je tvorená z neurónov. Neurón predstavuje základnú stavebnú jednotku nervovej sústavy. Ľudský mozog obsahuje približne 10^{12} neurónov, ktoré sú jeho základnými stavebnými jednotkami. Neurón sa skladá z tela bunky a výbežkov, ktoré zabezpečujú prenos informácií. Výbežky sa delia na tie, ktoré vedú vzruch do neurónu a nazývajú sa dendrity, a môžu byť dlhé aj 1 m. Axón, ktorý je spravidla jeden, prenáša vzruchy smerom do periférie. Prostredníctvom synapsíí prebieha komunikácia medzi neurónmi, pričom ich prepojenie vedie k vzniku neurónových sietí, ktoré zabezpečujú efektívne spracovanie informácií v mozgu (Ódor, 2022).



Obr. 2: Základná schéma fungovania neurónov

Zdroj: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/9934/ako-pracuje-mozog-z-coho-je-zlozeny-neurony-synapsie-axon-dendrity-neurona-siet>

Vedci zistili, že neuróny venujú maximálne 50 % svojej aktivity osobným úlohám, zatiaľ čo zvyšok slúži na kolektívnu spoluprácu, ktorá umožňuje fungovanie mozgu (Dúriačová, 2024).

Vedci sledovali aktivitu neurónov počas spánku a zistili, že mozog aktívne formuje nové pamäťové siete. Tento proces hrá zásadnú úlohu pri organizácii informácií a ich efektívnom uchovávaní. Spánok pomáha mozgu ukladať spomienky a pripravovať sa na nové informácie. Pomalý vlnový spánok (SWS) upevňuje čerstvé spomienky tým, že ich „zapíše“ do dlhodobej pamäti. REM spánok následne pomáha tieto spomienky stabilizovať. (Janíková, 2015). Spánok nielenže pomáha upevňovať spomienky, ale aj pripravuje mozog na budúce udalosti.

Neurotransmitery sú chemické látky, ktoré prenášajú signály medzi neurónmi cez synapsy (Blažek, 2006). Zohrávajú kľúčovú úlohu pri regulácii nálady, učenia, pamäti a fyzických funkcií.

Niektoré z hlavných neurotransmiterov zahŕňujú:

- Glutamát – je excitačný neurotransmitter v centrálnom nervovom systéme, ktorý zohráva centrálnu úlohu v synaptickom prenose a plasticite. Je zapojený do procesov kritických pre funkciu mozgu, vrátane kognície, učenia a pamäti (Sessolo, 2004),
- GABA (kyselina gama-aminomaslová) – uvoľňovanie GABA a jeho následné účinky zohrávajú kľúčovú úlohu v regulácii rovnováhy medzi excitáciou a inhibíciou v nervovom systéme, ovplyvňujúc celkovú aktivitu neurónových okruhov (Karamitrou, 2004),
- Dopamín – zohráva kľúčovú úlohu v pamäti, učení, motivácii, spracovaní odmien a emocionálnej regulácii. Tento neurotransmitter ovplyvňuje motorickú kontrolu, sústredenie a pozornosť, pričom pomáha formovať nové návyky založené na odmenách a učenie sa zo skúseností. (Patarák, 2013). Jeho účinky však nefungujú izolovane – spolupracuje s ďalšími neurotransmitermi a hormónmi, ako sú serotonín a adrenalín, čím zabezpečuje komplexnú reguláciu mozgových funkcií,
- Serotonín – je dôležitý neurotransmitter s rôznymi receptormi a širokým spektrom účinkov na fyziologické procesy a kognitívne funkcie, vrátane spánku, učenia a pamäti (Vaseghi et al., 2022).

Vedci dosiahli niečo, čo sa dlho považovalo za takmer nemožné – spočítali molekuly neurotransmitera glutamátu, ktoré sa uvoľňujú pri prenose signálu medzi dvoma mozgovými bunkami. Pomocou novej metódy analýzy ukázali, že mozog reguluje svoje signály pomocou glutamátu viacerými spôsobmi, než sa doteraz predpokladalo. Transport a skladovanie glutamátu v synaptických vezikulách nie sú až tak odlišné v porovnaní s inými neurotransmitermi, ako sú serotonín a dopamín. Vedci tiež ukázali, že nervové bunky kontrolujú silu svojich chemických signálov regulovaním množstva glutamátu uvoľneného z jednotlivých synaptických vezikúl (Wang et al., 2019).

Vedci z Brown University zistili, že kyselina gama-aminomaslová (GABA) hrá kľúčovú úlohu pri učení u detí – jej koncentrácia sa po učení výrazne zvyšuje, čo umožňuje rýchlejšie fixovanie nových poznatkov (Zliechovský, 2023).

Štúdia zo Stanfordu naznačuje, že dopamín a serotonín pracujú v opozícii pri formovaní učenia a rozhodovania – dopamín podporuje správanie zamerané na odmenu, zatiaľ čo serotonín ho reguluje (Cardozo Pinto et al., 2025).

Neuroplasticita sa dá definovať ako schopnosť mozgu meniť sa, prestavovať a reorganizovať s cieľom lepšie sa prispôsobiť novým situáciám. (Demarin et al., 2014). Neuroplasticita je kľúčová pre učenie a pamäť. Umožňuje mozgu kódovať zážitky, učiť sa nové informácie a prispôbovať sa zraneniam reorganizáciou nervových dráh. Neuroplasticita je schopnosť mozgu meniť svoje spojenia v reakcii na osobné skúsenosti. Zmena prichádza v dvoch formách – nové nervové spojenia a pretváranie už existujúcich spojení (Pamplona, 2021). Zmeny v mozgu prebiehajú neustále, neuroplasticita zabezpečuje, že naše schopnosti, správanie a poznatky sa môžu v čase vyvíjať.

Kedysi bol zaužívaný názor, že po určitom veku sa mozog už nedokáže prispôsobiť, no moderné výskumy ukazujú, že neuroplasticita je aktívna počas celého života. Výskumy však ukázali, že práve mladé mozgy majú najvyššiu úroveň plasticity (Pamplona, 2021).

Jedným z najvýznamnejších mechanizmov neuroplasticity je synaptická plasticita, ktorá sa odohráva na mikroskopickej úrovni spojení medzi neurónmi. Synaptická plasticita konkrétne označuje modifikáciu sily alebo účinnosti synaptického prenosu, ktorá závisí od aktivity existujúcich synapsí. Už viac ako storočie sa predpokladá, že hrá kľúčovú úlohu pri schopnosti mozgu transformovať krátkodobé zážitky na trvalé pamäťové stopy (Citri, Malenka, 2008). Táto vlastnosť je dôležitá pre učenie, pamäť a adaptáciu mozgu na nové podnety.

Existujú dva hlavné typy synaptickej plasticity:

1. Dlhodobá potenciácia (LTP) – je proces, pri ktorom sa synapsy zosilňujú po opakovanom vystavení vysokofrekvenčným stimulom. Tento mechanizmus je považovaný za základ pre formovanie pamäti. Primárne sa vyskytuje v hipokampe, ale bola identifikovaná aj v iných oblastiach mozgu spojených s kognitívnymi funkciami (Romero-Barragán et al., 2022).
2. Dlhodobá depresia (LTD) – je proces, pri ktorom sa synapsy oslabujú po opakovanom vystavení nízko-frekvenčným stimulom. Tento mechanizmus umožňuje odstránenie nepotrebných spojení a je dôležitý pre synaptickú prispôboivosť a učenie. Tento mechanizmus je hlavne zodpovedný za odstránenie starých pamäťových stôp (Dharani, 2015).

V roku 1949 psychológ Donald Hebb vydal knihu *Organizácia správania*, kde vytvoril priekopnícku teóriu o neurálnych základoch učenia. Hebbovská teória učenia navrhuje, že učenie sa odohráva prostredníctvom zosilnenia synaptických spojení medzi neurónmi, ktoré sú aktívne súčasne. Základom teórie je, že keď sa náš mozog učí niečo nové, neuróny sa aktivujú a spájajú s inými neurónmi, čím vytvárajú neurónovú sieť. Tieto spojenia sú na začiatku slabé, ale zakaždým, keď sa podnet opakuje, sa spojenia stávajú silnejšími a silnejšími a činnosť sa stáva intuitívnejšou. Podľa Šveca (2025) najnovšie výskumy naznačujú, že daný princíp sa vzťahuje iba na určité synapsy. Iné časti toho istého neurónu sa totiž riadia úplne inými pravidlami a niektoré dokonca posilňujú alebo oslabujú svoje spojenia nezávisle od aktivity neurónu ako celku.

Neurónová sieť tvorí základ komunikácie v mozgu, pričom jednotlivé neuróny si vymieňajú signály prostredníctvom neurotransmiterov, ktoré ovplyvňujú prenos informácií a regulujú procesy učenia a pamäti. Neuroplasticita umožňuje mozgu adaptovať sa na nové podnety tým, že modifikuje spojenia medzi neurónmi, zatiaľ čo synaptická plasticita posilňuje alebo oslabuje konkrétne synaptické spojenia na základe skúseností. Spoločne tieto mechanizmy zabezpečujú efektívne učenie, ukladanie informácií a schopnosť mozgu reagovať na nové výzvy.

Záver

Napriek historicky zakoreneným predstavám o fixnej povahe ľudskej inteligencie, súčasné poznatky z oblasti neurovied potvrdzujú, že inteligencia nie je statickou danosťou. Hoci je čiastočne determinovaná genetickými faktormi, jej úroveň je modifikovateľná prostredníctvom skúseností a prostredia (Cárová). Mechanizmy a neuroanatomické štruktúry mozgu demonštrujú vysoký stupeň komplexnosti a vzájomnej prepojenosti procesov učenia a pamäti. Ich dynamická interakcia umožňuje efektívne kódovanie, konsolidáciu a vyvolávanie informácií v súlade s aktuálnymi potrebami organizmu. Navyše, neuroplasticita – schopnosť nervového systému meniť svoju štruktúru a funkciu ako odpoveď na vonkajšie podnety – je základom učenia sa novým zručnostiam a adaptácie na meniace sa podmienky prostredia.

Implementácia poznatkov neurovied do edukačného procesu poukazuje na vysokú efektivitu vyučovacích metód založených na princípoch aktívneho učenia. Empirické zistenia naznačujú, že keď pedagógovia disponujú porozumením neurokognitívnym mechanizmom spracovania informácií, sú schopní cielene aplikovať výučbové stratégie, ktoré podporujú dlhodobú retenciu a transfer vedomostí. Adekvátna integrácia týchto poznatkov do didaktickej praxe zároveň prispieva k rozvoju kognitívnych funkcií, ako sú kritické myslenie, tvorivosť a adaptabilita – schopnosti, ktoré nadobúdajú zásadný význam v kontexte rýchlo sa meniaceho sociálno-ekonomického prostredia 21. storočia.

V centre pedagogickej praxe tak nestojí len obsah výučby, ale aj spôsob jeho sprostredkovania. Porozumenie základným neurobiologickým princípom učenia umožňuje učiteľom efektívnejšie optimalizovať učebné prostredie, individualizovať prístup k žiakom a podporovať rozvoj ich intelektového potenciálu bez ohľadu na počiatočnú výkonnosť či kognitívne predpoklady.

Bibliografia

- Arain, M., Haque, M., Johal, L., Mathur, P., Nel, W., Rais, A., Sandhu, R., Sharma, S. (2013). Maturation of the adolescent brain. In: *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 9, s. 449-461. <https://doi.org/10.2147/NDT.S39776>
- Bandoim, L. (2023). *The Anatomy of the Prefrontal Cortex*. [online]. 2023. [cit. 2025.05.14.] Dostupné na internete: <https://www.verywellhealth.com/prefrontal-cortex-5220699>
- Blažek, V. (2006). *Základy neurofyziologie a neuroanatomie člověka*. Plzeň: Aleš Čeněk s.r.o, ISBN: 80-86898-63-6.
- Borník, D. (2024). *Amygdala – kde ji najdete a jaké má funkce?* [online]. 2024. [cit. 2025.05.05.] Dostupné na internete: <https://www.rehabilitace.info/lidske-telo/amygdala-kde-ji-najdete-a-jake-ma-funkce/>
- Cardozo Pinto, D.F., Pomrenze, M.B., Guo, M.Y., Touponse, G.C., Chen, A.P.F., Bentzley, B.S., Eshel, N., Malenka, R.C. (2025). Opponent control of reinforcement by striatal dopamine and serotonin. In: *Nature*. 639, s. 143-152. ISSN 0028-0836. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08412-x>
- Cárová, T. *Učitelia nevnímajú poznatky, ktoré prinášajú neurovedy. Čo všetko by sa mohli naučiť o učení?* [online]. [cit. 2025.05.10.] Dostupné na internete: <https://eduworld.sk/cd/tatiana-carova/3294/ucitelia-nevnimaju-poznatky-ktore-prinasaju-neurovedy-co-vsetko-by-sa-mohli-naucit-o-uceni>
- Citri, A., Malenka, R.C. (2008). Synaptic Plasticity: Multiple Forms, Functions, and Mechanisms. In: *Neuropsychopharmacology*. 33, s. 18-41. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301559>
- Demarin, V., Morovic, S., Béné, R. (2014). Neuroplasticity. In: *Periodicum biologorum*. 116(2), s. 209-211. ISSN 0031-5362.
- Dharani, K. (2015). *The Biology of Thought*. UK: Academic Press. ISBN 978-0-12-800900-0.
- Ďuriačová, S. (2024) *Neuróny pracujú ako vysoko organizovaný systém. Konečne odhalili, ako funguje mozog*. [online]. 2016. [cit. 2025.04.14.] Dostupné na internete: <https://fontech.startitup.sk/spravy/tajomstvo-mozgu-a-myslienok/>
- Holmanová, D. (2019). *Hipokampus*. [online]. 2019. [cit. 2025.05.14.] Dostupné na internete: <https://www.uzdravim.cz/hipokampus.html>

- Hvizdošová, N. (2016). *Anatomická a funkčná charakteristika prefrontálnej mozgovej kôry*. [online]. 2016. [cit. 2025.04. 14.] Dostupné na internete: <https://www.preveda.sk/prispevok/anatomicka-funkcna-charakteristika-prefrontalnej-mozgovej-kory>
- Janíková, Z. (2015). Ako sa konsoliduje pamäť počas spánku? In: *Psychiatria pre prax*. 16(3), s. 106-110. ISSN: 1335-9584.
- Karamitrou, A. (2004). *Inhibitory neurotransmitters*. [online]. 2004. [cit. 2025.04.20.] Dostupné na internete: <https://www.kenhub.com/en/library/physiology/inhibitory-neurotransmitters>
- Ódor, L. (2022). *Rýchlokurz geniality*, Bratislava: N Press, s. r. o., 655 s. ISBN 978-80-8230-091-1.
- Pamplona, F. (2021) *Neuroplasticita: Schopnosť nášho mozgu meniť sa*. [online]. 2004. [cit. 2025.04.10.] Dostupné na internete: <https://mindthegraph.com/blog/sk/neuroplasticita-naseho-mozgu-schopnost-zmeny/>
- Patarák, M. (2013). Systém odmeny, dopamín a ich úloha v predikčnom učení. In: *Psychiatrie*. 17(2), s. 74-79.
- Phelps, E. A., Anderson, A. K. (1997). Emotional memory: What does the amygdala do? In: *Current Biology*. 7(5), s. 311-314. ISSN: 0960-9822 [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(06\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(06)00146-1)
- Procházková, T. (2016). *Až 700 nových neurónov denne. Hipokampus borí mýty o fungovaní mozgu*. [online]. 2016. [cit. 2025.05.20.] Dostupné na internete: <https://www.mentem.sk/blog/hippocampus/>
- Romero-Barragán, M. T., Gruart, A., Delgado-García, J. M. (2022). Transsynaptic Long-Term Potentiation in the Hippocampus of Behaving Mice. In: *Frontiers in Synaptic Neuroscience*. 13, s. 1-13. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2021.811806>
- Sari, E., Erbaş, Q. (2022). Human Prefrontal Cortex: Regions and Functions. In: *Journal of Experimental and Basic Medical Sciences*. 3(2), s. 134-139. <https://doi.org/10.5606/jebms.2022.1020>
- Sessolo, J. (2024). Understanding the Role of Glutamate in Synaptic Transmission and Plasticity. In: *Journal of Brain Research*. 7(6), s. 2. ISSN: 2684-4583.
- Shapiro, J. (2021). *Two Parts of the Brain Govern Much of Mental Life*. [online]. 2021. [cit. 2025.05.11.] Dostupné na internete: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/thinking-in-black-white-and-gray/202111/two-parts-the-brain-govern-much-mental-life>
- Škoda, J., Doulik, P. (2011). *Psychodidaktika. Metódy efektívneho a smysluplného učení a vyučovani*. Praha: Grada, 208 s. ISBN 9788024733418.
- Švec, T. (2025). Vedci odhalili ďalšie tajomstvo mozgu. Zistili, ako si ľudia zapamätávajú nové informácie. In: *Denník Pravda*. ISSN 1335-4051.

- Vaseghi, S., Arjmandi-Rad, S., Eskandari, M., Ebrahimnejad, M., Kholghi, G., Zarrindast, M.-R. (2022). Modulating role of serotonergic signaling in sleep and memory. In: *Pharmacological Reports*. 74, s. 1-26. ISSN 1734-1140. <https://doi.org/10.1007/s43440-021-00339-8>
- Wang, Y., Fathali, H., Mishra, D., Olsson, T., Keighron, J. D., Skibicka, K. P., Cans, A.-S. (2019). Counting the Number of Glutamate Molecules in Single Synaptic Vesicles. In: *Journal of the American Chemical Society*. 141(44). ISSN: 0002-7863. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b09414>
- Yassa, M. A. (2025). *Hippocampus | Definition, Location, Function, & Facts*. [online]. 2025. [cit. 2025.05.05.] Dostupné na internete: <https://www.britannica.com/science/hippocampus>
- Zliechovský, R. (2023). *Ako je možné, že sa deti učia oveľa rýchlejšie ako dospelí?* [online]. 2003. [cit. 2025.04.27.] Dostupné na internete: <https://vosveteit.zoznam.sk/vedavovrecku/ako-je-mozne-ze-sa-deti-ucia-ovela-rychlejsie-ako-dospeli/>

Príspevok je priebežným výstupom projektu KEGA č. 008KU-4/2025 Tvorba e-metodik a inštruktážnych videí na princípoch kooperatívnych metód učenia v druhom vzdelávacom cykle nového ŠVP v kontexte prierezových gramotností.

Prof. PaedDr. Tomáš Jablonský, PhD.

Katedra pedagogiky a psychológie
Katolícka univerzita v Ružomberku, Pedagogická fakulta
Hrabovská cesta 1A, 034 01 Ružomberok
tomas.jablonsky@ku.sk

PaedDr. Mária Hrobková

Katedra predškolskej a elementárnej pedagogiky (externá doktorandka)
Katolícka univerzita v Ružomberku, Pedagogická fakulta
Hrabovská cesta 1A, 034 01 Ružomberok
maria.hrobkova937@edu.ku.sk