

Růžovým zvukem k lepší paměti

Dostatečně dlouhý a kvalitní spánek má značný význam pro psychický a fyzický stav. Pokud platí, že každý člověk stráví spánkem asi třetinu života, pak každý Čech prospí v průměru nejméně 25 let svého života. Co kdybychom tuto dobu využili k trénování a posílení paměti?

text **MAREK PIORECKÝ**

MOZEK je hlavním řídicím orgánem lidského těla. Ačkoliv na něj připadají pouhá dvě procenta hmotnosti těla, jeho činnost spotřebovává více než pětinu energie, zajišťující fungování celého organismu. Přímo z mozku vychází většina vědomých i nevědomých pokynů, šířících se nervovou soustavou s pomocí elektrických impulzů a chemických signálů.

Základním stavebním prvkem nervové soustavy jsou neurony, propojené s okolím strukturou mnoha výběžků. Krátké (dendrity) slouží buňce jako přijímače signálů z jiných neuronů, dlouhý výběžek (axon) předává impulzy dalším buňkám. Aby neuron v kaskádě předal vzruch dále, je zpravidla zapotřebí, aby předtím přijal podněty z více okolních mozkových buněk. Takto organizovanou strukturou projde během dne obrovské množství impulzů; každý neuron je běžně schopen vysílat impulzy i šestkrát za sekundu [1], což při průměrném počtu 86 miliard neuronů v mozku dospělého člověka [2] představuje více než 44,6 biliard impulzů denně. Pro představu: jde o číslo, které víc než čtyřicetkrát přesahuje odhadovaný počet mravenců na celé planetě. [3] Po takovém každodenním výkonu musí mozek regenerovat a spánek je pro něj nezbytný.

NENAHRADITELNÝ SPÁNEK

Čistě technicky vzato je spánek stavem klidu a snížené reaktivity na vnější podněty, při silných podnětech však rychle mizí. Spánkové oscilace jsou měřitelné už na úrovni buněk, jde tedy o systém, který se během evoluce vyvinul velmi brzy

a vyskytuje se zřejmě u všech živočichů (viz s. 610). Dokonce i u těch, kteří potřebují být neustále bdělí (jako jsou migrující ptáci nebo kytovci). Samo o sobě to dokazuje, jak důležitým nástrojem evoluce spánek je, neboť u těchto organismů se vyvinul jednohemisferální spánek, při němž jedna polovina mozku spí, zatímco druhá bdí. Má-li organismus nedostatek spánku, musí jej kompenzovat během nejbližšího spánku například jeho prohloubením, prodloužením nebo přesunem do jiné denní doby.

Z toho všeho je zřejmé, že spánek zajišťuje funkce, které nelze nahradit žádným jiným způsobem. Podle současného pohledu slouží metabolickým funkcím jak v neurální, tak i neneurální tkáni. Zvláště důležitý je spánek pro samotný mozek, kde v jeho průběhu dochází ke změnám spojnic mezi neurony – synapsi.

POSÍLENÍ PAMĚTI – HLAVNÍ CÍL

Vybat si vzpomínku, například jméno nového známého, může být večer po dlouhém dni obtížné. Po dobrém nočním spánku je však možné vyvolat tuto vzpomínku téměř bez námahy, neboť v jeho průběhu došlo k posílení některých synapsí, a tím upevnění paměti (viz také vesmir.cz/vyspete-se-to).

Stejně tak ale dobrý spánek některé synapse zeslabí, čímž vymaže velkou část vzpomínek, a uvolní tak v mozku kapacitu pro záznam nových informací.

Paměť pro fakta a události závisí na komunikaci neuronů v oblastech hipokampu a mozkové kůry. Vyvolání vzpomínky vyžaduje opakovanou aktivaci neuronové sítě,

kteřá představuje paměťovou stopu. Procesu posilování, stabilizace a začlenění paměťové stopy říkáme konsolidace paměti. S každým uvedením paměti do aktivního stavu se zapojí okruh zahrnující hipokampus a mozkovou kůru, dokud nedojde k začlenění do existujících znalostních sítí. Během tohoto procesu se paměť postupně stává méně závislou na hipokampu a více závisí na mozkové kůře, což ji pak dělá stabilnější. Současně je paměť vlivem výše popsaného posilování i oslabování synapsí obecně selektivní. [4]

Spánek přispívá ke konsolidaci paměti organizováním komunikace mezi hipokampem a mozkovou kůrou. Tato komunikace opakovaně aktivuje některé nově zakódované paměťové stopy, čímž je posiluje. Konkrétně hluboký spánek zásadně přispívá k upevnění paměti. Pomalovlnný spánek je – podle měření elektroencefalografu (EEG) – spánkové stadium charakterizované delta vlnami (s frekvencí nižší než 4 Hz) a pomalými oscilacemi (s frekvencí nižší než 1 Hz). [4]

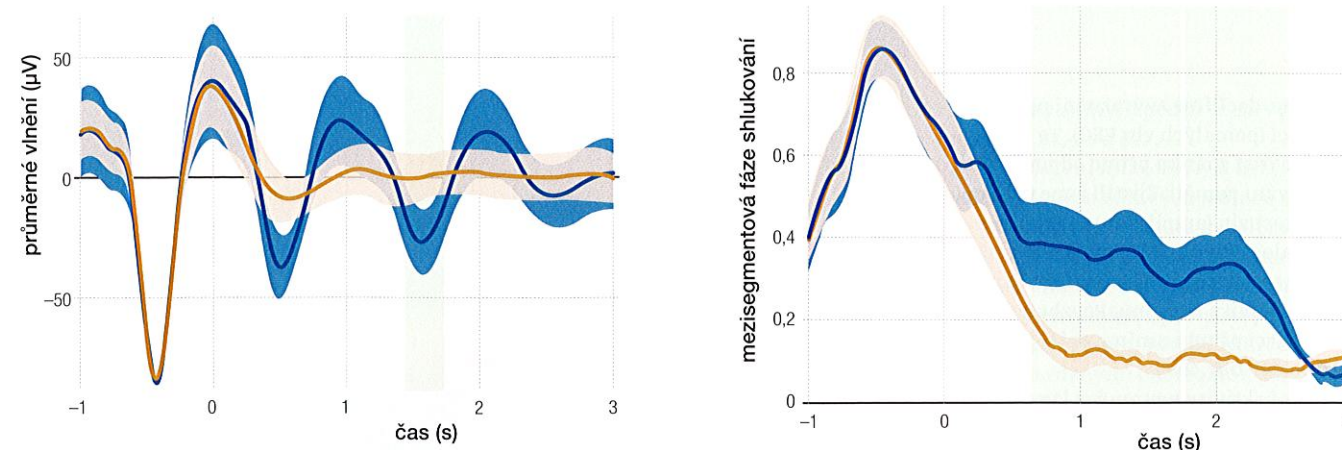
S ohledem na roli pomalovlnného spánku v konsolidaci paměti se experimentálně snažíme přijít na to, jak jej posílit. Pro zvýšení výkonu paměti po spánku je tedy důležité pochopit, jak prostřednictvím vnější stimulace zvýšit aktivitu pomalých oscilací.

HLEDÁNÍ KLÍČE K SPÍCÍMU MOZKU

Dnes víme, že neplatí představy našich předchůdců, že je spánek homogenním stavem. S pomocí metod umožňujících zaznamenávání mozkové aktivity se podařilo identifikovat spánkové fáze, které se několikrát opakují v tzv. spánkových cyklech; typicky pěti a více za noc. V jednotlivých fázích spánku vykazují mozek odlišnou elektrickou aktivitu a vytváří odlišné neurochemické prostředí pro různé fyziologické děje.

Ačkoli reaktivita mozku na vnější podněty během spánku klesá, nevymizí docela. Smysly, jako sluch, čich a hmat, zpracovávají podněty zvenčí a dané informace předávají mozku. Jsou tak možnými komunikačními kanály, pro oslovení mozku, jež lze aktivovat pomocí dotyků, vůní či zvuků.

Ing. MAREK PIORECKÝ, Ph.D., (*1992) vystudoval biomedicínské inženýrství na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT. Zaměřuje se na zpracování signálů mozku z elektroencefalografu a funkční magnetické rezonance. V Centru výzkumu spánku a chronobiologie NÚDZ zkoumá stimulaci během spánku a analýzu signálů EEG během snění.



1. Vlevo: **PÁR ZVUKŮ** přehraných během spánku ve správnou chvíli může posílit paměť. Člověk, který v průběhu noci nedostal speciální zvukovou stimulaci, má během testů měřitelně ztlumenou aktivitu mozku (žlutá křivka). Naopak nervový systém toho, kdo akustickou stimulaci podstoupil, vykazuje signál o vyšší amplitudě (modrá křivka). I takovýto rozdíl v signálech našeho mozku může mít výrazný vliv na to, zda si zapamatujeme jméno nového kamaráda z předchozího dne.
2. Vpravo: **RŮŽOVÝ ŠUM**, který mozek zaznamená v přesně stanovené části spánku, funguje na neurony jako startovací pistole – jejich impulzy se „rozběhnou“ současně. Říkáme, že se sfázuji. Rozdíl mezi lidmi, kteří byli během spánku stimulováni zvukem (modře), a těmi, kteří během spánku speciální zvukové podněty nedostávali (žlutě), je znatelný. Oba grafy Marek Piorecký [5]

Některé z těchto komunikačních linek mají během spánku omezené možnosti, jako například zrak, neboť oči jsou zavřené, jiné jsou o poznání přístupnější, jako čich. Z experimentů stimulujících čich pomocí aromalampy vyplývá, že mozek více reaguje na negativní vůni (zápach), pro zaznamenání reakce na pozitivní (příjemnou) vůni je třeba její intenzitu zvýšit. Nevýhodou takovéto stimulace je načasování téměř bez možnosti sledovat intenzitu vůně v prostoru. Množství vůně, která doputuje až k čichovým receptorům, ovlivňují průvan, velikost místnosti i teplota.

Další druh stimulace mozku během spánku umožňuje zvuk. Během spánku náš mozek na zvuky reaguje, ačkoliv si to neuvědomujeme, jde tedy teoreticky o způsob použitelný pro úpravu chování mozku během spánku.

RŮŽOVÝ ŠUM DO UCHA

Zvukovou stimulaci provádíme tak, že během spánku v určitou přesně definovanou

dobu přehrajeme krátký zvuk, jímž chceme vyvolat nevědomou odpověď mozku. Zvuk umožní sepnout neuronový okruh mezi hipokampem a mozkovou kůrou, a tak posílit paměťovou dráhu.

Zvuk definuje amplituda (hlasitost) a frekvence (tón) zvukové vlny. Ve speciálních případech, jako je například „komorní A“, obsahuje zvuk jen jednu frekvenci – v daném případě 440 Hz. Naopak štěkot psa, ruch ze stavby atd. patří k většině zvuků našeho okolí, složených z více frekvencí o různé amplitudě. V tomto ohledu se z fyzikálního hlediska podobají šumu.

Pro zvukovou stimulaci ve spánku se velmi často využívá tzv. růžový šum. Jeho hluboké tóny (frekvence) jsou dominantní (velmi vysoká vlna – amplituda), s rostoucí výškou tónu velikost vlny (amplituda) klesá. Výsledkem je hlubší zvuk, který lidé obecně považují za uklidňující.

Neméně důležitá je délka zvuku, kterým budeme experimentální spáče stimulovat. Obvykle používáme zvuky o délce desítek

milisekund, což je tak krátký časový úsek, že během něj závodní vůz, uhánějící plnou rychlostí po okruhu, překoná vzdálenost jediného metru. Takové extrémně krátké růžové zabzučení, které během spánku zazní v pravý čas, dokáže velké věci. Ale kdy takový okamžik nastává?

Tady si vezmeme na pomoc již zmiňovanou diagnostickou metodu, používanou k záznamu elektrické aktivity mozku – EEG. Zatímco testovaná osoba kromě nasazení elastické čepice se sadou elektrod potřebnou vodivým gelem nezažívá žádné další nepohodlí, tým výzkumníků řeší několik problémů. Jedním z nich je měřený signál mozkové aktivity, který je po průchodu lebeční kostí velmi slabý a dosahuje nanejvýš stovek mikrovoltů (v běžné zásuvce je elektrické napětí milionkrát vyšší). Proto se používají citlivé senzory, které ale kromě signálů mozku zaznamenávají i celou řadu rušivých vlivů okolí. I přesto metoda dokáže rozlišit změny aktivity skupin mozkových neuronů v řádu milisekund, díky čemuž můžeme přesněji odhadnout okamžik, kdy přístroj zaznamená výskyt našeho hlavního cíle – pomalých oscilací. Algoritmus má na jejich nalezení v nahrávaném signálu pouhé milisekundy, během kterých musí začátek vln vyhodnotit a podat o tom zprávu počítači, který spustí stimulační zvuk. Pokud se to všechno povede, pak tento relativně jednoduchý mechanismus zpětné vazby může pomoci mozku k vyššímu výkonu paměti po probuzení.

EFEKT POSÍLENÍ PAMĚTI

Abychom potvrdili vliv stimulace na paměť, používáme standardizované paměťové testy. V praxi jde o zapamatování si slov nebo jejich párů. Hodnotí se vždy kombinace před stimulací a po ní proti „placebo“ noci, kdy testovaný dobrovolník během spánku stimulaci nedostane, ale také se snaží si daná slova zapamatovat (obr. 1).

V našem týmu Národního ústavu duševního zdraví a Fakultu biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze spolupracujeme na metodě akustické stimulace během spánku pomocí růžového šumu. Prokázali jsme, že když zvukové podněty vhodné

načasujeme, docílíme zvýraznění pomalých EEG oscilací (pomalých vln EEG). To je, jak už víme, ta část spánku přímo odpovědná za upevňování paměti. Zjistili jsme při tom, že na velikost vln (amplitudu) zaznamenané pomalovlnné aktivity mozku má vliv mimo jiné to, jak se podaří synchronizovat (sfázovat) aktivitu neuronů. Povzbudit tuto synchronizaci přitom umíme právě akustickou stimulací (obr. 2).

Sfázování aktivity neuronů si lze představit jako kolotoč, který roztočí několik dětí najednou ve stejném směru otáčení. Pokud by některé z dětí točilo v opačném směru než ostatní nebo by se jednotlivé děti zapojovaly postupně, kolotoč by se nemohl roztočit na tak vysokou rychlost (v našem případě je paralelou pozorovaná amplituda signálu), jako kdyby děti roztočily kolotoč najednou. Mozek díky tomu zřejmě setrvává ve stavu, který podporuje posílení vzpomínky a vytvoření dlouhodobé paměťové stopy.

Tak jako nám se už i jiným vědeckým skupinám po celém světě podařilo nezávisle na sobě prokázat, že správně načasované zvukové stimuly zdravým lidem zvyšují výskyt pomalých oscilací a potenciálně tak mohou zlepšit paměť. Komplexní výzkumy ve spánkových laboratořích ale směřují k tomu, jak pomoci lidem, které slábnutí paměti provází ve stáří nebo je-li příznakem některé z nemocí. Dosavadní výzkum naznačuje, že by jim terapie mohla přinejmenším ulevit i v případě, že by jim nemohla zcela pomoci.

V obchodech s elektronikou se dnes stále častěji objevují miniaturizovaná zařízení zjednodušeně měřící tělesné parametry. Díky technologickému pokroku jsme schopni přístroj EEG miniaturizovat. Pokud by měl velikost krabičky od zápalek, lze ho například navléknout na čelenku a umístit pevně na hlavě bez toho, že by nás omezovaly kabely, jinak běžně využívané při měření klinického EEG (obr. 3). Dnešní EEG přístroj



Snímek Marek Piorecký

3. POSILOVAT PAMĚŤ v domácích podmínkách, to by měla v budoucnu umět čelenka se zabudovaným miniaturním přístrojem EEG, který by během spánku měřil elektrickou aktivitu mozku. Vývoj přístroje je nyní ve fázi pilotních měření vlastností prototypu.

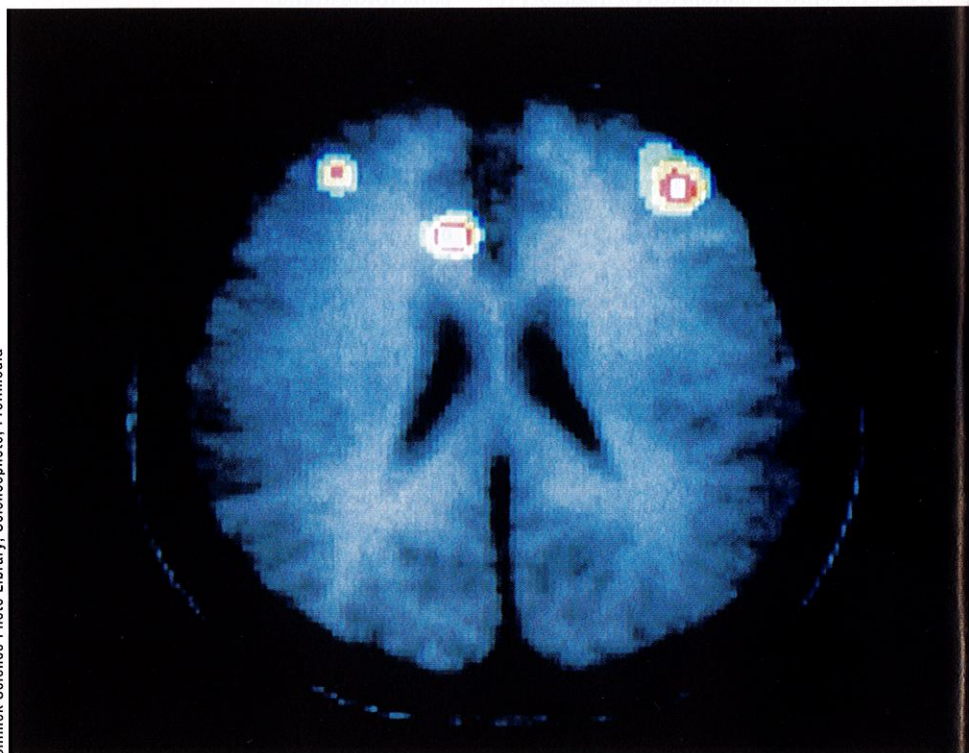
sice ještě není schopen sám aplikovat zvukové stimuly, lze k němu však připojit malý „počítač“, vysílající zvukové signály do reproduktorů vedle lůžka se spící osobou.

V budoucnu tedy nelze vyloučit, že si budeme moci takové zařízení běžně koupit a v klidu domova během spánku posilovat paměť. ●

K dalšímu čtení...

- [1] Rate of neuron firing. AI Impacts [online]. [cit. 2022-04-27]. On-line: aiimpacts.org/rate-of-neuron-firing.
- [2] Azevedo F. A. C. et al.: Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *The Journal of Comparative Neurology* 813, 532–541, 2009/5, DOI: 10.1002/cne.21974.
- [3] Hölldobler B., Wilson E. O.: *Journey to the Ants*, Harvard University Press, 1994, ISBN: 0-674-48525-4.
- [4] Wunderlin M. et al.: Modulating overnight memory consolidation by acoustic stimulation during slow-wave sleep: a systematic review and meta-analysis. *Sleep* 44, 1–11, 2021/7, DOI: 10.1093/sleep/zsaa296.
- [5] Piorecký M. et al.: Real-Time Excitation of Slow Oscillations during Deep Sleep Using Acoustic Stimulation. *Sensors* 25, 1–26, 2021/15, DOI: 10.3390/s21155169.

Snímek Science Photo Library, Sciencephoto, Profimedia



KDE JSOU V MOZKU uloženy vzpomínky? Jen v jedné části, nebo na mnoha různých místech? Tyto otázky si věda klade už přes sto let. Vědomá paměť pro nový zážitek je zpočátku závislá na informacích uložených jak v hipokampu, tak v mozkové kůře, s postupem času se ale stává na hipokampu nezávislou. Proto například retrogradní amnézie nevymaže vzpomínky vytvořené ve vzdálenější minulosti, ale novější ano. Studie se zatím shodují, že s pamětí a jejím upevněním úzce souvisí prefrontální mozková kůra, kde lze pozorovat mozkovou aktivitu spojenou se zpracováním paměti pomocí pozitronové emisní tomografie (PET; tento snímek) nebo funkční magnetické rezonance (fMRI).