

K problematike operačného podmieňovania v EEG biofeedbacku

Pavel Krivulka

V predchádzajúcich textoch (Krivulka, 2005; 2009; 2010) zdôvodňovaný názor, že účinným mechanizmom neurofeedbacku (NF) nie je výlučne *operačné podmieňovanie* (OP), je potrebné doplniť o niektoré nové poznatky z teórie a praxe neurofeedbacku. Často sa vynára otázka, ako je možné, že výskumníkom akoby neboli celkom jasné niektoré klinické postupy z neurofeedback praxe (práca s prahmi, časovanie, frekvencia odmien, variácie v odmeňovaní) a naopak, praktickí terapeuti akoby neaplikovali vo svojich tréningových protokoloch dôsledne základné poznatky teórie operačného podmieňovania. Táto situácia značne komplikuje definovanie a zavedenie štandardných a replikovateľných NF tréningových postupov nielen do klinickej praxe, ale aj do výskumných projektov.

Spolu s R. Thatcherom (2010) pri NF tréningu možno rozoznávať *posilnenie* („reinforcement“) a *odmenu* („reward“). Na kurzoch Úvod do neurofeedbacku sme zdôrazňovali nielen význam nastavenia kritérií signálovej odozvy (výber a presné nastavenie všetkých parametrov a kritérií pre EEG) pretože, tým je daný režim posilňovania (anticipácie odmeny), ale aj dôležitosť samotnej odmeny, ktorá je konkrétna (hračka, čokoláda, peniaze, výmenné žetóny, verbálne ocenenie, pochvala a pod.). Čiže anticipácia odmeny asociovaná so signálom posilnenia („reinforcement“) má motivačný charakter len vtedy, keď je spojená s konkrétnou odmenou. Popis tohto postupu (deti sme, okrem iného, odmeňovali aj čokoládovými dukátikmi), nezriedka vyvolal úsmev na tvárach kolegov v našich kurzoch. Ale prísne vzaté, len takáto technika NF zodpovedá pojmu a definícii *OP*. NF tréning len s používaním posilnenia ako odmeny, nie je žiadnym operačným podmieňovaním. Napríklad tréning s Brainfeedbackom 3 (Alien) „funguje“, keď je „posilňujúcim,“ faktorom kontinuálna zvuková signalizácia, pri skóre okolo 130 a viac v trojminútovom tréningovom kole. Skóre 180 znamená, že pacient bol posilnený každú sekundu raz. Takéto posilňovanie nemôže mať žiadnu diskriminačnú hodnotu. Ak klient skóruje pod 100, je to už často prežívané ako frustrujúce. Treba dodať, že NF tréning len s posilňovaním feedback signálom (či je to už videohra, nejaké grafické obrazce, rôzne zvukové efekty, skóre a pod.), ktorý je akosi symbolickou odmenou, nemôže mať pretrvávajúcu motivačnú hodnotu. Otázka *valencie* symbolických a reálnych odmien v NF tréningu zostáva otvorenou pre ďalší výskum. Vieme, že u mnohých detí symbolická (resp. anticipovaná) odmena, jednoducho nemôže nahradiť reálnu odmenu. Mnoho detí dobre reaguje na intermitentnú verbálnu odmenu v priebehu tréningu a na konci tréningu (pochvala, ocenenie hneď po splnení kritéria). Táto technika si vyžaduje určitú prax a je náročná na sledovanie priebehu tréningu (konkrétne frekvenčného spektra a hrubej EEG krivky). S určitou limitáciou možno povedať, že posilnenie je, takpovediac, adresované EEG vzoru „správania“ spĺňajúcemu požadované kritériá, zatiaľ čo odmena je adresovaná osobnosti klienta, s jeho špecifickými motivačnými a kognitívnymi charakteristikami. V súvislosti s posilnením hovoríme o *modalitách feedback signálu* (zvukový, vizuálny, spojitý, nespojitý a pod.), zatiaľ čo v súvislosti s odmenou hovoríme o jej *valencii* (celkovej hodnotovej a motivačnej sile pre osobnosť klienta). Podmienkou pre efektívny NF tréning – ak ho definujeme v termínoch *OP* - nie je uvedomenie si tohto procesu. Sebaregulácia si už vyžaduje určitú mieru uvedomenia si svojho psychofyziologického stavu. David Kaiser hovorí v súvislosti s uvedovaním si psychofyziologického stavu v procese NF sebaregulácie o fáze prechodu z predvedomej do vedomej percepcie. Optimalizácia posilňovania a individualizácia tréningového postupu závisí na schopnosti klinika motivovať dieťa k skúsenosti posilňujúcej odmeny

(„reinforcement“ rewarding podľa Van den Bergha). V tejto súvislosti sa často hovorí o umení neuroterapeuta individualizovať parametre NF tréningu podľa potrieb pacienta a charakteristík jeho EEG.

Správne definovanie kritérií pre posilňovanie aj odmeňovanie patrí medzi kľúčové podmienky NF tréningu. Uprednostňujeme príklad posilňovania pri SMR tréningu. Pýtame sa, koľko musí byť SMR (čiže akej amplitúdy, akého trvania, pri zvolenej frekvencii SMR), pri určitej metóde spracovania feedback signálu (integrálno-amplitúdová alebo percentuálna), aby klient dostal optimálne a účinné posilnenie? Posilňovanie má byť kontinuálne, alebo intermitentné? Spojité alebo nespojité? Inhibície ktorých frekvencií budú druhou (treťou) podmienkou splnenie kritéria posilnenia? Modalita, valencia a časovanie feedback signálu a spôsob jeho asociovania s odmenou, určujú konečný efekt NF tréningu. Ak sú splnené kritériá pre posilnenie EEG vzorca a potom nenasleduje žiadna odmena, nejedná sa o OP. Množstvo odmeny je rozhodujúce pre aktiváciu ventrálno tagmentálnych dopaminových neurónov a je otázne, či len zmena feedback signálu pri splnení kritéria, má aj dostatočnú neurofyziológickú hodnotu. Niekedy sa zvykne pripisovať motivačná hodnota inštrukcii, ktorá „odmeňujúco“ asocjuje dosahovanie cieľov videohry a skórovanie. Je pravdepodobné, že pre približne 50% klientov a pacientov môže byť tento model „operačného podmieňovania“ postačujúci počas 15-20 tréningov. Podmienky „selfgenerovanej“ odmeny sú subjektívne a nemerateľné. Na strane druhej, predstava odmeny aktivuje tie isté oblasti mozgu, ako konkrétna vecná odmena. Mediálny orbitofrontálny kortex je aktivovaný pri reálnej aj predstavovanej odmene (Bray, Shimojo, Doherty, 2010).

Ako už bolo uvedené inde, OP, ako ho diskutujeme v tomto článku, nie je totožné s učením sa sebaregulácii v procese NF tréningu. Napríklad počas biofeedback tréningov často prítomný „aha fenomén“ je kognitívnu a nie behaviorálnou charakteristikou. Fundamentálnou funkciou mozgu je vyhodnotiť citový a motivačný význam podnetov a podľa toho prispôbiť a modifikovať správanie, ako ukázali Schumann et al (2010) v multicentrickej štúdii neurobiologických základov individuálnych rozdielov v impulzivnosti. V tejto, pre teóriu NF dôležitej štúdii, autori zdôrazňujú vplyv odmeňovania senzitivity a inhibičnej kontroly pri formovaní impulzivnosti, ako osobnostnej charakteristiky. Pri spomínanom „aha fenoméne“ prebieha kognitívna a emocionálna odpoveď súčasne, čo dovoľuje motivačne plnohodnotne ovplyvniť správanie a uľahčiť zmenu. Signál, posilnenie, odmena nadobúdajú význam vždy v nejakom kontexte (sociálnom, situačnom, faktory prostredia mimo kontroly), a nielen vo vzťahu k výskytu konkrétneho požadovaného vzorca správania. Sú to komplexné a multimodálne fenomény, pre ktoré nemožno použiť paradigmu OP ako jediný vysvetľujúci koncept NF. Ďalej, biofeedback (vrátane NF) umožňuje klientovi uvedomovať si pôvodne nevedomé a neadaptívne psychofyziológické vzory, dostávať ich do vedomia a dosahovať opakovaním tohto procesu zmenu dysadaptovaných psychofyziológických vzorov na normálne alebo optimálnejšie fungovanie. Základom týchto zmien je neuroplasticita, ktorú v tomto prípade možno hodnotiť ako *adaptačnú a reparačnú neuroplasticitu* využívajúcu dlhodobú potenciáciu synaptického prenosu (longterm potentiation – LTP), čo súvisí so značnou regeneračnou schopnosťou neurónov (Trojan, Pokorný, 1997). Dynamiku vzťahov LPT k NF popísal Abarbanel (1995).

Pokiaľ je nastavenie parametrov posilňovania (prahy, frekvencia alebo percento posilnení, frekvenčné pásma, filtrácia, trvanie refraktornej fázy /„stupeň oneskorenia“ odozvy/, voľba signálovej modality), do veľkej miery technickou záležitosťou a premietnutím teórie operačného podmieňovania do praxe, odmeňovanie je už viac psychologickým problémom, pretože pracujeme s motivačnými premennými, emocionálnou odozvou, priebehom učenia, sebaregulačnými

technikami, verbálnym posilňovaním a pod. Práve nutnosť zharmonizovania týchto dvoch činností robí z neurofeedbacku takú náročnú metódu.

R. Tatcher (2010), odvolávajúc sa na významné výsledky výskumu, vôbec nie náhodou v poslednej dobe zdôrazňuje, že *feedback signál samotný nie je žiadnou odmenou, ale signalizuje pravdepodobnosť odmeny*. Samotný signál, či už spojitý alebo nespojitý, je menej dôležitý, ako veľkosť odmeny. Tieto slová adresuje najmä praktickým terapeutom, ktorí v neurofeedback tréningoch často neuplatňujú tieto základné podmienky OP. Definovaná cerebrálna udalosť (splnenie nastavených parametrov požadovaného EEG vzoru), teda musí byť klientovi nielen signalizovaná, ale musí byť aj odmenená v optimálnom časovom slede, pričom samotný signál nie je dostatočnou odmenou a odmenu „len“ signalizuje. Dopamínove neuróny sú citlivé práve na asociovanie signálu s odmenou. Opísanú situáciu komplikuje Stermanova refraktórna fáza, počas ktorej je posilnenie neúčinné a nemalo by sa exponovať (fáza „postreinforcement desynchronisation“) preto, aby bol dostatok času na spracovanie informácie a prípravu neurónov pre ďalšie posilňovanie, čo je súčasťou mechanizmu dlhodobej potenciácie neurónu, ako neurofyziologického základu učenia („long-term potentiation“, - LTP, <http://www.youtube.com/watch?v=BwZfLv3Z96A>). Problematika zabudovania anticipovanej odmeny do inštrukcie a edukácie v procese NF, je v teórii biofeedbacku nedocenená. Treba jasne povedať, že mechanicky vedené neurofeedback tréningy bez jasného manažmentu časovania posilnení a odmien jednoducho nespĺňajú kritériá operačného podmieňovania a učenia.

Tatcher (2010) hovorí, že len signálové posilnenie („reinforcer“) je samo o sebe slabá odmena aj keď klinik motivuje pacienta, že bude, napríklad, podávať lepšie výkony v škole, že sa bude cítiť lepšie, bude potrebovať menej času na domáce úlohy a pod. , dodávajúc, že aj tieto relatívne slabé posilnenia, ak sú spojené s predstavou odmeny, zvýšia aktivitu dopaminových neurónov, čoho dôsledkom bude efektívnejšia zmena v mozgu. Množstvo posilnení v NF tréningu, vo vzťahu k symbolickej alebo skutočnej odmene, môže byť kritické pre dosiahnutie terapeuticky významnej zmeny. Toto má praktické dôsledky pre nastavovanie prahov. Zvažovanie množstva posilnení má skutočne dôležitú úlohu pri rozhodovaní, či prahy budeme nastavovať na fixnú hodnotu prahu, alebo použijeme automatické nastavovanie prahov („autotresholding“). Aj keď sa v praxi často používa, automatické nastavovanie prahov je veľmi problematickým tréningovým postupom, pretože vždy dostaneme rovnaké množstvo posilnenia (napríklad vždy 80% odmeny, čo je odvodené z automatického spriemerňovania amplitúdových hodnôt, nech sú akékoľvek vysoké či nízke). Určitým kompromisom môže byť pravidelné resetovanie prahov (napríklad po 10, 20 alebo 30 sekundách), čo je možné v BioExploreri. Samozrejme, z amplitúdových hodnôt získaných pri automatickom nastavovaní prahov, nemožno konštruovať krivku učenia.

Posilnenie má signálový charakter, odmena má motivačný význam. Anticipácia odmeny sa spúšťa signálom posilnenia. Percento posilnení nemusí byť totožné s percentom odmien. Posilnenie pravdepodobne nie je účinné vo fáze „postreinforcement synchronisation“ EEG krivky. Je pozoruhodné a prekvapujúce, že aj bez splnenia základných podmienok OP ako ich tu uvádzame, sa z klinickej praxe referujú prevažne dobré až výborné terapeutické výsledky NF tréningu. Zdá sa, že procedúra OP v popísanom poňatí, akoby nebola jedinou základnou podmienkou efektivity NF tréningu. Potom nás ani tak neprekvapia výsledky výskumov efektu NF, v ktorých placebo skupina dosiahla rovnaké, alebo dokonca väčšie zlepšenie, ako skupina experimentálna (Lansbergen e al, 2010). Prenos poznatkov OP z animálneho výskumu EEG biofeedbacku do humánneho aj po 40 rokoch prináša stále viac otázok ako odpovedí a to napriek optimistickému hodnoteniu efektivity neurofeedbacku u ADHD na úrovni 5. Teoreticky obmedzujúcou limitáciou je aj rigidne preferovanie konceptu OP, ktorým nemožno vysvetliť, okrem iného, ani rýchle reakcie a zmeny pri neurofeedback

tréningu v jednom sedení. Ros et al (2010) dosiahli merateľnú zmenu v kortikomotorickej odpovedi na transkraniálnu magnetickú stimuláciu po 30 minútovom NF tréningu.

V mnohých známych publikovaných výskumoch o efektívite NF u ADHD (Lubar, Linden, Monastra, Fuchs, Rossiter, Tansey a iní), autori nepoužili alebo neuvádzajú popísanú procedúru OP. Podrobnejšie popisy posilňovania a odmeňovania pri NF tréningu , *dovoľujúce replikovanie výskumu*, príliš často absentujú dokonca aj v takých základných parametroch ako je lokalizácia a montáž elektród. Vážne metodické nedostatky v mnohých štúdiách potom vyvolávajú pochybnosti o ich validite a sú zdrojom kritiky neurofeedbacku.

Vo svetle literárnych poznatkov a skúseností z klinickej praxe možno uzavrieť, že experimentálne a terapeutické efekty a mechanizmy pôsobenia neurofeedbacku nemožno vysvetľovať len operačným podmieňovaním, i keď sa v dôležitých fázach učenia nových vzorov „správania“ a sebaregulácie môže významne podieľať na celkovom terapeutickom efekte NF. Časovanie posilnenia a odmeny má v NF tréningovom manažmente rozhodujúcu úlohu pre dosiahnutie žiaducich tréningových efektov, pričom treba dodať, že tréningový efekt nie je totožný s terapeutickým efektom NF. Humánne učenie, a to na všetkých úrovniach, je veľmi komplexný psychofyzologický a neuropsychologický proces a popri paradigme OP je rozhodne potrebné zohľadňovať aj pojem sebaregulácie (v zmysle sebaregulujúcich systémov akými sú neurónové siete, aj vo význame sebaregulácie ako dimenzie osobnosti).

Ak chceme mať jasno v teórii a praxi neurofeedbacku, je nadbytočné a umelé vnášať do nich nejaké psychoterapeutické pojmové rámce, alebo dokonca NF radiť do systému psychoterapie. Netreba zabúdať, že pojmy operačného podmieňovania a inštrumentálneho učenia pochádzajú - a z väčšej časti stále zostávajú - vo výskumných laboratóriách. K terapeuticky účinným metódam štandardne aplikovateľným v klinickej praxi, mali experimentálne prístrojové techniky vždy ďaleko, na čo upozorňoval aj Kondáš (1981, osobná komunikácia). Napríklad Laurence Hirschberg vo svojom informovanom poučení pre pacienta v úvodnom sedení pri indikovaní NF tréningu, definuje NF ako metódu experimentálnu. Tatcherom (2010) uvádzaný údaj, že doteraz bolo publikovaných vyše 1000 vedeckých článkov o operačnom podmieňovaní EEG, ešte vonkoncom nepotvrďuje, že OP je rozhodujúcim mechanizmom zodpovedným za vysokú terapeutickú efektívitu NF. Ak je dokázateľne najvyššia u diagnostických skupín epilepsii a ADHD, treba poukázať na to, že sú aj neurofyzologicky a elektrofyzologicky najlepšie definované.

Cook et al (2010), robili rozsiahlejší výskum podporovaný NIMH, u vyše 2000 severoamerických psychoterapeutov, skúmajúc preferenciu psychoterapeutických metód a orientácií. Z 2.136 respondentov len 19 terapeuti použili NF u svojich klientov. Z 2.129 respondentov len 23 terapeutov použilo nejakú biofeedback modalitu vo svojej praxi. Obidve techniky patrili jasne k najmenej preferovaným. Tendencia „integrovať“ empiricky potvrdené terapie do svojej praxe, je v tejto komunite psychoterapeutov podmienená porozumením a technickým zvládnutím metódy.

December 2010

Pavel Krivulka

Výber literatúry

Schultz W: Behavioral theories and the neurophysiology of reward. Annu. Rev. Psychol. 2006. 57:87–115

Tatcher R: Neuroguide group Yahoo, Mesages: VTM dopamine neurons & predicting reward. Dec. 2010

Arns et al. (2009) Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. Clin EEG Neurosci 40:180-189.

Gevensleben et al. (2010). Neurofeedback training in children with ADHD: 6 months follow-up of a randomised controlled trial. *ECAP*, 19 (9), 715-24

Gevensleben et al. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *JCPP*, 50(7), 780-9. Heinrich et al. (2007). Annotation: Neurofeedback - train your brain to train behaviour. *JCPP* 48, 3-16

Lansbergen MM et al: ADHD and EEG-neurofeedback a double-blind randomized placebo-controlled feasibility study. *Journal of neural Transmission*, December 2010.
<http://www.springerlink.com/content/h2046810l3668hj0/fulltext.pdf>

Bray S, Shimojo S, O'Doherty JP: Human medial orbitofrontal cortex is recruited during experience of imaged and real rewards, *J Neurophysiol* 103: 2506-2512, 2010

Ros T, Munneke MAM, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC: Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. *European Journal of Neuroscience*, Vol. 31, pp. 770–778, 2010

Van den Bergh W: Neurofeedback And State Regulation In ADHD: A Therapy Without Medication, BMED Press LCC, 2010, p. 263.

Krivulka P: Neurofeedback nie je technikou KBT, ani psychoterapeutickou metódou. 2010.
http://www.biofeedback.sk/pdf/tit_cl_002.pdf

Krivulka P: EEG biofeedback a psychoterapia: Možnosti integrácie. *Psychiatrie roč. 9, číslo 3, 2005, s. 202 n*

Krivulka P: *Vademecum neurofeedback terapeuta, SABN, 2009.*

Cook JM, Biyanova T, Elhai J, Schnurr PP, Coyne JC: (2010). What do psychotherapists really do in practice? An Internet study of over 2,000 practitioners. *Psychotherapy: Theory, Research & Practice*, Vol 47(2), 260-267

Schumann G: The IMAGEN study: reinforcement-related behaviour in normal brain function and psychopathology. *Molecular Psychiatry* (2010) 15, 1128–1139

Trojan S, Pokorný J: Teoretický a klinický význam neuroplasticity. *Bratisl. lek. Listy*, 98, 1997, è. 12, s. 667 - 673

Abarbanel A. (1995). Gates, states, rhythms, and resonances: The scientific basis of neurofeedback training. [Journal of Neurotherapy](#), 1(2), 15-38