

Záhada vnemu alebo "Something Nearly Enough"

Martin Šarkan

ŠARKAN, M.: *Mysterium of Percept or "Something Nearly Enough"*. *Studia Aloisiana*, 2018.

Neuropsychological research expects that knowing of brain mechanisms would suffice to explain all psychological phenomena. This assumption is based on the idea that material particles and fields are the only constituent of the brain, and therefore all causal relations of mental phenomena can be formulated in terms of material elements and their properties. Despite of huge achievements within the framework of afore mentioned attitude, the progress of cognitive sciences in confrontation with the phenomenon of consciousness is in some sort of theoretical and empirical problem.

Keywords: neuroscience, cognitive sciences, mind-body problem, epistemology, neuronal correlate of consciousness experiment, binding problem

V priebehu 20. storočia sa vedecké poznanie anatomickej architektúry mozgu a procesov, ktoré v ňom prebiehajú, progresívne prehľbovalo. Dá sa povedať, že do 21. storočia sme vstupovali s pomerne subtílnymi znalosťami o niektorých oblastiach mozgu od makroskopickej úrovne až po mikroskopickú úroveň neurónu ako základnej informačnej jednotky mozgového tkaniva.¹ Poznáme, čo sa deje vo vnútri nervovej bunky, vieme, ako sa šíri akčný potenciál spôsobom depolarizačnej vlny pozdĺž dlhého odstredivého výbežku, axónu, ktorý prostredníctvom synaptických zakončení prepája nervové bunky, aby sa tak zabezpečil prenos informácie celou neuronálnou sieťou. Vieme identifikovať jednotlivé cerebrálne štruktúry, ktoré sú viazané s konkrétnymi mentálnymi stavmi a procesmi. Vieme dokonca manipulovať s presne identifikovanými ohraničenými lokalitami mozgového tkaniva a takto priam vyvolať či vzbudiť príslušný mentálny proces resp. stav (napr. pocit tlaku, chladu či bolesti). Vieme prostredníctvom určitých chemických látok cielene ovplyvňo-

¹ K dynamike historického vývoja vedeckého skúmania nervového systému porov. OCHS, S.: *A History of Nerve Functions: From Animal Spirits to Molecular Mechanisms*. Cambridge University Press, 2004; ANCTIL, M.: *Dawn of the Neuron: The Early Struggles to Trace the Origin of Nervous Systems*. MQUP, 2015.

vať nálady, predstavivosť a myslenie. Vieme, že ak z nejakého dôvodu chýba, resp. je poškodená nejaká anatomická časť mozgovej štruktúry, chýba, resp. je poškodená aj korelujúca mentálna funkcia.

Neprekvapuje preto, že princíp materiálnej a kauzálnej determinácie explanačne pokrýval čoraz komplexnejšie mentálne procesy, stavy a funkcie. Svoje pozície nedeterminovanosti si spomedzi psychických javov ako tak uchoval fenomén slobodnej vôle, ktorý bol paradigmatickým predpokladom ľudskej existencie, tak ako sme ho poznali v priebehu dejín. Po tom však, čo Benjamin Libet v osemdesiatych rokoch prezentoval svetu výsledky svojich experimentov, ktoré ukázali, že cca 300 milisekúnd pred každým vedome reflektovaným momentom výberu ľubovoľnej alternatívy z predloženej ponuky, v korelujúcej lokácii mozgovej kôry nastane dobre zaznamenateľná a merateľná elektrochemická aktivita², sa zdalo, že zápas o posledný nedeterminovaný ostrovček slobody ľudskej mysle je na konci. Výsledky neurobiologického skúmania boli natoľko presvedčivé a fascinujúce, že niet divu, že diskurz o povahe vzťahu tela a mysle sa na prahu tretieho tisícročia niesol v duchu zásady "bez materiálneho niet mentálneho".

V nasledujúcom texte jednak zrekapitulujeme základné poznatky o biologickom základe psychiky, ktoré sú empirickým východiskom epistemologických a ontologických úvah o povahe mentálnych javov, jednak poukážeme na niektoré problematické oblasti, na ktoré neuroveda pri skúmaní mechanizmov súvisiacich s vedomou skúsenosťou v súčasnosti naráža.

Mozog ako materiálny substrát psychiky

Aby sme porozumeli, prečo koncom 20. storočia³ drvivá väčšina vedcov zaoberajúcich sa vzťahom mozgu a psychiky zastávala pozíciu fyzikalizmu a prečo sa koncept mozgu ako materiálneho substrátu psychiky pomaly presúval z hypotetickej roviny do oblasti všeobecne uznávaného axiomatického východiska, je nevyhnutné stručne zhrnúť základné poznatky, ktoré máme o mozgu v súčasnosti k dispozícii.

Ľudský mozog je nesmierne komplexnou biologickou štruktúrou.⁴ Ak sa snažíme jeho zložitost' diferencovať anatomicky, z makroskopického hľadiska,

2 Porov. LIBET, B. – GLEASON, C. A. – WRIGHT, E. W. – PEARL, D. K.: Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. In: *Brain*. Vol. 106, Issue 3, 1983, s. 623 – 642.

3 Úmyselne sme tu akcentovali 20. storočie, nakoľko na prelome milénia sa situácia začala komplikovať, čo je tematikou nášho textu. Napriek tomu však platí, že fyzikalizmus je majoritnou pozíciou vo vedeckej komunite aj v končiacej sa druhej dekáde 21. storočia.

4 Pre podrobnejšie informácie o cerebrálnej architektúre porov. GAZZANIGA, M. S.: *The cognitive neurosciences*, 5th edition. Cambridge : MIT Press, 2014; SWANSON, L. W.: *Brain Architecture. Understanding the Basic Plan*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2002, 263 s.; FUSTER, J. M.: *Cortex and Mind: Unifying Cognition*. Oxford University Press, Incorporated, 2005.

možno v cerebrálnej architektúre rozlíšiť tri koncentrické vrstvy – postupujúc z evolučného hľadiska od najstaršej po najmladšiu rozlišujeme: *jadro, limbický systém, mozgové hemisféry*.

Jadro je tvorené predĺženou miechou (*medulla oblongata*), mozočkom (*cerebellum*), tzv. lôžkom, resp. talamom (*thalamus*), podlôžkom, resp. hypotalamom (*hypothalamus*) a sieťkovitým útvarom, resp. retikulárnou formáciou (*formatio reticularis*). Tieto evolučne staršie štruktúry súvisia predovšetkým so základnými fyziologickými funkciami, avšak úzko kooperujú aj s vyššími cerebrálnymi oblasťami a psychickými funkciami, v konečnom dôsledku aj so samotným vedomím: *thalamus* sa napr. podieľa na regulácii spánku a bdenia, prepája podnety prichádzajúce zo zmyslových orgánov smerom ku kôre, čo znamená, že jeho činnosť je nevyhnutná pre vedomú percepciu; *hypotalamus* zohráva kľúčovú úlohu pri regulácii emotivity, správania a prežívania v stresových situáciách či sexuálneho správania; retikulárna formácia, podobne ako *thalamus*, súvisí s bdelosťou a vedomím, s orientáciou pozornosti, filtruje a selektuje senzorické dáta zmyslových receptorov na ceste k spracovaniu v príslušných kôrových oblastiach.

Limbický systém predstavuje vyšší stupeň regulácie a kontroly emócií a inštinktívnych reakcií, ale súvisí aj s pamäťovými funkciami, čo zviditeľnila symptomatika sprevádzajúca poškodenia limbickej subštruktúry *hipocampu*, výsledkom ktorých je strata schopnosti vstúpenia nových udalostí.

Evolučne najmladšiou cerebrálnou štruktúrou je *pravá a ľavá hemisféra*, ktorých vonkajšiu vrstvu pokrýva (u ľudí) približne 4 – 6 mm hrubá kôra (*cortex*). Na rozdiel od nižších živočíchov s prevažne hladkým povrchom mozgu sa kôra savcov evolučne čoraz viac brázdila, čo umožnilo koncentráciu väčšej kortikálnej plochy v lebečnej dutine prostredníctvom vrásnenia do tzv. *závitov (gyrus)*, a viac kortikálnej plochy koreluje s väčšou informačnou kapacitou mozgu.

Obe hemisféry sa ďalej členia na čelný, resp. frontálny lalok (*lobus frontalis*), temenný, resp. parietálny lalok (*lobus parietalis*), týlny, resp. okcipitálny lalok (*lobus occipitalis*) a napokon spánkový, resp. temporálny lalok (*lobus temporalis*). Čelný lalok je od temenného oddelený vizuálne zreteľnou centrálnou brázdou (*fisura*, resp. *sulcus centralis*), spánkový lalok je ohraničený laterálnou brázdou (*fisura*, resp. *sulcus lateralis*).

V perspektíve našej témy je zaujímavá najmä skutočnosť, že uvedená architektonická diferenciácia korešponduje s diferenciáciou ako fyziologických, tak aj psychických funkcií. Akumulácia poznatkov čoraz viac legitimovala predpoklad, že práve mozgová kôra je sídlom kognitívnych procesov. Súvis medzi anatomickou topológiou kôry a určitými psychickými funkciami bol priebežne potvrdzovaný nálezmi cerebrálnej patológie⁵, nakoľko sa ukazovalo,

5 V súčasnosti sa dá sledovať dynamika, hierarchická organizácia a delba práce v mozgu pomocou nein-vazívnych zobrazovacích techník, ako sú NMR (nukleárna magnetická rezonancia), PET (pozitronová emisná tomografia) a CT (komputerová tomografia). Porov. BENUŠKOVÁ, L.: Kognitívna neuroveda. In: RYBÁR, J. – BENUŠKOVÁ, L. – KVASNIČKA, V.: *Kognitívne vedy*. Bratislava : Kalligram, 2002, s. 47 – 103.

že poškodenie špecifickej časti kôry je sprevádzané narušením príslušnej psychickej funkcie. Vychádzajúc z postupne sa hromadiacich poznatkov, môžeme na základe vzťahu jednotlivých kortikálnych oblastí k rôznym funkciám rozlíšiť *senzorické, motorické a asociačné* oblasti kôry.

Na to, že človek je prevažne vizuálna bytosť, poukazuje skutočnosť, že takmer tretina kôry je určená na spracovanie zrakových informácií. V zadnej časti tylných lalokov sa nachádza *primárna zrková oblasť, V1* ako súčasť ešte zložitejšieho, hierarchicky usporiadaného subsystemu. *Sluchová oblasť* je lokalizovaná po stranách spánkových lalokov. Sluchová oblasť však zohráva dôležitú úlohu nielen pri zmyslovej percepcii, ale je rozhodujúca aj pri procesoch spojených so spracovaním reči a jazyka.

Na spodnej časti frontálneho laloku sa nachádza kyjovitý útvar, ktorý je v úzkom prepojení s limbickým systémom. Táto časť kôry s názvom *bulbus olfactorius* je *primárnym čuchovým centrom*.

Postcentrálny závit temenného laloku je sídlom *somatosenzorickej oblasti* – elektrická stimulácia konkrétnych miest tejto časti kôry vyvoláva pocity napr. tepla, chladu, dotyku, šteklenia či bolesti na korešpondujúcom mieste tela. Obdobne stimulácia *primárnej motorickej oblasti* lokalizovanej v *gyrus praecentralis* frontálneho laloku, ktorá je od somatosenzorickej oddelená centrálnou brázdou a má na starosti vôľou riadené pohyby, doslova rozpohybuje príslušnú časť tela.⁶

Napokon rozoznávame ešte rozsiahle kortikálne oblasti, ktoré nie sú priamo spojené s motorickými alebo senzorickými procesmi. Tieto sú z hľadiska spracovania určitého typu dát hierarchicky najvyššie a nazývame ich *asociačné oblasti kôry*.

Neurón

Popri extenzívnom mapovaní makroskopickej architektúry cerebrálnych štruktúr umožnil rozvoj zobrazovacích techník revolúciu v oblasti poznania mikroskopickej skladby mozgového tkaniva na bunkovej, vnútrobunkovej, resp. molekulárnej úrovni.

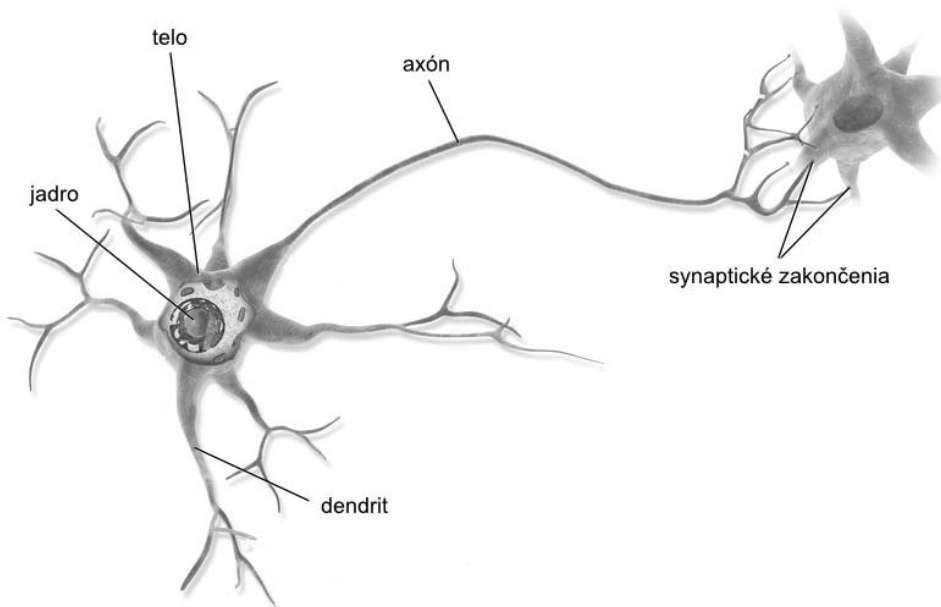
Ako v prípade každého iného biologického tkaniva je základnou stavebnou jednotkou mozgovej hmoty bunka. Z hľadiska problematiky, na ktorú sa v tejto štúdii zamieriavame, sú prioritným predmetom záujmu štúdia predovšetkým nervové bunky – *neuróny*.⁷

6 Telesná schéma, reprezentovaná motorickým kortexom, má približne tvar človeka dole hlavou, tzn., že pohyb palcov nohy je ovládaný časťou kôry blízko vrcholu mozgu, zatiaľ čo jazyk je ovládaný najnižšie položenými oblasťami.

7 Pre podrobnejšie informácie o stavbe a funkcii neurónu porov. BRODAL, P.: *The Central Nervous System: Structure and Function, Fourth Edition*, Oxford University Press USA – OSO, 2010; porov. GAZZANIGA, M. S.: *The cognitive neurosciences, 5th edition*. Cambridge : MIT Press, 2014; porov. KOCH, CH.: *Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons*. New York : Oxford

Odhaduje sa, že v ľudskom mozgu sa nachádza približne 10^{11} neurónov⁸ pričom mozgová kôra je tvorená až dvomi tretinami ich celkového množstva.

Neurón ako každá iná bunka ľudského tela je ohraničená voči externému prostrediu semipermeabilnou fosfolipidovou membránou, ktorá okrem toho, že chráni vnútorné prostredie bunky a podieľa sa na metabolizme či interakcii s okolím, zohráva kľúčovú úlohu pri prenose nervových impulzov. Vnútrajšok nervovej bunky je vystužený subtílnymi štruktúrami *mikrotubúl*, *neurofilamentov* a *aktínovej mriežky*. Tieto tvoria molekulárny skeleton podieľajúci sa na morfológii neurónu, zodpovedajúcej jeho (v porovnaní s ostatnými bunkami) špecifickej funkcii, ktorou je spracovanie a prenos informácií. Popri bunkovom tele (*soma*) s jeho bunkovým jadrom (*nucleus*) obsahujúcim molekulu DNA je typickou štruktúrnou súčasťou každého neurónu obvykle pomerne bohatá výbava výbežkov. Tie sa delia na kratšie dostredivé výbežky, *dendrity*,⁹ ktorých môže byť až niekoľko tisíc na jednom neuróne a dlhšie odstredivé vlákno, nazývané *axón*. Prostredníctvom týchto výbežkov býva neurón prepojený až s niekoľkými tisíckami ďalších nervových buniek, formujúc zložito organizovanú neuronálnu sieť s ohromnou informačnou kapacitou, ktorou mozog vo svojej podstate je.



Obr. č. 1.

University Press, Incorporated, 2004; POSTLE, B. R.: *Essentials of Cognitive Neuroscience*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2015.

8 Porov. KANDEL, E. R. – SCHWARTZ, J. H. – JESSEL, T. M.: *Principles of Neural Science* (3th edition). Noewalk : Appleton & Lange, 1991.

9 Dendrity tvoria akési vetvovité pripomínajúce korunu stromu – odtiaľ etymologický pôvod termínu (z gréc. *dendron* = strom).

Vizuálny systém

Kedže až tretina kortexu¹⁰ je určená na spracovanie zrakom získaných dát, je zrejme, že pokiaľ ide o zmyslosť, vizualita je dominantnou modalitou ľudského rodu. To je jeden z dôvodov, prečo zúžime rozsah nášho záujmu na vizuálny systém ako na najvhodnejší cerebrálny mechanizmus pre ďalšie skúmanie s cieľom hlbšieho porozumenia nastolenej problematike. Druhý dôvod je oveľa pragmatickejší – vizuálny systém je doposiaľ najviac preskúmaným mechanizmom spracovania zmyslových informácií v ľudskom mozgu.

Zrak je v bežnom porozumení bezprostredne spájaný s očami. Oko ako optické zariadenie, schopné zachytiť niektoré predmety externého prostredia, je naozaj pre zrkové vnímanie nevyhnutné, avšak o tom či uvidíme a čo uvidíme rozhoduje v konečnom dôsledku koordinovaná kooperácia viacerých cerebrálnych subštruktúr zodpovedných za vizuálnu percepciu.¹¹

Ak ponecháme bokom optický aparát, kľúčovou štruktúrou oka je *sietnica (retina)*, ktorá je prvým informačno-procesným zariadením vizuálneho systému. Sietnica sa skladá z viacerých celulárnych vrstiev, ktoré formujú systém tzv. receptívnych polí, schopných detekovať prítomnosť špecifickej charakteristiky svetelného podnetu. Optická stimulácia je zachytená vrstvou fotoreceptorov (tyčinky a čapíky), s kadiaľ je konvergentným princípom s istým filtračno-selektívnym efektom cez vrstvu bipolárnych buniek zvedená ku vrstve gangliových buniek, ktorých axóny zásobujú dátami cerebrálne oblasti.

Zo sietnice oboch očí sú predspracované informácie odosielané *optickým nervom* cez tzv. *chiasma opticum* (miestom, kde sa krížia vlákna druhostranných častí sietnic cestou do opačnej hemisféry) a pokračujú *optickým traktom* do *CGL (corpus geniculatum laterale)*, talamickej štruktúry, slúžiacej ako relé prepájajúce retinálne dáta s kôrovými centrami zraku.

Oblasť, ktorú sme už spomínali, *V1*, teda *primárna zrková oblasť*, lokalizovaná v týlnom laloku, je prvou kortikálnou subštruktúrou zásobovanou senzoričnými dátami, prichádzajúcimi z *CGL*. S oblasťou *V1* sú v čulom komunikačnom styku ďalšie oblasti spracovania vizuálnych dát *V2, V3, V4, V5* a *IT* tvoriac vizuálny asociačný kortex.

Spracovávanie informačného toku v uvedených subštruktúrach je koordinovaným, čoraz komplexnejším spracovaním údajov na hierarchicky stále vyššej úrovni. Počnúc sietnicou, každá z týchto neuronálnych štruktúr je relatívne samostatným modulom, ktorý má na starosti špecializované analyticko-syntetické úlohy pri vyhodnocovaní rôznych aspektov vizuálneho obrazu a parciálny výsledok svojej činnosti posúva k ďalšej oblasti spracovania, blížiac sa k finalizácii celého percepčného úkonu. Jednotlivé subsystémy podieľa-

10 Porov. BEŇUŠKOVÁ, L.: Kognitívna neuroveda. In: RYBÁR, J. – BEŇUŠKOVÁ, L. – KVASNIČKA, V.: *Kognitívne vedy*. Bratislava : Kalligram, 2002, s. 51.

11 Pre podrobnejší prehľad o štruktúre a funkcii vizuálneho systému porov. CRICK, F.: *Věda hledá duši. Překvapivá domněnka*. Praha : Mladá fronta, 1997, s. 127 – 179.

júce sa na procesovaní vnemu sú priestorovo diferencované v rozdielnych oblastiach cerebrálnej architektúry, sú však zosieťované takým spôsobom, že množstvo rozdielnych operácií prebieha v dynamickej previazanosti sériovej, ako aj paralelnej povahy.

Potom, ako sme v naozaj skratkovitom prehľade nazreli do architektúry zrakových oblastí mozgu a pokúsili sa o sprostredkovanie elementárneho vhladu do logiky mechanizmu príslušných cerebrálnych subštruktúr, môžeme na vizuálny systém nahliadať ako na sústavu zosieťovaných cerebrálnych modulov, spracúvajúcich senzorické dáta. Je čoraz zrejmejšie, že čím hlbšie sa ponárame do neurofyziologických súvislostí, tým viac sa pohybujeme v informačno-komunikačnej oblasti – v oblasti vysielania, prijímania a spracovania informácií.¹² V tomto kontexte typická dichotómia *informačný vstup/informačný výstup* implicitne pracuje s predpokladom *procesných operácií*, resp. úkonov *spracovania* predmetnej informácie medzi vstupom a výstupom, pričom pod výstupom rozumieme práve výsledok onoho spracovania. Táto dichotómia v konečnom dôsledku referuje k problematike *modifikácie* – informácia na výstupe nie je v plnom zmysle identická s informáciou na vstupe, a to napriek tomu, že sa stále sústreďujeme na situáciu zrakového uchopenia jedného a toho istého externého objektu v našom zrakovom poli.

Proces senzorického spracovania videneho objektu je celou sériou metamorfóz informačného materiálu, z ktorého napokon povstáva vedomý vnem.

Transdukcia¹³

K modifikácii v informačnom toku dochádza hneď vo viacvrstvovom systéme sietnice, kde prichádza k prvému stretu našej zmyslovosti s predmetom videnia. V skutočnosti totiž "nevidíme" samotný predmet, nakoľko naše oko neprichádza do kontaktu so zobrazovaným predmetom, ale so štruktúrovaným usporiadaným prúdom svetla. To vedie k predpokladu, že nevyhnutnou úlohou zmyslového aparátu bude detekcia štruktúrneho invariantu v určitom spôsobom usporiadanej svetelnej stimulácii.¹⁴ Keďže vizuálny systém je sústavou celej série informačných subsystémov, je zřejmé, že musí existovať nejaký mechanizmus, ktorým sa informácia o štruktúre svetelnej stimulácie na retinálnom vstupe komunikuje naprieč vizuálne orientovanými cerebrálnymi oblasťami.

Aby takáto komunikácia bola možná, je nutné akékoľvek informácie o spracovávanom objekte preložiť do jazyka, s ktorým cerebrálny informačný systém pracuje. Keďže membrány všetkých buniek tela sú elektricky polari-

12 Porov. GAZZANIGA, M. S.: *The cognitive neurosciences*, 3th edition. Cambridge : MIT Press, 2004, s. 1 214.

13 Podrobnejšie porov. KOCH, CH.: *Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2004.

14 Porov. GIBSON, J. J.: *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Houghton Mifflin, 1966; GIBSON, J. J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*. Lawrence Erlbaum Associates, 1987.

zované a ich rôzna miera excitácie sa prejavuje zmenami membránového potenciálu, je prirodzené, že médiom pre signály šíriace sa cerebrálnym tkanivom budú elektrické procesy. Preto jednou z retinálnych funkcií je tzv. *transdukcia* – proces, v ktorom sa dáta nesené svetelným žiarením prostredníctvom chemickej aktivity vo vnútri tyčiniek a čapíkov transformujú na dáta elektrickej povahy.

Akčný potenciál

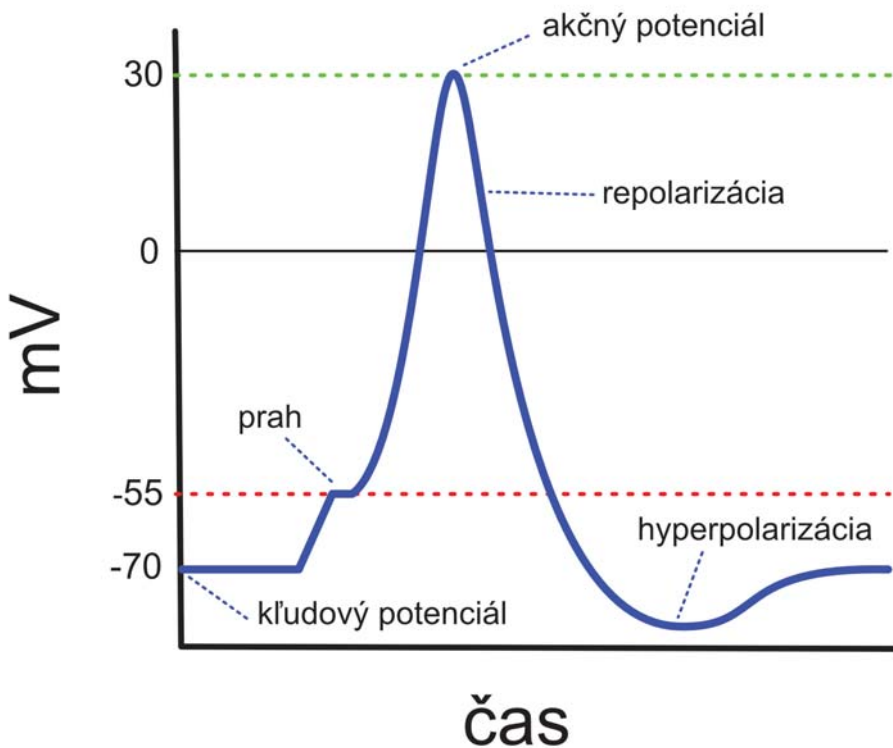
Ako už bolo povedané, základnou jednotkou spracovania informácie v cerebrálnom tkanive je neurón. To, že neuróny sú schopné prijímať signály prichádzajúce od iných neurónov a vysielat' k nim vlastné signály, zabezpečujú špeciálne biochemické procesy, umožňujúce transformáciu chemickej modalít'y signálu na elektrickú.¹⁵ Neurón informácie prijíma prostredníctvom dendritov a tela, axómom je informácia vysielaná smerom k prepojeným neurónom. Z informačného hľadiska teda dostredivé výbežky dendrity zodpovedajú vstupu, odstredivé axóny výstupu.

Množstvo dendritov zachytáva signály prichádzajúce od ostatných prepojených neurónov, tie sú ďalej zvädzané smerom k telu, kde sa za istých podmienok hodnota excitácie postupne kumuluje až dosiahne tzv. *prah*, t. j. istú hladinu elektrického napätia, obvykle okolo -55 mV. Ak hladina napätia v neuróne dosiahne túto prahovú hodnotu, doposiaľ inaktívny neurón vygeneruje signál. Neuronálny signál je šírením tzv. *akčného potenciálu* pozdĺž dlhého axonálneho vlákna¹⁶. Podstatou akčného potenciálu je membránová *depolarizácia*. Vnútro bunkové prostredie nervovej bunky je totiž v neaktívnom stave typické vyššou koncentráciou iónov draslíka (K^+), kým mimobunkové prostredie vyššou koncentráciou iónov sodíka (Na^+), vápnika (Ca^{2+}) a chlóru (Cl^-) a membrána je preto z hľadiska rozloženia elektrického náboja polarizovaná, čo znamená, že na jej vonkajšej strane je vyššia koncentrácia pozitívneho náboja, zatiaľ čo na vnútornej strane bunkovej membrány je celkový negatívny náboj. Takéto rozloženie elektrického náboja na oboch stranách membrány zodpovedá tzv. kludovému potenciálu v hodnote cca -60 až -90 mV. V momente, keď postupne sa zvyšujúce napätie dosiahne prahovú hodnotu, dochádza (spravidla na axónovom hrbolčeku, t. j. iničiálnom segmente, v mieste, kde sa axón vynára z tela neurónu) k lokálnej depolarizácii a napätie prudko (anglická terminológia s istou dávkou sympatickej expresívnosti používa výraz *to fire* v zmysle *vypáliť, vystrelit'*) stúpne na hodnotu cca 30 až 50 mV, čo je nasledované obdobne prudkou hyperpolarizáciou, t. j. poklesom napätia pod kludovú hodnotu.

15 Porov. BEŇUŠKOVÁ, L.: Kognitívna neuroveda. In: RYBÁR, J. – BEŇUŠKOVÁ, L. – KVASNIČKA, V.: *Kognitívne vedy*. Bratislava : Kalligram, 2002, s. 53.

16 Porov. KOCH, CH.: *Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2004, s. 142 – 171.

V tomto stave neurón zotrúva krátky časový okamžik¹⁷, počas ktorého je neaktivovateľný, a to aj pri hypoteticky dostatočnej sume vstupnej stimulácie, čo zabezpečuje *diskrétnosť* signálu. To znamená, že jednotlivé depolarizačné vlny sú zreteľne oddelené inaktívnymi fázami a týmto spôsobom takpovediac dávkované, čo umožňuje z informačného hľadiska kľúčové rozloženie rytmu generovania impulzu. Zbežné zhodnotenie situácie by mohlo našepkávať, že práve amplitúda akčného potenciálu je vhodným kandidátom na kódovanie intenzity excitácie, v skutočnosti však krivka popisujúca osciláciu hodnôt napätia ľubovoľného počtu vystrelených impulzov ostáva nemenná – hovoríme tu o stereotypnosti akčného potenciálu. V rámci procesu prenosu informácie na jednom axóne sa teda možnosti kódovania informácie zužujú na kvantitu impulzov a ich rytmickú štruktúru. Pokiaľ však ide o kvantitu, narážame tu tak isto na určité limity – maximálna schopnosť väčšiny neuónov vypáliť impulz je cca 1 000-krát za sekundu.



Obr. č. 2.

¹⁷ Tzv. *refractory period* – porov. KOCH, CH.: *Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2004, s. 154 – 155.

Synapsia

Doteraz sme venovali pozornosť akčnému potenciálu v rámci jedného neurónu. Hoci frekvenčný a rytmický vzorec impulzov šíriacich sa pozdĺž jednotlivého axónu má čiastočnú informačnú hodnotu, o neuronálnej transmisii v plnom zmysle slova môžeme hovoriť až na úrovni prenosu informácie z neurónu na ďalšie prepojené neuróny naprieč nervovými dráhami, okruhmi a sieťami v zložitých spätnoväzbových komunikačných procesoch.

Kľúčový transmisný mechanizmus sa odohráva v miestach, kde sa kolaterály axonálneho vlákna kontaktujú so zosieťovaným neurónmi. Takýto transmisný bod sa nazýva *synapsia*, čo etymologicky, vychádzajúc z gréckeho *syn-haptein* (a je viac-menej analogické latinskému *con-tactus*) referuje k *styku*, *dotyku* zosieťovaných neurónov. Tento dotykový význam je skôr ozvenou staršej tradície, pretrvávajúcej do 19. storočia, keď panovala predstava, že nervová sieť je spojitá, takpovediac zrastená. Neskôr sa totiž ukázalo, že neuróny sú samostatné štrukturálne a funkčné jednotky, ktoré sa v skutočnosti nedotýkajú. Rozšírené zakončenie axonálnej vetvy, tzv. *terminal*, nedolieha k membráne nasledujúceho neurónu, naopak, medzi oboma bunkami je zachovaná cca 20 – 40 nm široká¹⁸ tzv. *synaptická štrbina*, ktorá oddeľuje presynaptickú membránu od postsynaptickej membrány.

Procesy, ktoré sa odohrávajú v synapsii, zohrávajú esenciálnu úlohu pri transmisii signálu medzi neurónmi a *de facto* sú jednou z nevyhnutných podmienok pre komunikačnú funkčnosť cerebrálnych štruktúr. Signál, kódovaný akčným potenciálom, je elektrickej povahy, transmisné premostenie naprieč synaptickou štrbinou je však sprostredkované pôsobením chemických látok, nazývaných *neurotransmitery*¹⁹, čiže *prenášače* neuronálneho signálu. V momente, keď depolarizačná vlna akčného potenciálu dorazí do zakončenia presynaptického neurónu, v ktorom sú vo *vezikulách*, t. j. intracelulárnych komorovitých útvaroch, tzv. synaptických vačkoch, uskladnené zásoby určitého neurotransmiteru, dochádza k takzvanej *exocytóze*, keď sa molekuly neurotransmiteru uvoľňujú z vezikúl a vylievajú sa do mimobunkového prostredia synaptickej štrbiny, kde môžu transmisne pôsobiť. Molekuly neurotransmiteru zabezpečujú prenos signálu tým, že sa chemicky viažu so špecifickými väzobnými miestami v membráne postsynaptického neurónu. Efekt tejto chemickej väzby je parciálna zmena elektrického napätia v "kontaktovanej" nervovej bunke, pričom môže ísť tak o excitačný efekt, ako aj inhibičný efekt.²⁰ Postsynaptický neurón tak môže byť stimulovaný a zároveň inhibovaný tisíckami synaptických udalostí a výsledná kumulatívna hodnota napätia buď dosiahne prahovú hodnotu, keď neurón vygeneruje impulz, alebo nie, a neurón ostáva inaktívny (hovoríme tu o *princípe všetko alebo nič*).

18 Porov. <http://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=108451>

19 V súčasnosti poznáme niekoľko desiatok neurotransmiterov.

20 Z tohoto hľadiska sa synapsy delia na excitačné a inhibičné.

Problematika interpretačného charakteru vnímania

Z doteraz načrtnutého kontextu je zrejmé, že koncepcia mozgových štruktúr ako materiálneho substrátu *mentálnych* fenoménov je v súčasnosti založená na ťažko otrasiteľnej poznatkovej základni. Pochopiteľne sa ponúka predpoklad, že ak porozumieme materiálnym procesom odohrávajúcim sa v cerebrálnom tkanive, dostaneme odpoveď na otázku o povahe *mentálneho*, pričom z epistemologického (a v konečnom dôsledku aj z ontologického) hľadiska je prioritne zaujímavá otázka, ako biologická sústava niekoľkých miliárd nervových buniek "produkuje" vedomú skúsenosť.

Za ústredný kognitívny útvar, ku ktorému bude smerovať naša analýza, budeme považovať uvedomený vizuálny vnem, t. j. výsledok percepčnej udalosti, v ktorej do fenomenálneho poľa vedomia vstupuje diskkrétne "čosi" vynímajúce sa na pozadí predpercepčnej vágnosti, nadobúdajúc ohraničujúce kontúry rozoznateľného a rozoznaného objektu.

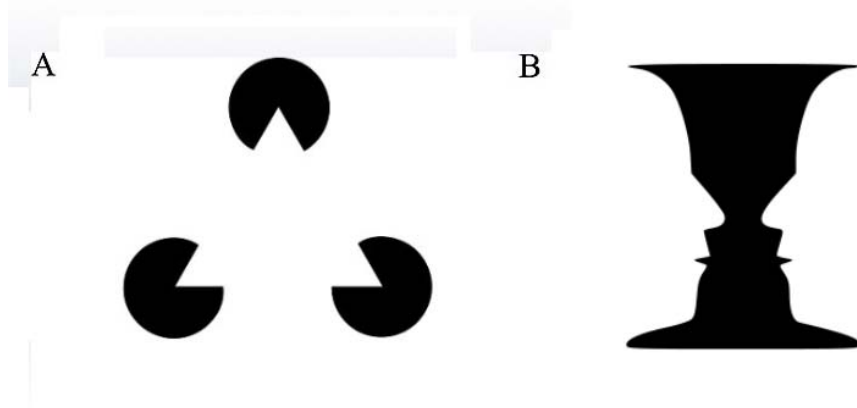
Predtým však, ako budeme pokračovať v rozbere cerebrálnych mechanizmov percepcie, zastavme sa na chvíľu pri základných charakteristikách vedomej stránky vnemu.

Po etablovaní sa empirickej psychológie ako samostatnej vednej disciplíny koncom 19. storočia sa jednou z najintenzívnejšie skúmaných oblastí výskumu stala práve problematika percepcie. Po niekoľkých dekádach plodného výskumu sa v dvadsiatych rokoch 20. storočia v rámci berlínskej školy experimentálnej psychológie kryštalizovala filozofia mysle, známa ako *Gestalt psychológia*.²¹ Ako názov napovedá, ústredný ontologicko-epistemologický koncept tohoto prístupu je *gestalt*, čiže *tvar*, útvar – *celok*, ktorý v holistickom zmysle predchádza svojim časťami, na ktoré nemôže byť redukovaný. V kontexte štúdia percepcie gestaltizmus zdôrazňoval, že *gestalt je perceptuálne primárnym fenoménom vedomej skúsenosti*, ktorý nemožno chápať ako sekundárnu kvalitu nejakým spôsobom generovanú pluralitou jeho častí.

Na základe množstva experimentov gestaltisti dospeli k formulácii základných princípov vedomej percepčnej skúsenosti. *Prinícip emergencie* hovorí, že objekt nie je rozoznaný identifikáciou jednotlivých častí, ale sa *vynára* vo vedomí ako celok v unifikovanom percepčnom akte. *Prinícip reifikácie* poukazuje na konštruktívny a generatívny charakter vnímania. Percepcia obohacuje obsah vnemu o aspekty a informácie, ktoré v podnetovom materiále absentujú. *Prinícip multistability* – multistabilná percepcia je fenomén viacznačného percepčného zážitku, oscilujúceho medzi dvomi a viacerými percepčnými alternatívami iniciovanými identickou retinálnou stimuláciou. *Prinícip invariencie* je schopnosť percepcie rozoznať geometrický objekt ako stále ten istý nezávisle

21 Problematike, ktorú rozpracovali gestalt psychológovia sa podrobnejšie zaoberá Crick – porov. CRICK, F.: *Věda hledá duši. Překvapivá domněnka*. Praha : Mladá fronta, 1997, s. 33 – 66.

na zmenách jeho polohy, rotácie, priestorovom presune či rôznych svetelných podmienkach. Obrázok č. 3, časť A demonštruje *prinícip reifikácie*, t. j. príklad fenoménu vnímania trojuholníka na obrázku, na ktorom trojuholník nie je. Časť B, známa ilúzia Rubinovej vázy/tvári je ilustráciou *princípu multistability*.



Obr. č. 3.

Základné princípy vnímania v jeho subjektívnej modalite sú pre problematiku vzťahu neuronálneho substrátu vnímania a povahou fenomenálnej skúsenosti mimoriadne zaujímavé. Výsledky skúmania gestalt psychológie nás totiž upozornili na skutočnosť, že to, čo nám naša zmyslosť ponúka na výstupe, t. j. vo fenomenálnom poli vedomia ako výsledný vnem, nie je nutne a presne to isté ako to, čo pôsobí na naše receptory²². Inými slovami, medzi vstupnou podnetovou salvou, vyvolanou predpokladaným externým objektom fyzikálne či chemicky pôsobiacim na naše zmysly, a finálnym vnemovým zobrazením nie je vzťah jednoduchej, takpovediac priamočiarej projekcie v zmysle optického odrazu.²³ Naša percepcia nie je pasívnym médiom, na ktoré sa "vypáli" odraz snímaného objektu, ako je to napr. v prípade filmu exponovaného prostredníctvom objektívu fotoaparátu. V priebehu času bolo čoraz zrejmejšie, že naša zmyslosť je prekvapujúco aktívna, takmer by sa dalo povedať kreatívna. Podnetový materiál je niekde medzi sensorickým vstupom a percepčným výstupom uchopený, spracovaný a stvárnenny do finálnej podoby vedomého vnemu. Ukazuje sa, že náš percepčný systém podnetový materiál štrukturuje, organizuje a interpretuje, kompozične modifikuje, edituje a sémanticky rekonfiguruje.

22 Problematika gestaltu sa stala významnou aj v oblasti filozofie vedy, a to najmä cez holistické pozadie zmeny paradigmy a sociologickú podmienenosť v Kuhnovom paradigmatickom prístupe. Porov. KARABA, M.: *Revolutionary Theories of Scientific Progress*. Warszawa : Rhetos, 2017, s. 71 – 74.

23 V takom zmysle, že ľubovoľnej charakteristike X na viditeľnej strane externého objektu zodpovedá projekčná vlastnosť X' mentálneho obrazu.

Ďalší *gestalt* zákon, *zákon figúry a pozadia*, poukazuje na apriórny sklon našej percepcie vyfiltrovať z podnetovej pestrosti určitý *gestalt*, ktorý bude v pozícii fokusovaného objektu, odlišného voči zvyšku stimulácií zorného poľa, ustupujúcemu a vnárajúcemu sa do neurčitosti pozadia (a to aj v situácii, keď je podnetové pole bezpredmetné, t. j. neurčité, nejasné a konfúzne). Je ilustráciou primátu *gestaltu* vo fenomenálnom svete. Pre "nás" ľudí je zo subjektívneho hľadiska percepcia vždy *o figúre a pozadí*. Je to natoľko bezprostredný fakt nášho vedomého života, že sa nad tým nepozastavujeme.

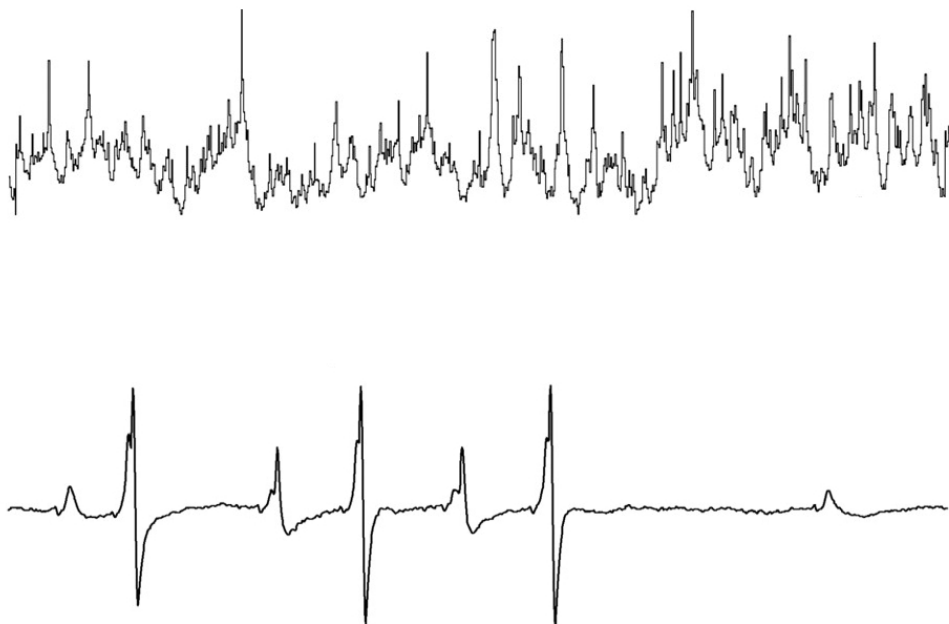
Na sietnici je však situácia radikálne odlišná. Primitívna percepčná situácia, keď pozadie tvorí jednoliata plocha, na ktorej sa v centračnom akte vyníma práve jeden homogénny a jasne odlišený predmet, je viac-menej hypotetická, v praxi je zorné pole takmer vždy komplexné a opticky rozrôznené do bohatých podnetových štruktúr. Sietnica, ako vieme, rovnako nie je jednoliatou projekčnou plochou, ale členitým konglomerátom, doslova mozaikou 126 000 000 rôzne stimulovaných receptívnych buniek. Táto receptívna mozaika je v istých fragmentoch času bombardovaná obrovským množstvom fotónov, čo predstavuje ohromnú stimulačnú pluralitu.

Preto sa natíska otázka, ako náš zmyslový aparát "vie", čo je predmet a čo je pozadie? Alebo inými slovami, ako náš zmyslový aparát "vie", ktoré časti podnetového poľa percepčne zoskupiť, odizolovať a v ohraničujúcom akte vyňať, oddeliť od ostatnej podnetovej masy, ktorej pripadne rola pozadia. Ako sa selektuje, detekuje a následne percepčne vykrojí to, čo sa objaví vo fenomenálnom poli vedomia ako vnímaný predmet či jeho časť?

Otázka kódovania senzorických dát

Existuje teda nejaký systém kódovania rozdielov v pluralite senzorických podnetov? Existuje systém kódovania jednotlivých excitačných dávok, indikujúci napr. presnú priestorovú pozíciu na sietnicovej "mriežke" v zmysle súradnicového určenia umiestnenia excitovaného receptívneho poľa v mozaike sietnice alebo excitačnú štrukturáciu každej jednotlivéj receptívnej bunky na časovej osi?

Jedným zo spôsobov kódovania informácie, ktorý už bol spomenutý, je kódovanie frekvenciou a štruktúrou intervalov akčného potenciálu. Obr. č. 4 ilustruje dva grafické záznamy sledu impulzov (tzv. *spike train*), ktoré sú zobrazením štruktúrneho vzoru "pálenia" akčného potenciálu, generovaného neurónom v čase, pričom rozdielny vzor zodpovedá rozdielu v stimulácii.



Obr. č. 4.

Ďalším typom kódovania, ktoré však nie je bez transdukcie a frekvenčného kódu možné, je *funkčná diferenciácia anatomických súčastí spracovania* senzorických dát.

Rozdelenie procesných úloh sa odohráva už v rámci organizácie celulárneho sietnicového systému, ktorý vytvára mozaiku *receptívnych polí*. Pod pojmom *receptívne pole* vo všeobecnosti rozumieme skupinu senzitívnych buniek, zásobujúcich stimulačnými podnetmi "zbernú" nervovú bunku. V prípade *retinálnych receptívnych polí* ide zväčša o kruhovo usporiadané zoskupenia fotoreceptorov sietnice, excitujúce konvergentným spôsobom "svoju" retinálnu gangliovú bunku, ktorej reakcia je tak vlastne do istej miery syntézou informácií z príslušných detektorov tvoriacich jej receptívne pole. Tieto kruhové útvary sú navyše vo väčšine prípadov rozlíšené na kruhové *centrum* a koncentrické *okolie* buniek s rozličným typom odpovede na svetelnú stimuláciu. Rozlišujeme dva hlavné typy *retinálnych receptívnych polí* podľa toho, ako reagujú na svetelný podnet. *On-off* polia aktivujú svoju gangliovú bunku iba v tom prípade, ak svetlo dopadá do ich centra. Svetelná stimulácia ich okolia gangliovú bunku naopak inhibuje. Gangliové bunky *off-on* polí reagujú opačne, inhibíciou pri stimulácii centra, aktiváciou pri stimulácii okolia. Na základe tohoto detekčného mechanizmu dokáže vizuálny systém rozoznať a amplifikovať kontrasty v zrakovom poli.

Receptívne polia sietnice sú navyše ďalej diferencované podľa toho, či stimulačne zásobujú napr. tzv. *parazolové bunky*, ktoré sú citlivé na väčšie objekty či rýchle zmeny v podnetoch alebo tzv. *trpasličie bunky*, zamerané na detekciu farieb a jemnejších detailov. *Trpasličích* buniek je približne 80%

a s menšími receptívnymi poliami. Naopak *parazolových* buniek je cca 10%, majú väčšie receptívne polia. Popri uvedených typoch gangliových buniek s príslušnými receptívnymi poliami je v súčasnosti známych ešte niekoľko ďalších kategórií gangliových buniek (napr. *bistratified* bunky, *fotosenzitívne* gangliové bunky), ktoré takisto procesujú istú parciálnu časť dát vizuálneho podnetu.

Ďalšou úrovňou funkčne-procesnej diferenciácie je talamicá štruktúra *CGL*, ktorá je do istej miery projekciou sietnice, čo znamená, že priestorovo navzájom susediace receptívne bunky sietnice axonálne kontaktujú navzájom susediace bunky *CGL* – hovoríme tu o *retinotopickom* princípe. V tomto zmysle je štruktúra *CGL* akosi lineárnou reprezentáciou sietnice. Podobne ako na sietnici, rovnako v *CGL* sú informácie procesované prostredníctvom receptívnych polí s tým, že sa tu prejavuje hierarchizujúci princíp spracovania informačného toku, keď receptívne polia vyššej úrovne sú sýtené vstupmi, ktoré sú výstupmi receptívnych polí nižších vrstiev.²⁴

Napriek tomu, že *retinotopia CGL* do istej miery zachováva sietnicovú kompozíciu podnetov, objavuje sa tu už zložitejšia organizácia informačného procesu. Podnetová stimulácia, ktorá bola z priestorového hľadiska exponovaná na sietnicu vo viac-menej dvojrozmernom obraze, je v *CGL distribuovaná* do anatomicky diferencovaných vrstiev tkaniva tejto talamickej štruktúry. *CGL* tvorí šesť vrstiev: a) štyri vrstvy parvocelulárnych buniek (lat. *parvus* = malý), ktoré sú dátovo zásobované trpasličími bunkami sietnice (2 vrstvy pre každé oko); b) dve vrstvy magnocelulárnych buniek (lat. *magnus* = veľký) dátovo zásobované parazólovými bunkami sietnice (po jednej vrstve pre každé oko).

Vidno, že procesovanie retinálne roztriedených senzorických údajov sa v *CGL* vetví do separovaných oblastí cerebrálneho tkaniva a rôzne charakteristiky vizuálneho podnetu sú analyticky vyňaté a spracúvané osve.

V päťdesiatych rokoch 20. storočia sa neskorším nositeľom nobelovej ceny Hubelovi a Wieselovi podarilo identifikovať a popísať sofistikovanú, funkčne založenú celulárnu hierarchiu kortikálnej oblasti *V1*. Ich experimentálna práca ukázala, že primárna zraková oblasť disponuje celou výbavou selektívnych nervových buniek, ktorých aktivácia je *exkluzívne* viazaná s určitým typom podnetu.²⁵

Rozlíšili tzv. *jednoduché bunky*, responzívne v plnej miere iba pri úsečkách či obdĺžnikových tvaroch určitej orientácie a pozície. To znamená, že úsečka exponovaná na sietnicu v akejkoľvek inej polohe vyvoláva buď redukovanú, chudobnú odpoveď, alebo ponecháva bunku úplne inaktívnu. Popri jednoduchých bunkách sa vo *V1* nachádzajú tzv. *komplexné bunky*, ktoré detekujú orientáciu, pohyb a smer pohybu. Napokon, hyperkomplexné bunky zodpovedajú za indikáciu podnetov určitej orientácie, pohybu, smeru a dĺžky.

24 Porov. HUBEL, D. H. – WIESEL, T. N.: Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. In: *The Journal of Physiology*. Vol. 160, 1962, s. 106 – 154.

25 Porov. HUBEL, D. H. – WIESEL, T. N.: Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex. In: *The Journal of Physiology*. Vol. 148, 1959, s. 574 – 591.

Stúpajúc hierarchiou úrovní spracovania, prúdia dáta z nižších oblastí naprieč *asociačnými oblasťami kôry*. *Oblasť V₂* spresňuje detekciu hrán a obrysov a súvisí s odlíšením figúry od pozadia, *V₃* sa spolupodieľa na reprezentácii celého vizuálneho poľa a spracovaní globálneho pohybu, *V₄* je doménou spracovania jednoduchých geometrických tvarov a farby. *Oblasť V₅* je zodpovedná za "kreovanie" vnemu pohybu. Hierarchicky vyššie postavené neuróny tejto oblasti reagujú na pohyb celého komplexného vzoru na základe vstupov zo selektívnych smerovo-orientovaných neurónov. Poškodenia tejto oblasti vedú k *cerebrálnej akinetopsii*, spôsobujúcej tzv. "pohybovú slepotu" so symptomatickým zážitkom "sveta zamrznutého v čase", keď sa stráca hladkosť a plynulosť subjektívne vnímaného pohybu. Zdá sa, že mozog konštruuje vnem pohybu na základe vyhodnotenia zmien jednotlivých retinálnych snímok.

Ďalším príkladom *vetvenia* senzorických procesov je diferenciácia kortikálnych percepčných procesov na *dorsálny tok* a *ventrálny tok* spracovania dát.

Dorsálny tok, tzv. "*kde dráha*", prechádza od *V₂* cez *V₅* smerom k parietálnym kôrovým oblastiam a zabezpečuje detailnú analýzu údajov o umiestnení a pohybe objektov v priestore. Procesy dorsálneho toku sú esenciálne pre koordináciu motoriky umožňujúcej interakciu s predmetmi v dosahu tela. Poškodenia v oblasti parietálneho laloku rezultujú v neschopnosti pacientov lokalizovať predmety vo svojom okolí napriek neporušenej schopnosti predmety rozpoznať. Ľudia s takýmto poškodením majú napríklad problémy regulovať pohyby uchopovania predmetu na základe vizuálnych informácií či problémy vyhnúť sa kolíziám.

Ventrálny tok, tzv. "*čo dráha*" súvisí s rozoznávaním objektov. Smeruje od *V₂* oblasti cez *V₄* k temporálnej kôre. Výstupné neuróny tohoto procesného toku sú aktívované pri detekcii objektov vyššej úrovne poznania (napr. strom, zviera, auto, človek), ktoré abstrahujú od partikulárneho príznakového kontextu, ako je veľkosť, pozícia vo vizuálnom poli a pod. Dá sa povedať, že tu sa vizuálna informácia "mapuje" na sémantickú taxonómiu poznania.

Procesy reprezentácie a detekcie zložitých tvarov sa odohrávajú v *inferiórnej temporálnej kôre*. Neuróny v tejto oblasti majú veľké receptívne polia, ktoré však už nemajú retinotopické usporiadanie. Niektoré zabezpečujú odpoveď na veľmi špecifické konkrétne tvary ako napríklad na tváre, výrazy tváre, časti tela a podobne. Niektoré responzívne pokrývajú celé zrkové pole a pravdepodobne tak participujú na percepcii priestorovej invariance objektov. Ako vidno, informácie sú vizuálnym systémom spracovávané do istej miery sériovo a sekvenčne, od istej úrovne však vo viacerých paralelne pracujúcich oblastiach a dráhach.

Ak by sme mali v istom zjednodušení zhrnúť kľúčové charakteristiky procesu spracovania senzorických dát vizuálnym systémom mozgu, môžeme začať konštatovaním, že ide o nesmierne *komplexnú organizáciu* dielčích procesov.

Sme svedkami celého sledu *analyticko-syntetických cyklov*. Už na sietnici dochádza k rozloženiu obrazu na elementárne zložky kvalitatívnych

príznakov, pričom už táto fáza je *selektívne klasifikačná*. Ak si uvedomíme, že gangliová vrstva sietnice je tvorená približne 1 000 000 buniek v porovnaní so 126 000 000 vrstvou tyčiniek a čapíkov²⁶, je zjavné, že gangliová reprezentácia predmetu je akýmsi selektívnym výťažkom vstupnej stimulačnej bohatosti - syntetizuje, amplifikuje a informačne reštrukturuje iba perцепčne relevantné dáta.

Ďalším znakom je *funkčne-anatomická distribúcia* spracovania dát, založená na istej miere *exkluzivity* jednotlivých procesných súčastí voči špeci-fickým príznakovým kvalitám podnetového materiálu.

Napokon treba zdôrazniť *hierarchickú štruktúru*, a to v podobe procesnej nadväznosti čoraz vyšších úrovní komplexnosti vyhodnocovania informácie, ako aj v podobe anatomickej hierarchie zúčastnených cerebrálnych oblastí. V súvislosti s hierarchizáciou procesovania sensorických dát je užitočné upozorniť na skutočnosť, že popri vzostupných tokoch parciálnych procesných línií sa tematizuje tzv. *top-down* aktivita, keď informačný tok prúdi od vyšších úrovní hierarchie k nižším, vytvárajúc zložité spätnoväzbové okruhy s koordinačne-regulačnou funkciou. Niektorí dokonca upozorňujú, že aktuálna retinálna informácia, tvorí iba istý podiel na výslednom obraze generovanom vyššími cerebrálnymi oblasťami, ktorý je v konečnom dôsledku *konformovaný*, po procesnej ako aj obsahovej stránke, kognitívnym materiálom skúsenostného rezervoáru – čo poukazuje na zaujímavú skutočnosť, že výsledný vnem je do veľkej miery *konštrukčnou* záležitosťou centrálnych asociačných okruhov s masívnymi *top-down* zásahmi.

Otázka časovania neuronálnych procesov

Keďže sietnica ako celulárny konglomerát, tvorený stovkami miliónov fotoreceptívnych buniek, je *de facto* mozaikovitého charakteru, výsledok expozície môžeme nazvať sietnicovou dekonštrukciou zobrazovaného predmetu. Zobrazovaný predmet je totiž v momente expozície na sietnicu prostredníctvom receptívnych polí rozložený, dekonštruovaný do matrice excitácií a inhibícií množstva gangliových buniek. Každá individuálna miera excitácie zodpovedá parciálnemu výseku prúdu fotónov, ktorý "priteká"²⁷ od zobrazovaného predmetu.

Sietnicová "snímka" exponovaného obrazu je na jednej strane pluralitou celulárnych excitácií rôzneho charakteru a rôznej intenzity, na druhej strane však jednotou diskrétného okamihu, ktorý môžeme nazvať *retinálny*

26 Porov. SCHACTER, D. L.: *Psychology, Second Edition*. New York : Worth Publishers, 2011, s. 136 – 137. Tyčinky sú excitovateľné jediným fotónom – čapíky vyžadujú väčšie množstvo fotónov, aby boli aktivované a vyslali signál.

27 Narážka na duálny, vlnovo/časticový charakter svetla.

expozičný čas. Primárnym jednotiacim princípom excitačnej (rôzna miera intenzity a charakteru excitácie), ako aj anatomickej (mnohosť individuálnych anatomicky samostatných a funkčne diferencovaných buniek) mnohorakosti bude teda *retinálny expozičný čas*.

Táto funkcia *retinálneho expozičného času* bude zjavnejšia, ak si uvedomíme, že v prípade, ak na sietnici bude v istom čase exponovaný jeden objekt, napr. čierny kruh, a v inom čase druhý objekt, napr. čierny štvorec, môže nastať situácia, kde istá partikulárna bunka sietnice bude excitovaná rovnakým spôsobom či intenzitou a jediným vodičkom, na základe ktorého by sme boli schopní určiť, či daná excitačná hodnota (ešte raz podotýkame, v oboch prípadoch rovnaká) jednej a tej istej receptívnej bunky referuje k objektu 1 alebo k objektu 2, bude práve príslušný expozičný čas.

Na tento problém narazili aj zástupcovia koncepcie kódovania prostredníctvom neuronálnych populácií (*neuronal assembly coding*), ktorí vychádzajúc z Hebbovej²⁸ charakteristiky *neuronálneho zoskupenia* (*neuronal assembly*) ako populácie všetkých neurónov, ktoré sa podieľajú na partikulárnej neuronálnej komputácii, t. j. takpovediac okamžikovej, dočasnej dynamickej sústavy s rozptýlenou štruktúrou separovaných oblastí kortexu a medzimozgu (*diencephalon*), schopnej správať sa ako uzavretý systém, zdôrazňovali, že otázka kódovania podnetovej informácie nemôže byť zodpovedaná z úrovne analýzy transmisie signálu v rámci singulárnych synáps, či jednoduchého lineárneho zreťazenia neurónov. Prelomenie kódovania informácie o externom objekte bude podľa tohoto prístupu skôr výsledkom štúdia celého štruktúrneho a aktivačného vzorca koordinovaného komplexu excitovaných neurónov, ktoré reprezentujú daný objekt v rámci cerebrálneho tkaniva.

Uvedená koncepcia však implicitne pracuje s logickým predpokladom, že jednotlivé neuróny môžu byť v rôznych časových okamihoch súčasťou takmer neobmedzeného množstva rôznych neuronálnych zoskupení, čo znamená, že jeden a ten istý neurón môže participovať na rozličných perceptuálnych udalostiach a reprezentovať tak rôzne objekty^{29 a} kľúčovým diferencujúcim znakom musí byť pozícia udalosti na časovej osi.

Je teda jasné, že interpretácia spracúvaných dátových komplexov s cieľom diferencovať kognitívny obsah nie je možná bez časového indexu príslušnej perceptuálnej udalosti. Hoci teda v súčasnosti disponujeme pomerne solídnym pôdorysom štruktúrno-funkčných súvislostí neuronálnych komplexov kódujúcich perceptuálne dáta, vynorila sa nevyhnutnosť identifikovať mechanizmus zodpovedný za subtílnu reguláciu časovej štruktúry sensorických procesov.

28 Porov. HEBB, D. O.: *The organization of Behavior*. New York : Wiley, 1949.

29 Porov. SANNITA, W. G.: Stimulus-specific oscillatory responses of the brain: a time/frequency-related coding process. In: *Clinical Neurophysiology*. Vol. 111, Issue 4, 2000, s. 565 – 583.

Problém väzby³⁰

Kódovanie dynamickými neuronálnymi zoskupeniami zviditeľnilo problematiku časovej štruktúry senzorickeho toku. S touto problematikou je úzko previazaná ďalšia diskutovaná otázka *integrácie difúzných procesov* v procesne previazaných oblastiach, t. j. otázka *viazania (binding)* cerebrálne distribuovaných makroskopických vzorcov neuronálnej aktivity do koherentného celku.

Pri tematizácii anatomického kódovania parciálnych aspektov objektu bolo ukázané, že znaky ako farba, tvar, textúra, veľkosť, jas, pozícia v priestore, pohyb vyvolávajú excitáciu v separovaných oblastiach vizuálneho kortexu, z čoho vyplýva, že v prípade vnemu ide o kombináciu multimodálnej senzorickej informácie, procesne rozptýlenej v rôznych oblastiach mozgovej architektúry. Informácia dekonštruovaná na elementárne príznaky a lokálne spracovávaná v rozličných, relatívne špecializovaných cerebrálnych oblastiach, čo jasne poukazuje na nevyhnutnosť globálnej integrácie celej tejto procesnej monohorakosti do zjednoteného útvaru, ktorý by zodpovedal gestalt charakteru vedomého.

Ukazuje sa však, že súčasná neuroveda doteraz neidentifikovala žiadny *lokálny* korelát tejto synchronizácie. Zdá sa, že zatiaľ čo parciálnym úrovniám syntéz v procese spracovania rozličných zmyslových *príznakov* (ang. *features*) zodpovedajú konkrétne, pomerne dobre zmapované miesta v cerebrálnej architektúre vnemu, v prípade finálnej syntézy jednoty fenomenálneho vnemu zatiaľ chýba ono hypotetické *karteziánske divadlo* v podobe centra konvergencie cerebrálnych informácií o vnímanom predmete.

Predbežne sa pracuje s alternatívou vychádzajúcou z niekoľkých sľubných experimentálnych výsledkov, naznačujúcich, že populácie nervových buniek zodpovedných za distribuované kódovanie jedného objektu majú sklon k časovej synchronizácii rytmu generovania akčného potenciálu. Možno konštatovať, že experimentálne dáta podporujú predpoklad, že koherentné neuronálne zoskupenia súvisia so synchronizáciou fáz simultánne zaznamenaných EEG signálov. Ponúka sa tu idea, že finálna informácia o exponovanom objekte je reprezentovaná práve integráciou rôznych úrovní synchronizácie neuronálnych populácií. Výsledná koherencia medzi mnohými oblasťami mozgu sa tak javí ako vhodný kandidát na pozíciu cerebrálneho korelátu unitárnej a holistickej povahy fenomenálneho vnemu.

Je však treba upozorniť na to, že uvedený fenomén EEG koherencie, nie je riešním binding problému v plnom zmysle slova, ale skôr deskriptívnym konštatovaním, nakoľko proces ležiaci v pozadí tejto synchronizácie súvisiacej s informačnou konvergenciou, ktorá zjednocuje perceptuálnu skúsenosť, ostáva neznámy.

³⁰ Porov. BOB, P.: *Brain, Mind and Consciousness: Advances in Neuroscience Research*. Springer Science+Business Media, 2011.

Perspektívy riešenia problematiky vedomého perceptu

Podľa niektorých sa riešenie binding problému nezaobíde bez konfrontácie s fundamentálnym problémom vedomia. Libet napr. ku sklonku života prišiel s návrhom, že subjektívna skúsenosť vedomia by mohla zodpovedať akémusi poľu, vynárajúcemu sa z neurálnej synchronizácie a koherencie s tým, že toto pole nie je redukovateľné na žiadny fyzikálny proces³¹. Squires v súlade s Libetom presadzuje ideu, že vedomie so svojou subjektívnou povahou má byť chápané ako primitívny a neredukovateľný komponent sveta.³²

Naopak, napr. Dennet³³ sa snaží rezignovať na koncepciu jednotného vedomia a predostiera tzv. *multiple draft* model s viacerými parciálnymi procesmi jednotlivých cerebrálnych centier spracovania dát.

Zdá sa, že Gazzanigove štúdie separovaných kognitívnych procesov v chirurgicky oddelených hemisférach u pacientov trpiacich epilepsiou by mohli Dennetov koncept podporiť, avšak samotný Gazzaniga pri bilancovaní stavu svojho odboru na začiatku tretieho tisícročia píše, že cieľ nie je nikde v dohľade, pretože ústredná otázka, ako mozog vie, či, *kedy* a *ako* koordinačne zosúladiť procesy určitého neuronálneho systému, ostáva nezodpovedaná. Gazzaniga je presvedčený, že moderné štúdie nechávajú priestor pre *homunkula (ducha v stroji)*, ktorý má na starosti riadenie všetkej cerebrálnej prevádzky. Upozorňuje na skutočnosť, že na poli kognitívnej neurovedy sa pracuje s koncepciou "top-down" procesov, t. j. procesov, ktoré sú regulované feedbackom "vyšších" oblastí mozgu, avšak aký mechanizmus je vlastne ono "top" v "top-down" ostáva nejasné."³⁴

Problematika vedomia vo vzťahu k svojmu cerebrálnemu korelátu bola adresovaná aj zo strany niektorých nekonvenčných hypotéz vzťahujúcich sa k rôznym fyzikálnym konceptom, ako je napr. teória komplexity, teória chaosu a v neposlednom rade kvantová teória. Vstup niektorých moderných fyzikálnych konceptov do diskurzu o povahe vedomia predstavuje istý príslub tým, že pracujú s fenoménom vedomia ako s integrálnym faktorom fyzikálnych procesov na rozdiel od klasickej mechanisticky vystavanej fyziky, ktorá pracuje s deterministickým predpokladom explikačnej dostatočnosti lokálnych mechanických procesov pre finálne porozumenie akéhokoľvek empiricky skúmateľného fenoménu.

Ako to však obvykle býva, v priestore konfrontácie vedeckých paradigiem prebieha diskurz plný polemík a cesta k odpovediam na otázky, ktoré boli preberané v našom článku bude komplikovaná.

31 Porov. LIBET, B.: *Mind Time – The Temporal Factor in Consciousness*. Harvard University Press, 2004.

32 Porov. JOHN, E. R.: The neurophysics of consciousness. In: *Brain Research Reviews*. Vol. 39, Issue 1, 2002, s. 1 – 28.

33 Porov. DENNETT, D.: *Consciousness explained*. Boston : Little, Brown, 1991.

34 GAZZANIGA, M. S.: *The cognitive neurosciences, 3rd edition*. Cambridge : MIT Press, 2004, s. 1 214.

Použitá literatúra

- ANCTIL, M.: *Dawn of the Neuron: The Early Struggles to Trace the Origin of Nervous Systems*. MQUP, 2015, 370 s.
- BEŇUŠKOVÁ, L.: Kde sa jazyk stretáva s vedomím. In: RYBÁR, J. – KVASNIČKA, V. – FARKAŠ, I.: *Jazyk a kognícia*. Bratislava : Kalligram, 2005, s. 235 – 261.
- BEŇUŠKOVÁ, L.: Kognitívna neuroveda. In: RYBÁR, J. – BEŇUŠKOVÁ, L. – KVASNIČKA, V.: *Kognitívne vedy*. Bratislava : Kalligram, 2002. 47 – 103.
- BOB, P.: *Brain, Mind and Consciousness: Advances in Neuroscience Research*. Springer Science+Business Media, 2011.
- BRODAL, P.: *The Central Nervous System: Structure and Function* (Fourth Edition). New York : Oxford University Press USA – OSO, 2010, 1 368 s.
- BYRNE, J. H. – ROBERTS, J. R. – HEIDELBERGER, R. – WAXHAM, M. N.: *From Molecules to Networks: An Introduction to Cellular and Molecular Neuroscience*. Elsevier Science & Technology, 2003, 599 s.
- CRICK, F.: *Věda hledá duši. Překvapivá doměnka*. Praha : Mladá fronta, 1997, 309 s.
- DENNETT, D.: *Consciousness explained*. Boston : Little, Brown, 1991.
- DOBEŠ, M.: *Základy neuropsychologie*. Košice : Spoločenskovedný ústav SAV, 2005.
- FRIED, I. – MORAN CERF, M. – KREIMAN, G. – RUTISHAUSER, U.: *Single Neuron Studies of the Human Brain: Probing Cognition*. MIT Press, 2014, 382 s.
- FUSTER, J. M.: *Cortex and Mind: Unifying Cognition*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2005, 294 s.
- GAZZANIGA, M. S.: *The cognitive neurosciences III*. MIT Press, 2014.
- GIBSON, J. J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*. Lawrence Erlbaum Associates, 1987.
- GIBSON, J. J.: *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Houghton Mifflin, 1966.
- HEBB, D. O.: *The organization of Behavior*. New York : Wiley, 1949.
- HUBEL, D. H. – WIESEL, T. N.: *Brain and Visual Perception: The Story of a 25-Year Collaboration*. New York : Oxford University Press USA – OSO, 2004, 729 s.
- HUBEL, D. H. – WIESEL, T. N.: Receptive Fields, Binocular Interaction and Functional Architecture in the Cat's Visual Cortex. In: *The Journal of Physiology*. Vol. 160, 1962, s. 106 – 154.
- HUBEL, D. H. – WIESEL, T. N.: Receptive Fields of Single Neurones in the Cat's Striate Cortex. In: *The Journal of Physiology*. Vol. 148, 1959, s. 574 – 591.
- JOHN, E. R.: The neurophysics of consciousness. In: *Brain Research Reviews*. Vol. 39, Issue 1, 2002, s. 1 – 28.
- KARABA, M.: *Revolutionary Theories of Scientific Progress*. Warszawa : Rhe-tos, 2017.
- KOCH, CH.: *Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2004, 562 s.

- LIBET, B.: *Mind Time – The Temporal Factor in Consciousness*. Harvard University Press, 2004.
- LIBET, B. – FREEMAN, A. – SUTHERLAND, J. K. B.: *The volitional brain: Towards a neuroscience of free will*. Imprint Academic, 1999.
- LIBET, B. – GLEASON, C. A. – WRIGHT, E. W. – PEARL, D. K.: Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. In: *Brain*. Vol. 106, Issue 3, 1983, s. 623 – 642.
- POSTLE, B. R.: *Essentials of Cognitive Neuroscience*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2015, 582 s.
- RYBÁR, J. – BEŇUŠKOVÁ, L. – KVASNIČKA, V.: *Kognitívne vedy*. Bratislava : Kalligram, 2002, 357 s.
- RYBÁR, J. – KVASNIČKA, V. – FARKAŠ, I.: *Jazyk a kognícia*. Bratislava : Kalligram, 2005, 419 s.
- SANNITA, W. G.: Stimulus-specific oscillatory responses of the brain: a time/frequency-related coding process. In: *Clinical Neurophysiology*. Vol. 111, Issue 4, 2000, s. 565 – 583.
- SCHACTER, D. L.: *Psychology, Second Edition*. New York : Worth Publishers, 2011, s. 136 – 137.
- SWANSON, L. W.: *Brain Architecture. Understanding the Basic Plan*. New York : Oxford University Press, Incorporated, 2002, 263 s.

Mgr. Martin Šarkan, PhD.
Teologická fakulta Trnavskej univerzity
Kostolná 1, P. O. Box 173
814 99 Bratislava
e-mail: martin.sarkan@truni.sk