

MARCO MAGRINI

MOZOG

NÁVOD NA POUŽITIE



Stručná príručka
k najzložitejšiemu prístroju
na svete

IKAR



Marco Magrini
Cervello. Manuale dell'utente

Copyright © 2017 by Giunti Editore S.p.A., Firenze-Milano
www.giunti.it
Cover design © Lorenzo Pacini
Translation © 2021 by Stanislav Vallo
Slovak edition © 2021 by IKAR, a.s.

Všetky práva sú vyhradené.

Nijaká časť tejto knihy sa nesmie reprodukovať, ukladať do informačných systémov ani prenášať v akejkoľvek podobe či akýmkoľvek spôsobom – elektronicky, mechanicky, fotokopírovaním, nahrávaním alebo inak – bez predchádzajúceho písomného súhlasu vlastníka autorských práv.

Zdroje obrázkov:

123RF: © designua s. 22, 27, 37

AdobeStock: © Ben Schonewille s. 50

Shutterstock: © vasabii s. 1, 45, 58; © Kittisak Taramas/graphixmania s. 13, 19, 43, 65, 81, 99, 151, 175, 181, 205, 213, 225

Poznámka prekladateľa

V niektorých medicínskych učebniciach sa všetky neuróny privádzajúce signály do centrálnej nervovej sústavy označujú buď ako senzitívne, alebo ako senzorické. V iných sa odlišujú senzitívne (prijímajú informácie z kože, zo svalov a z vnútorných orgánov) a senzorické (prijímajú informácie týkajúce sa sluchu, rovnovážneho zmyslu, zraku, chuti a čuchu) neuróny.

Z talianskeho originálu *Cervello. Manuale dell'utente*

(Giunti Editore S.p.A., Firenze-Milano 2017) preložil Stanislav Vallo.

Odborná spolupráca MUDr. Ľubica Procházková, CSc.,

MUDr. Jana Rohaľová, PhD., MUDr. Vladimír Štrbák, DrSc.,

MUDr. Romana Vallová, MUDr. Jakub Vallo.

Redigovala Tatiana Langová.

Korigovala Mária Benčatová.

Technická redaktorka Helena Oleňová.

Vydalo vydavateľstvo IKAR, a.s., Bratislava

v roku 2021 ako svoju 1 777. publikáciu v elektronickej podobe.

Prvé vydanie.

Sadzba a zalomenie do strán Veronika Jelenová.

ISBN 978-80-551-8097-7

MARCO MAGRINI

MOZOG

NÁVOD NA POUŽITIE

Stručná príručka k najzložitejšiemu prístroju na svete

Doslov Tomaso Poggio

Preložil Stanislav Vallo

IKAR

Venujem Jajovi a Lilli.

OBSAH

Úvod	9	3.2.5 Bazálne jadrá	54
1.0 Opis celku	13	3.2.6 Opaskový závit	56
1.1 Technické údaje	17	3.3 Mozog primátov	57
1.2 Verzia systému	18	3.3.1 Mozgová kôra	58
2.0 Komponenty	19	4.0 Hlavné charakteristiky	65
2.1 Neuróny	20	4.1 Predvídanie	65
2.1.1 Dendrity	24	4.2 Pamäť	69
2.1.2 Telo neurónu	25	4.3 Plasticita	73
2.1.3 Axón	25	4.4 Inteligencia	76
2.1.4 Synapsy	27	5.0 Inštalácia	81
2.2 Neurotransmitery	29	5.1 Pred uvedením do prevádzky	81
2.3 Gliové bunky	36	5.2 Uvedenie do prevádzky	83
2.3.1 Mikroglia	38	5.3 Energetická náročnosť	86
2.3.2 Astrocyty	39	5.3.1 Napájanie	87
2.3.3 Oligodendrocyty	39	5.3.2 Spánok	90
2.4 Ďalšie časti	40	5.3.3 Cvičenie	94
2.4.1 Hematoencefalická bariéra	40	5.4 Odporúčania	96
2.4.2 Mozgovomiechový mok	41	6.0 Účinnosť	99
3.0 Topografia	43	6.1 Zmysly	100
3.1 Mozog plazov	44	6.1.1 Čuch	101
3.1.1 Mozgový kmeň	46	6.1.2 Chuť	104
3.1.2 Mozoček	49	6.1.3 Zrak	105
3.2 Mozog cicavcov	50	6.1.4 Sluch	109
3.2.1 Lôžko	51	6.1.5 Hmat	111
3.2.2 Mandľovité teleso	51	6.1.6 Čas	113
3.2.3 Hipokampus	52		
3.2.4 Podlôžko	54		

6.2	Pocity a emócie	116	9.2.3	Obsedantno-kompulzívna porucha	199
6.2.1	Strach	117	9.2.4	Schizofrénia	199
6.2.2	Láska	120	9.2.5	Neurodegenerácia	200
6.2.3	Šťastie	123	9.3	Mýty, ktoré treba vyvrátiť	201
6.3	Vedomie	127	10.0	End-of-life (EOL)	205
6.3.1	Sebaúcta	129	10.1	Prípravná fáza	206
6.3.2	Empatia	132	10.2	Celoživotné vzdelávanie	210
6.3.3	<i>Weltanschauung</i>	135	10.3	Po všetkom	212
6.4	V pozadí vedomia	138	11.0	Aktualizácie	213
6.4.1	Systém odmeny	140	11.1	Rozšírenie pamäti	214
6.4.2	Slobodná vôľa	143	11.2	Stratégie pre mozog	217
6.4.3	Osobnosť	146	11.3	Látky podporujúce mozog	222
7.0	Ovládací panel	151	12.0	Budúce verzie	225
7.1	Motivácia	152	12.1	Neurotechnológie	226
7.2	Pozornosť	155	12.2	Geneticky modifikovaný mozog (GMM)	230
7.3	Učenie	159	12.3	Umelá inteligencia	233
7.4	Predstavivosť	164	Príloha		239
7.5	Rozhodovanie	167		Záruka	239
7.6	Kognitívne riadenie	170		Riešenie problémov	240
8.0	Modely	175		Právne ustanovenia	241
8.1	Porovnanie modelu Ž* s modelom M*	176	Doslov		243
9.0	Bežné problémy	181	Odporúčaná literatúra		247
9.1	Chyby vo výpočte	183	Register		249
9.1.1	Synestézia	184	Podakovanie		255
9.1.2	Placebo a nocebo	185			
9.1.3	Kognitívne skreslenie	186			
9.1.4	Falošné spomienky	188			
9.1.5	Zvyky a závislosti	189			
9.1.6	Chronický stres	192			
9.1.7	Fóbie a ilúzie	194			
9.2	Poruchy	196			
9.2.1	Autizmus	196			
9.2.2	Chronická depresia	197			

ÚVOD

Blahoželáme vám k zakúpeniu tohto exkluzívneho výrobku, ktorý bol vytvorený na mieru pre vás. Pozorne si prečítajte nasledujúci návod a majte ho vždy poruke, aby ste ho v prípade potreby mohli použiť.

Váš mozog vám poskytuje výnimočnú a ničím nenahraditeľnú službu. Fakt, že máte súbežne k dispozícii zmysly na vnímanie okolia, nervovú sústavu na riadenie pohybov a integrované vedomie na rozpoznávanie a rozhodovanie, vám určite zabezpečí roky nepretržitej existencie.

Ako povedal slávny vynálezca Thomas Alva Edison: „Telo slúži na to, aby nosilo po svete mozog.“ Zvláštny spôsob, ako vyjadriť, že v podstate ste svojím mozgom.

Svet je zasypaný miliónmi príručiek. Na webovej stránke www.manualsonline.com ich je viac ako 700-tisíc, a to pre akýkoľvek prístroj, aký si možno predstaviť – od fritézy cez kosačku trávy a zubnú kefku na batériu až po garážovú bránu. V tomto mikrokozme drobných informácií nenájdete o najdôležitejšom prístroji, ktorým sme všetci vybavení, ani zmienku.

Mozog je prístroj. Aspoň v tom zmysle, že paralelne vykonáva nesmierne zložité výpočty, aby v reálnom čase dešifroval informácie, ktoré sa k nemu dostávajú z početných periférnych zariadení (zmyslových orgánov či receptorov), s ktorými je spojený (najdokonalejším z nich sú oči). Odpoveď mozgu možno prirovnať k algoritmu – akoby myseľ bola softvér, ktorý beží na hardvéri mozgu.

Mozog však nie je prístroj v pravom zmysle slova. Nie je ani hardvér, ani softvér. Niektorí odborníci ho označujú za wetvér, aby zdôraznili biologickú podstatu mozgových procesov (anglické slovo *wet* znamená vlhký).

Je to najúžasnejší – a najtajomnejší – plod evolúcie.

Je úžasný, lebo v celom vesmíre nejestvuje nič, čo by sa mu z hľadiska zložitosti mohlo vyrovnáť. Pritom ho tvoria rovnaké atómy, aké sa nachádzajú v periodickej sústave prvkov a z akých sa skladá hviezdna obloha. Trpezlivo sú zostavené tak, aby vznikli myšlienky, slová, činy – prakticky všetko od dejín cez filozofiu a hudbu až po vedu.

Je tajomný, lebo práve veda, výplod samotného mozgu, jasne chápe, že o ňom ešte nenačerpala dostatok poznatkov – že o ňom nevie takmer nič.

Nielenže nemáme dosť vedomostí o tom, ako mozog funguje, ale nepanuje ani zhoda v tom, čím mozog v skutočnosti je. Už vonkoncom chýba zhoda v tom, čo je vedomie, aký je jeho najpozoruhodnejší znak, aké sú jeho vlastnosti a možnosti, ktoré naštartovali stáročia nedorozumení a zúrivých polemík nielen medzi teológmi a filozofmi. Ako príklad uvedieme, že nejestvuje jednohlasná zhoda ani len v otázke pravidelného útlmu vedomia nazývaného spánok. Ponúka sa viac ako dvadsať alternatívnych teórií o tom, prečo mozog potrebuje spať (i keď aj v spánku ďalej pracuje). Z tohto hľadiska nejestvuje zhoda ani v otázke porúch spánku a ich nepríjemných dôsledkov, ako je depresia. Pochopiteľne, nie je ťažké uhádnuť ani to, že nejestvuje jednotný názor ani jednotná predstava o tom, čo je depresia. Takto by sme mohli pokračovať donekonečna. Zároveň však máme k dispozícii obrovské množstvo poznatkov a vedomostí.

Prví filozofi si kládli otázku, či myseľ sídli v mozgu, alebo v srdci, a k druhej možnosti sa prikláňali aj také authority ako Aristoteles. Dnes vieme, že mozog je riadiacim centrom nervovej sústavy všetkých stavovcov a značnej časti bezstavovcov. Poznáme jednotlivé štádiá jeho vývoja, jeho stavbu. Vieme, že v každej bunke má uložený genetický kód a dokážeme ho prečítať. Máme k dispozícii nové zobrazovacie metódy

ako fMRI (funkčná magnetická rezonancia) alebo MEG (magnetoencefalografia), ktoré nám umožňujú pozorovať kognitívne procesy v čase, keď nastávajú. Pri retrospektívnom chápaní celého systému napredujeme mľľovými krokmi.

Návod na použitie chladničky zostavuje výrobca. Pokiaľ ide o mozog, výsledok vývoja prebiehajúceho milióny rokov, celé jeho tajomstvo budú môcť nakoniec odhaliť len indície zrekonštruované generáciami ľudských mozgov. Inteligencia sa pokúša pochopiť samu seba, akoby práve toto bola nevyhnutná evolúcia evolúcie.

Kompletná príručka k všetkému, čo o mozgu vieme, alebo si aspoň myslíme, že vieme, by mala obrovský rozsah a mohol by ju používať iba neurológ. Zato tento manuál má poslúžiť bežnému používateľovi ľudského mozgu. Je to zbierka zjednodušených vyjadrení o najzložitejšej veci, aká vôbec existuje. Dúfame teda, že bude užitočná pre praktické každodenné používanie mozgu.

„Keby bol ľudský mozog taký jednoduchý, že by sme ho mohli pochopiť, museli by sme byť takí jednoduchí, že by sa nám ho aj tak nepodarilo pochopiť.“ Tento citát je taký povestný, že ho prisudzujú aspoň trom rozličným autorom.*

Sme presvedčení, že ľudskému rodu sa to napokon podarí. Je to len otázka času. Ak nie zajtra, určite o dvadsať, sto či dvesto rokov mozog *Homo sapiens* napokon predsa len úplne porozumie ľudskému mozgu. Od jeho objavenia sa v evolučnom vývoji však dovtedy uplynú stovky storočí.

Tak ako návod na použitie akéhokoľvek iného výrobku, ani táto príručka neberie do úvahy dávnu minulosť našej nevedomosti či vzdialenú budúcnosť poznania, aké si dnes sotva vieme predstaviť. Jej predmetom je iba to, čo možno s ľudským mozgom skutočne robiť v prítomnosti, čiže oveľa viac, ako si myslíme.

* Výrok prisúdil Emersonovi Pughovi jeho syn George v knihe *The Biological Origin of Human Values (Biologický pôvod ľudských hodnôt)*. Pripisujú ho však aj Larrymu Changovi v jeho knihe *Wisdom for the Soul: Five Millennia of Prescriptions for Spiritual Healing (Múdrost pre dušu – päť tisícročí predpisov pre uzdravenie duše)* či matematikovi Ianovi Stewartovi.

Napredovanie techniky, ale aj mimoriadne vedecké objavy v posledných dvadsiatich rokoch deň čo deň potvrdzujú intuíciu Santiaga Ramóna y Cajala, jedného z otcov neurovedy: „Každá ľudská bytosť, ak má k tomu sklony,“ napísal v roku 1897, „sa môže stať sochárom vlastného mozgu.“

Dobré bude, aby váš mozog, tak ako mozog akéhokoľvek iného používateľa, vedel ako a prečo.



1.0 OPIS CELKU

V každej uplynutej sekunde vrátane tejto je vaša centrálna nervová sústava laboratóriom, kde sa odohrávajú milióny chemických reakcií, ktoré si vy, mimochodom, ani neuvedomujete. Je to jazyk, ktorý mozog používa na to, aby prijímal, spracúval a prenášal informácie.

Mozog bol dlho chápaný ako prístroj. Keďže každá predstava je dcérou svojej doby, René Descartes ho prirovnával k hydraulickej pumpe, Sigmund Freud k parnému stroju, Alan Turing k počítaču. Iste si viete predstaviť, že najbližšie sa dostal Turing. Mozog nie je počítačom v presnom zmysle slova, ale analógia medzi nimi je nepopierateľná.

Počítač aj mozog prenášajú informácie prostredníctvom elektrických správ. Pravda, v počítači sú odkazy digitálne (v dvojkovej sústave vyjadrené nulami a jednotkami) a v mozgu analógové (vyjadrené spojitými hodnotami napätia v milivoltoch). Celá záležitosť je však oveľa zložitejšia, lebo ak počet analógových správ prekročí určitú úroveň, neurón vyšle akčný potenciál a elektrický impulz sa preniesie na postsynaptické neuróny. Ak sa táto úroveň neprekročí, nedôjde k ničomu. Aj toto je binárna správa – áno alebo nie, zapnuté alebo vypnuté (Synapsy, str. 27).

Počítač aj mozog robia výpočty, no zatiaľ čo počítač má sekvenčnú štruktúru, čiže kalkuluje podľa vopred určeného sledu, mozog pracuje v paralelnom režime a vykonáva obrovský počet výpočtov súčasne (Zmysly, str. 100). Grafické procesory (*graphics processing unit*, GPU) však už zavádzajú paralelnú technológiu.

Počítač aj mozog potrebujú energiu. Počítač vo forme elektrónov, mozog v podobe kyslíka a glukózy (Napájanie, str. 87).

Jeden aj druhý, počítač aj mozog, majú rozšíriteľnú pamäť. Pri prvom postačí pridať alebo vymeniť pamäťové úložiská na báze kremíka, pri druhom stačí znásobiť synaptické spojenia prostredníctvom štúdia, cvičenia a opakovania (Pamäť, str. 69).

Obe zariadenia sa vyvinuli v priebehu času. Počítač exponenciálnym tempom tým, že každé dva roky zdvojnásoboval svoj výpočtový výkon, zatiaľ čo mozog *Homo sapiens*, vyvinutý z primitívneho mozgu prvotných bezstavovcov, na to potreboval asi 500 miliónov rokov a za posledných 50-tisíc sa na ňom veľa nezmenilo. V skutočnosti ide o ten istý základný model, ktorý máte k dispozícii aj vy (Topografia, str. 43).

Po stáročia, ba celé tisícročia panovalo presvedčenie, že ľudský mozog okrem obdobia detstva, keď sa učíme rozprávať a chodiť, je vo svojej podstate statický a nemenný. Že jeho fyzické poškodenie nie je možné napraviť, a to ani čiastočne. Že dieťa zaostávajúce v učení sa musí zmieriť s neprekonateľnými obmedzeniami v oblasti kognitívnych schopností, čo po celé generácie vytváralo živnú pôdu pre sociálnu nerovnosť. Ľudia verili, že zlozvyky a závislosti sú doživotným bremenom alebo že osemdesiatročný človek si nemôže udržať pamäť päťdesiatnika.

V skutočnosti však len od sedemdesiatych rokov 20. storočia zisťujeme, že pravdou je pravý opak – mozog sa ustavične mení, a práve zmena tvorí samotný základ jeho mechanizmov. Dôsledky tejto vlastnosti, označovanej aj ako plasticita (Plasticita, str. 73), presahujú hranice predstaviteľného. Mozog je mimoriadne výkonný asynchrónny a paralelný počítač a navyše si sám dokáže prispôbovať hardvér.

Mozog váži asi pol druhu kilogramu a jeho hardvér, zložený z dômyselne zostavených atómov a molekúl, obsahuje asi 86 miliárd neurónov. Keďže každý z nich môže vyslať akčné potenciály a zaplaviť nimi tisíce susedných neurónov aj dvesto ráz za sekundu, ktosi odhadol, že mozog dokáže za sekundu vykonať až 38 biliárd (38×10^{15}) operácií. Čírym nezmyslom je, že ľudia používajú len desať percent mozgu (Mýty, ktoré treba vyvrátiť, str. 201). Zaujímavé je, že na vykonanie tohto všetkého

mozog nespotrebuje ani 13 wattov. Nijaký superpočítač na svete zatiaľ nie je schopný prekonať výpočtový výkon ľudského mozgu (výpočtami sú aj zrak, sluch alebo predstavivosť) a už vôbec nie jeho neuveriteľnú energetickú úspornosť. To je však len začiatok.

Takmer všetky bunky v ľudskom tele ustavične vznikajú a zanikajú. Všetky okrem neurónov – tie jediné vás sprevádzajú na celej ceste vašej existencie od prvého dňa života po posledný (End-of-life, str. 205). V konečnom dôsledku práve ony vytvárajú všetko, čím ste. Osobnosť, schopnosti, talent, vzdelanosť, slovná zásoba, náchylnosti, chute, dokonca aj spomienky na minulosť – to všetko je istým spôsobom vpísané do vašej osobnej nervovej architektúry (Osobnosť, str. 146). Osobnej do tej miery, že na svete nejestvuje iný rovnaký mozog, ako je váš, a to ani v prípade, že máte dvojča.

Tento prístroj je dokonca v rámci určitých limitov schopný opraviť chyby vo svojom hardvéri. Ak sa jedna oblasť mozgu poškodí, často je schopný preprogramovať sa, zaniknuté spojenia preniesť inam a v podstate sa teda sám opraviť (Zrak, str. 105). Zatiaľ čo niečo podobné nastane vo veľkom rozsahu iba občas (ako v prípade straty zraku, keď sa nepoužívané oblasti mozgu zapoja do služby iným zmyslom), v malom rozsahu sa to deje ustavične, lebo v procese starnutia mnohé neuróny odumierajú a už sa neobnovujú. Tie, ktoré zostali nažive, presne vedľa, ako sa preorganizovať tak, aby pokročilý vek neprinášal neblahé následky (Stratégie pre mozog, str. 217), na rozdiel od kremíkového procesora, kde jediný poškodený tranzistor vyradí z prevádzky celé zariadenie.

Keď však hovoríme o preorganizovaní synaptických spojení, teda tých odhadovaných 150 biliónov (150×10^{12}) spojení medzi neurónmi, mozog nemusí čeliť krízovej situácii. Všetko robí sám a spontánne.

Vplyv neurónu na každý iný zo stoviek pripojených neurónov môže byť veľmi silný, veľmi slabý alebo na akejkoľvek úrovni medzi týmito extrémami, čo závisí od pevnosti a sily každej synapsy. Jestvuje aj pravidlo, s ktorým v roku 1949 prišiel kanadský vedec Donald Hebb: Medzi neurónmi, ktoré spoločne vysielajú akčné potenciály, vznikajú silnejšie spojenia (*Neurons that fire together wire together*). Práve týmto spôsobom –

vytváraním nových synáps, posilňovaním už jestvujúcich a odstraňovaním tých, ktoré prestali slúžiť – sa mozog ustavične reorganizuje (Uvedenie do prevádzky, str. 83). Veľký počet mozgových funkcií, počínajúc učením sa, závisí práve od tejto ustavičnej úpravy synaptických spojení a od ich sily a pevnosti. Skrátka, v rozpore s názorom, ktorý panoval celé stáročia, ľudský mozog vôbec nie je statický a nemenný.

- V niektorých prípadoch je schopný sám sa opraviť.
- Dieťa zaostávajúce v učení sa môže naučiť učiť sa. Stačí mu ukázať, ako sa to robí, a namiesto ustavičného karhania ho treba povzbudzovať (Učenie, str. 159).
- Človek sa môže zbaviť akýkoľvek zlozvykov, či už nepríjemných, alebo bežných. Aj ťažkú závislosť, napríklad od hazardných hier, možno dostať pod kontrolu a potlačiť (Zvyky a závislosti, str. 189).
- Starší človek si môže udržať pamäť dospelého mládenca, ak sa neprestane učiť a namáhať si mozog (Celoživotné vzdelávanie, str. 210).
- Naopak, stav pretrvávajúceho stresu alebo až posttraumatická stresová porucha spôsobuje neželané a dlhotrvajúce zmeny spojení medzi mozgovými neurónmi (Chronický stres, str. 192). Pozor, v niektorých prípadoch môže nie celkom bezchybné fungovanie mozgových štruktúr spôsobiť patologické stavy alebo iné neželateľné dôsledky, ktoré prekračujú rozsah tejto informatívnej príručky (Právne ustanovenia, str. 241) a vyžadujú rady a liečbu špecialistu (Poruchy, str. 196).

Používateľ fungujúceho mozgu však možno zistiť, že prostredníctvom vlastnej vôle dokáže aspoň sčasti zmeniť, upraviť a zosúladiť svoju synaptickú konfiguráciu (Ovládací panel, str. 151), a teda aj vlastný život.

Keďže votrelca s vyššou inteligenciou sme sa ešte nedočkali, mozog *Homo sapiens* zostáva tou najzložitejšou, najúchvatnejšou a najfantastickejšou vecou vo vesmíre. Práve vďaka zložitosti sú nervové bunky schopné zabezpečovať myslenie, inteligenciu a pamäť ušité na mieru každému jednému používateľovi. Ohromujúce je, že takýto biologický prístroj svojou účinnosťou a kalkulačnou schopnosťou ešte vždy v obrovskej miere prekonáva všetky ostatné prístroje sveta. Pozrieť sa naň bližšie je nádherné.

1.1 TECHNICKÉ ÚDAJE

Hmotnosť (priemerne)	1 350	g
Hmotnosť v pomere k celkovej telesnej hmotnosti	2	%
Objem (priemerne)	1 700	ml
Dĺžka (priemerne)	167	mm
Šírka (priemerne)	140	mm
Výška (priemerne)	93	mm
Priemerný počet neurónov	86	mld.
Priemer neurónov	4 – 100	µm
Pokojový potenciál neurónov	-70	mV
Počet sodíkových púmp na neurón	1	milión
Počet synáps	> 150 000	mld.
Pomer sivej a bielej hmoty v mozgovej kôre	1 : 1,3	
Pomer neurónov a gliových buniek	1 : 1	
Počet neurónov v mozgovej kôre (ženy)	19,3	mld.
Počet neurónov v mozgovej kôre (muži)	22,8	mld.
Úbytok neurónov v mozgovej kôre	85 000	za deň
Celková dĺžka myelinizovaných vláken	150 000	km
Celkový povrch mozgovej kôry	2 500	cm ²
Počet neurónov v mozgovej kôre	10	mld.
Počet synáps v mozgovej kôre	60 000	mld.
Počet vrstiev mozgovej kôry	6	
Hrúbka mozgovej kôry	1,5 – 4,5	mm
Objem mozgovomiechového moku	120 – 160	ml
pH mozgovomiechového moku	7,33	
Počet hlavových nervov	12	
Prietok krvi	750	ml/s
Spotreba kyslíka	3,3	ml/min
Spotreba energie	> 12,6	W
Maximálna rýchlosť šírenia elektrických impulzov	720	km/h
Teplota	36 – 38	°C

1.2 VERZIA SYSTÉMU

Tento mozog tvorí súčasť verzie 4.3.7 (G-3125)* nervovej sústavy, ktorá sa geneticky zdokonaľovala v priebehu stoviek miliónov rokov, aby vám ponúkla prvotriedny zážitok z ľudského života na tejto planéte.

Pokiaľ ide o zoznam aktualizácií (v súčasnosti nie sú k dispozícii nijaké), pozrite si časť Budúce verzie na strane 225.

* Verzia číslo 4.3.7 (G-3125) obsahuje:

4 = bezstavovce/stavovce/cicavce/primáty

3 = hominidi/australopitekus/*Homo*

7 = *Homo habilis*/*Homo ergaster*/*Homo erectus*/*Homo antecessor*/*Homo heidelbergensis*/*Homo sapiens*/*Homo sapiens sapiens*

G-3125 – odhadovaný počet generácií od objavenia sa mozgu človeka dnešného typu (*Homo sapiens sapiens*) po jeho súčasný mozog



2.0 KOMPONENTY

Z anatomického hľadiska vyzerá mozog ako jeden celok, ale nie je ním. Často ho idealisticky prezentujú ako sieť neurónov, no to je priveľké zjednodušenie. Skôr by sa dalo povedať, že ide o sieť sietí (a ďalších sietí).

Na každú mozgovú bunku (neurón, str. 20) by sme mohli nazerat ako na základnú mikroskopickú sieť riadenú genetickými pokynmi, ktoré sama obsahuje, a vytváranú miliónmi iónových kanálov, sodíkovo-draslíkových púmp a iných chemických mechanizmov a látok upravujúcich jej **membránový potenciál**, čiže rozdiel v napätí medzi vnútrom a vonkajškom bunky. Skutočnosť je však taká, že táto výpočtová jednotka by sama osebe neslúžila ničomu. Neurón prejavuje celú svoju silu v spojení s ostatnými neurónmi.

Nie náhodou sa informácie nenachádzajú v mozgových bunkách, ale v spojeniach medzi nimi, v **synapsách** (str. 27).

Typický neurón môže nadväzovať tisíce spojení s tisícami postsynaptických neurónov. Susediace neuróny sa organizujú do funkčných jednotiek, **jadier** – napríklad v podlôžku (hypotalame, str. 53), ktoré dosahuje veľkosť mandle, ich je viac ako pätnásť a každé vykonáva špecifickú úlohu –, alebo sa spájajú do reťazí a vytvárajú **mozgové okruhy**, ktoré riadia špecifické funkcie mozgu ako spánok alebo pozornosť. Tak ako množstvo neurónov vytvára okruh, viacero okruhov spája sily v záujme dosiahnutia rôznorodých výsledkov, ako je reč či empatia. Práve táto monumentálna sieť sietí generuje vedomie a inteligenciu (str. 76).