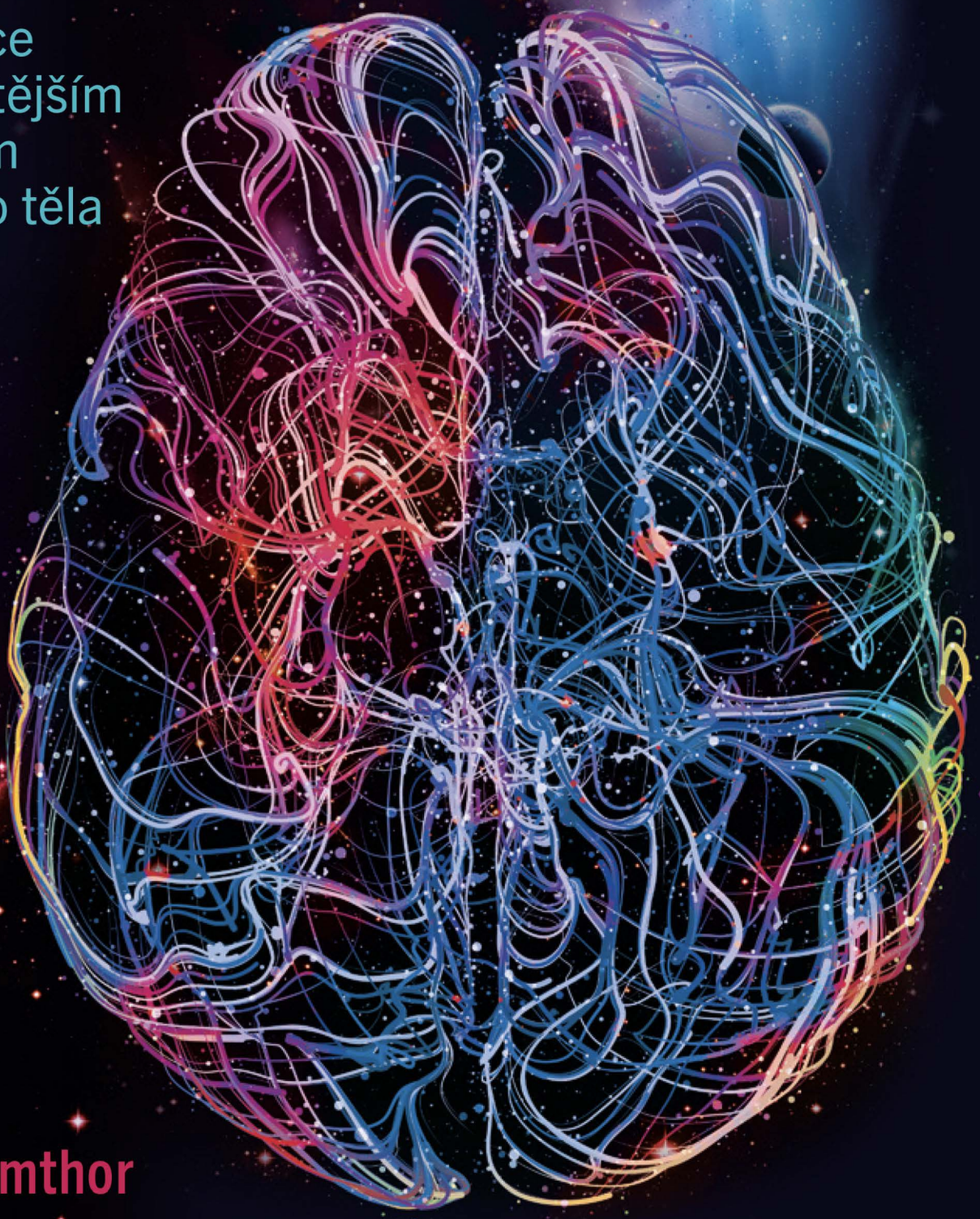
OBJEVUJTE MOZEK

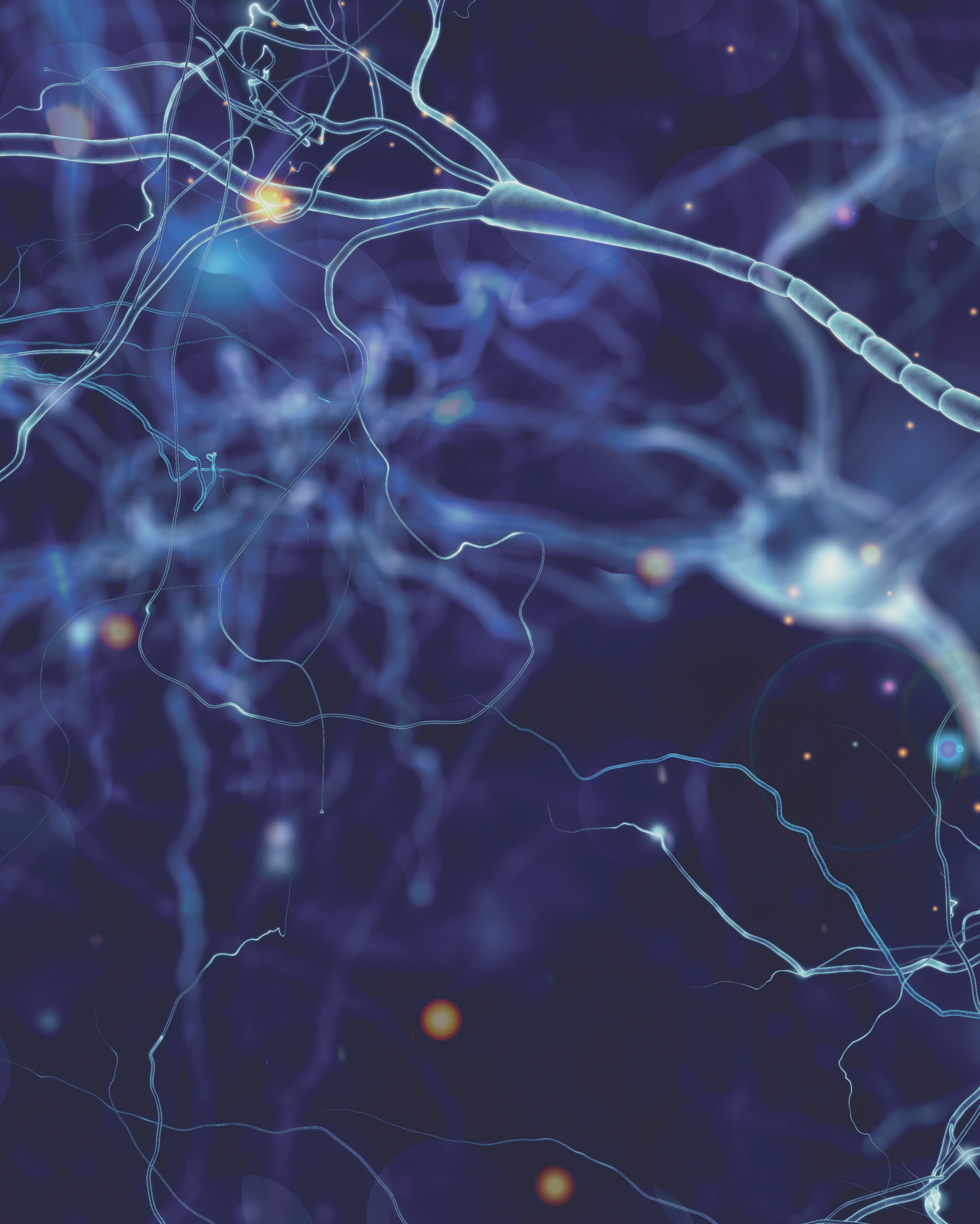
Průvodce nejsložitějším orgánem lidského těla



Frank Amthor

UNIVERSUM

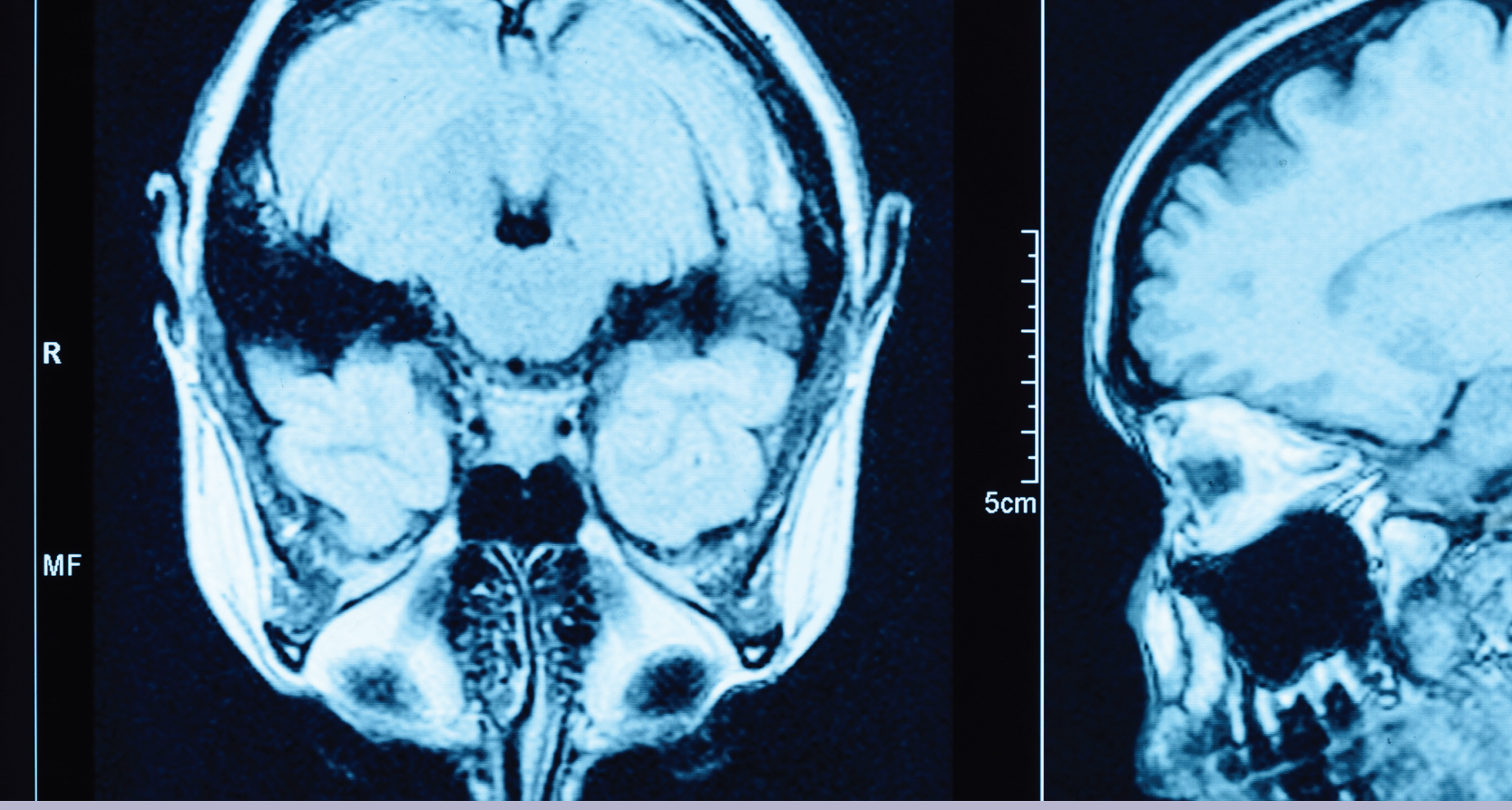
OBJEVUJTE MOZEK



OBJEVUJTE MOZEK

Průvodce nejsložitějším orgánem lidského těla

FRANK AMTHOR



OBJEVUJTE MOZEK
Frank Amthor

Z anglického originálu *Discovering the Brain: A guide to the most complex organ of the human body*, vydaného nakladatelstvím Arcturus Publishing Limited v Londýně v roce 2023,
přeložil Jan Grünwald
Redigovala Kristýna Matějková
Odborná revize Mgr. Luboš Brabenec, Ph.D.
Jazyková korektura Kamila Drahoňovská
Odpovědná redaktorka Alexandra Tinková
Technická redaktorka Lenka Gregorová
Počet stran 192

Vydala Euromedia Group, a. s., v edici Universum,
Nádražní 32, 150 00 Praha 5,
v roce 2026 jako svou 5763. elektronickou publikaci
Vydání první

www.euromedia.cz

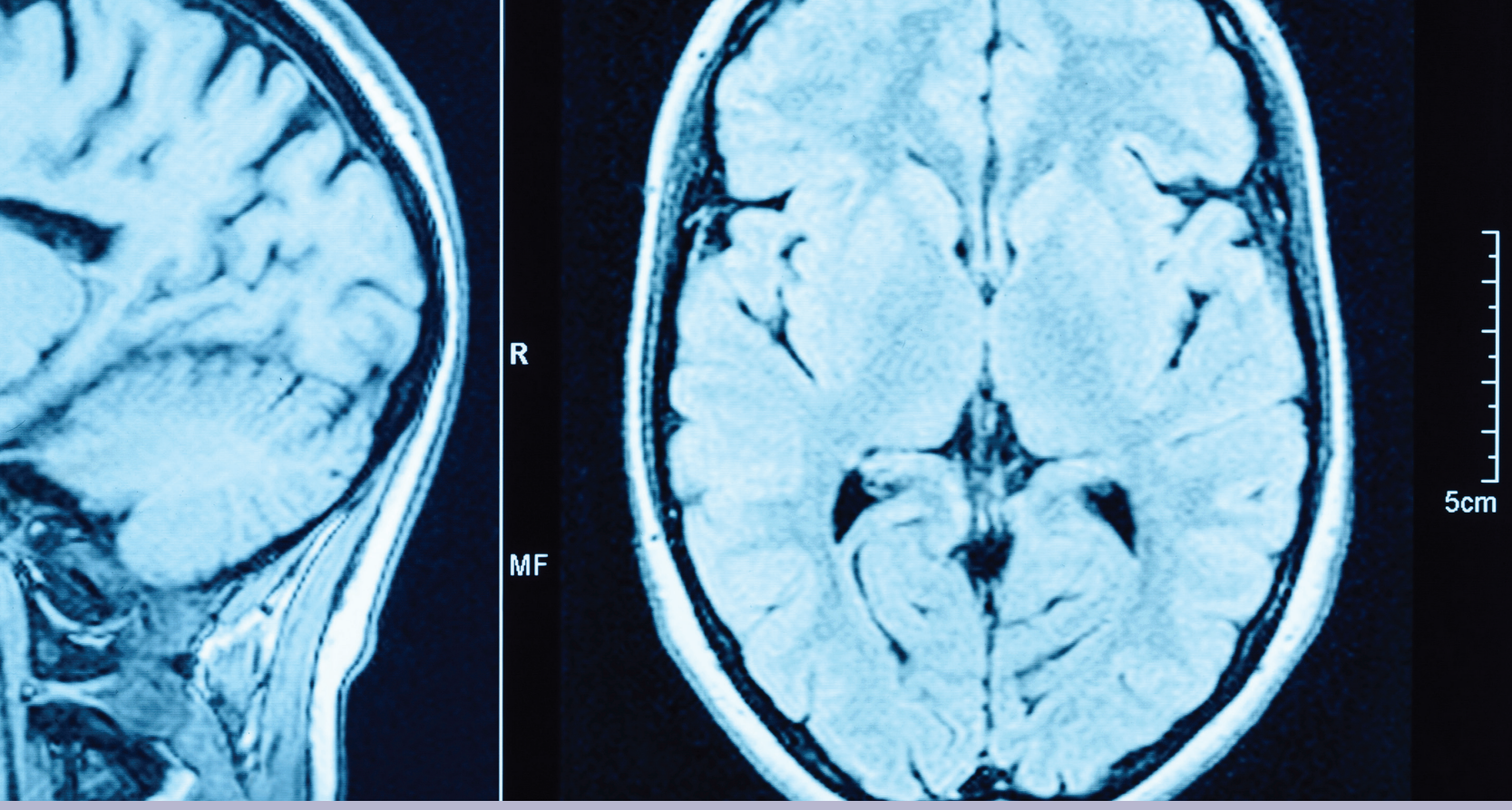
Frank Amthor
DISCOVERING THE BRAIN

Copyright © Arcturus Holdings Limited
All rights reserved.

Translation © Jan Grünwald, 2026

ISBN 978-80-284-1040-7

FSC www.fsc.org
MIX
Papír | Podporujeme zodpovědné lesnictví
FSC® C139082



Obsah

Úvod **7**

Stručná historie vědy o mozku **8**
Rané představy o mozku 10
Lokalizace funkce mozku 14
Objev neuronů a neurální aktivity 20
Moderní techniky pro studium mozku 22

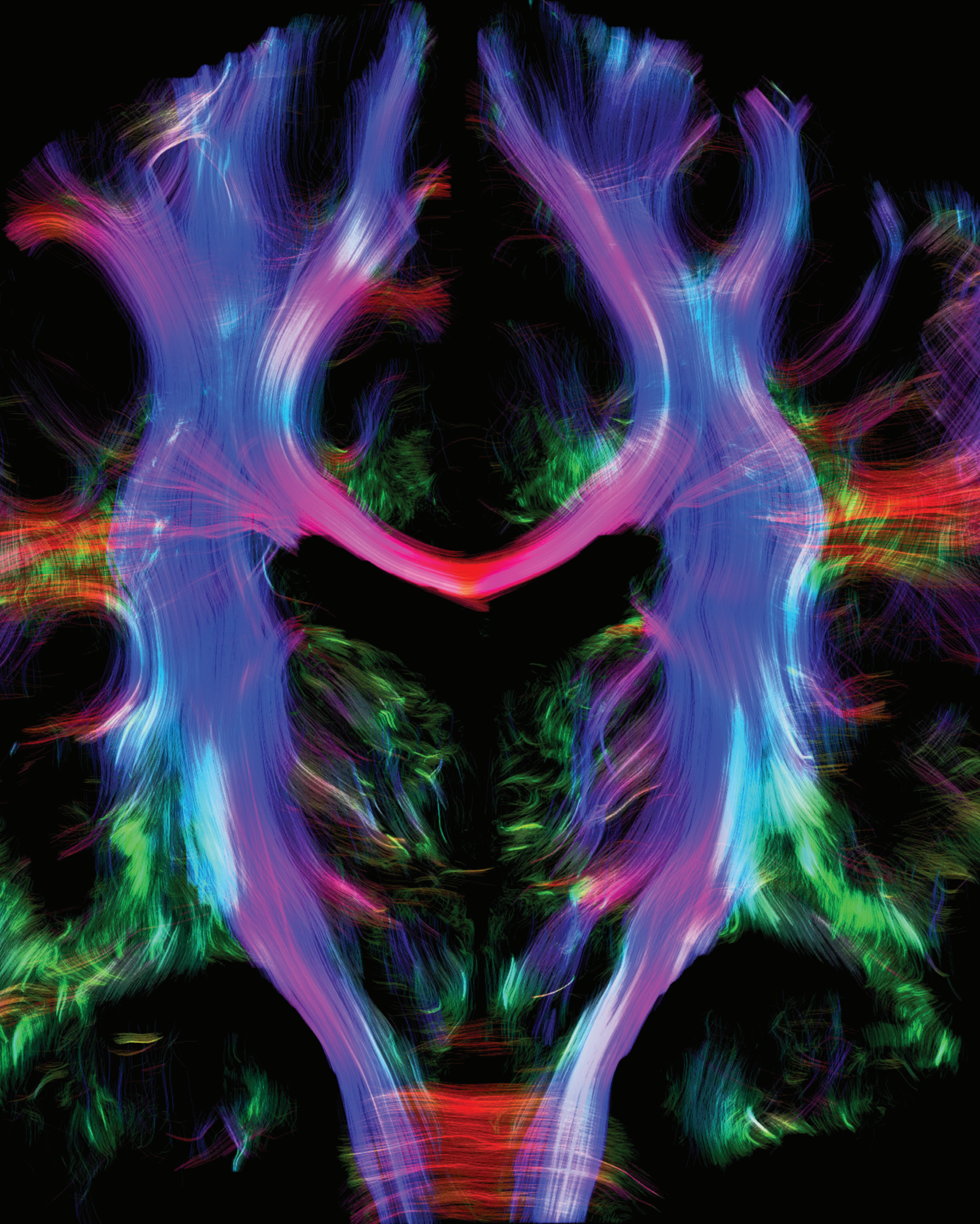
Původ, struktura a funkce mozku **24**
Raný život na Zemi 26
Mozky savců a lidí 32
Vývoj mozku během života 36
Nervová soustava 42
Mozkový kmen a limbický systém 48
Thalamus, neokortex, mozkové laloky a bazální ganglia 54
Jak fungují neurony 56
Synapse 60
Neurotransmitery 64

Vnímání vnitřního a vnějšího světa **72**
Zrak 74
Zrakové dráhy 80
Zrakové dysfunkce 84
Sluchový systém 90
Hmat 94
Čich 100
Chuť 104

Motorické systémy a pohyb **106**
Svaly a motorické neurony 108
Mozkový kmen, páteř a pohyb 112
Role mozku 116
Mozkové dráhy kontrolující pohyb 120
Hlavní motorické poruchy 126

Vědomý mozek **132**
Vědomí 134
Emoce 140
Inteligence 146
Učení 148
Senzorická a krátkodobá paměť 152
Dlouhodobá paměť 156
Exekutivní funkce 162
Mozek a jazyk 168
Lateralizace mozku 170
Neurální dysfunkce, mentální choroby a drogy, které mohou ovlivnit mozek 178

Slovníček pojmů 186
Rejstřík 190
Autorství snímků 192



// Úvod

Co znamená objevovat mozek? První část odpovědi na tuto otázku vyžaduje pochopení, co mozek dělá. Ještě ve čtvrtém století před naším letopočtem se Aristoteles domníval, že sídlem inteligence je srdce. Ale už ve středověku bylo jasné, že srdce je vlastně pumpa. Analogie pro jednoduché vysvětlení funkce mozku však v dávných dobách chyběla.

Když byly v pozdním středověku vynalezeny parní a pneumatické systémy, začalo se předpokládat, že axonové dráhy v mozku fungují jako malé pneumatické trubice přenášející smyslové vjemy nebo pohybové příkazy v rámci těla, obdobně jako potrubní systém parního stroje. Descartes se domníval, že optický nerv přenáší vibrace korespondující s vizuálním vjemem z oka do mozku, kde epifýza – sídlo duše – zobrazovala okolní svět, čímž zprostředkovala vnímání.

Centrální idea spojená s Descartovým pojednáním je koncept, který říká, že lidský mozek je stroj, stejně jako u všech ostatních zvířat, na rozdíl od nich má ale člověk nemateriální duši, jež mozek kontroluje. Jak se vyvíjely neurovědy, čím dál vyšší počet funkcí se přiděloval mozku ve smyslu prostého stroje, zatímco podíl funkcí přidělovaných duši se snižoval. Extrémní materialisté došli v tomto procesu tak daleko, že popírali jakoukoliv roli duše a zaujímali stanovisko, že člověk se od zvířat liší pouze kvantitativně, nikoliv kvalitativně.

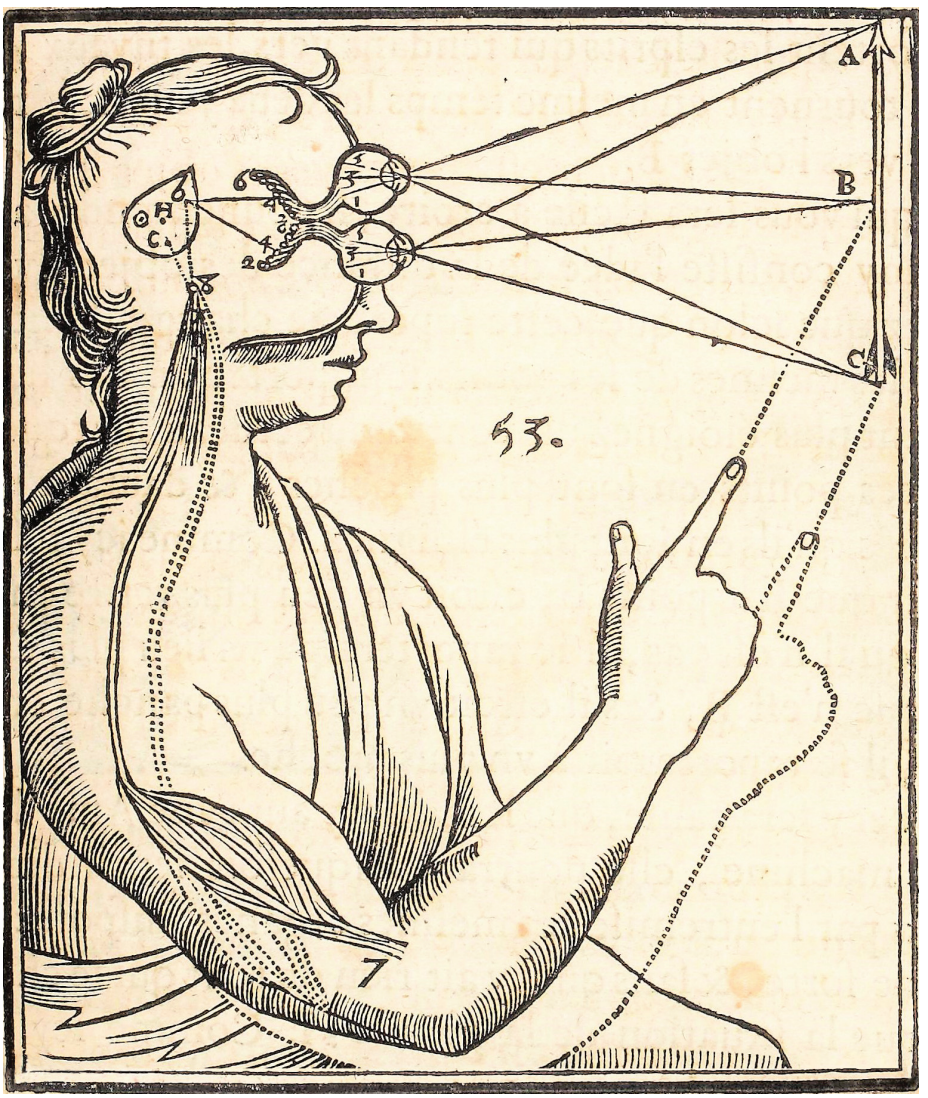
Většina neurovědců se nicméně nepře o tom, zda máme duši, či nikoliv. Spíše se snaží vysvětlit, jak velkou část lidského chování může mozek jakožto živoucí stroj obstarat, aniž by k tomu potřeboval duši sídlící v epifýze. Podle této myšlenky je mozek jakýmsi živým analogovým počítačem, který přijímá a zpracovává vjemy prostřednictvím axonových drah, které namísto pneumatického tlaku vysílají skrze tělo elektrické impulzy.

Otázky plynoucí z tohoto přístupu zní:

1. Dokážeme nasimulovat zvířecí a lidské mozky pomocí počítačů, které simulují analogické procesy probíhající v mozku?
2. Co potřebujeme vědět o mozku, abychom vůbec takovou simulaci stvořili?
3. Umožní nám takové zdařilé simulace pochopit, jak mozek funguje, opravit poškozené mozky, sestavit vylepšené umělé mozky nebo snad zvýšit lidskou inteligenci?

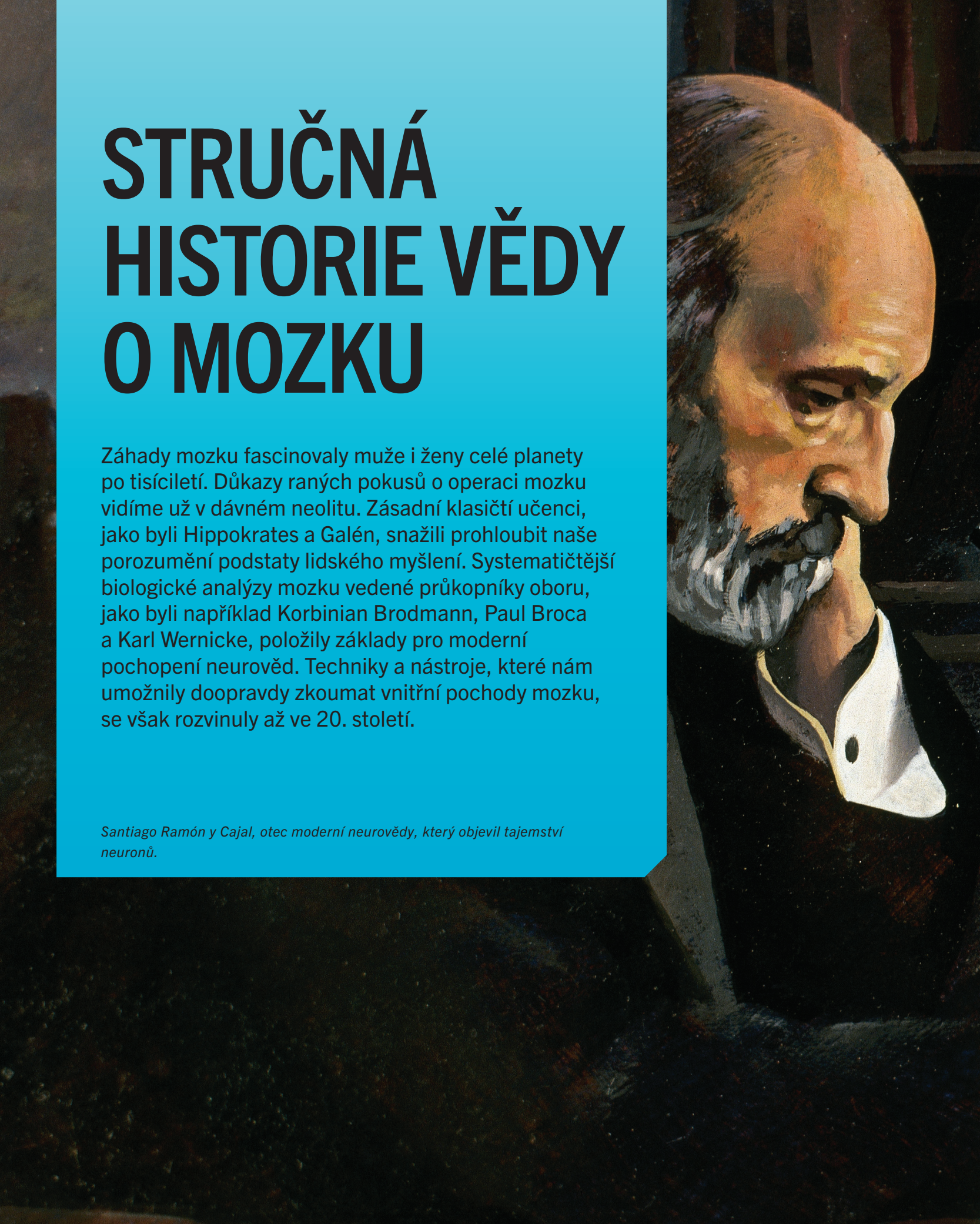
V této knize prozkoumáme, jak vědci na tyto otázky odpověděli a vytvořili tak moderní pojetí mozku. Základní operační jednotkou mozku se zdá být synapse, jichž tisíce „operují“ v každém neuronu. Miliony neuronů tvoří skupiny zvané jádra nebo gangli*a, která zpracovávají vjemy, provádí určité propočty, generují pohybové chování a utváří vzpomínky, bdění a vědomí.

Níže: *Descartovo pojetí mozku tak, jak ho zobrazil v knize* Pojednání o člověku*, napsané ve 30. letech 17. století a publikované posmrtně v roce 1664*



STRUČNÁ HISTORIE VĚDY O MOZKU

Záhady mozku fascinovaly muže i ženy celé planety po tisíciletí. Důkazy raných pokusů o operaci mozku vidíme už v dávném neolitu. Zásadní klasičtí učenci, jako byli Hippokrates a Galén, snažili prohloubit naše porozumění podstaty lidského myšlení. Systematičtější biologické analýzy mozku vedené průkopníky oboru, jako byli například Korbinian Brodmann, Paul Broca a Karl Wernicke, položily základy pro moderní pochopení neurověd. Techniky a nástroje, které nám umožnily doopravdy zkoumat vnitřní pochody mozku, se však rozvinuly až ve 20. století.



Santiago Ramón y Cajal, otec moderní neurovědy, který objevil tajemství neuronů.

// Rané představy o mozku

Jen těžko můžeme odhadovat, co si o mozku mysleli naši dávní předkové, než vynalezli písmo. Prastaré hrobky nicméně skýtají důkazy o tom, že už v dávné historii se lidé pokoušeli o operace mozku. Zdaleka nejobvyklejším typem operace mozku byla v té době trepanace, tedy proražení nebo provrtání díry do lebky. Je pravděpodobné, že se tato praktika prováděla za účelem uvolnění tlaku, který mohl pacient cítit například po ráně do hlavy. Trepanace mohla také být provedena za účelem „vyhnání zlých duchů“, kterým se dávaly za vinu migrény, epilepsie nebo duševní choroby.

Neolitická trepanace

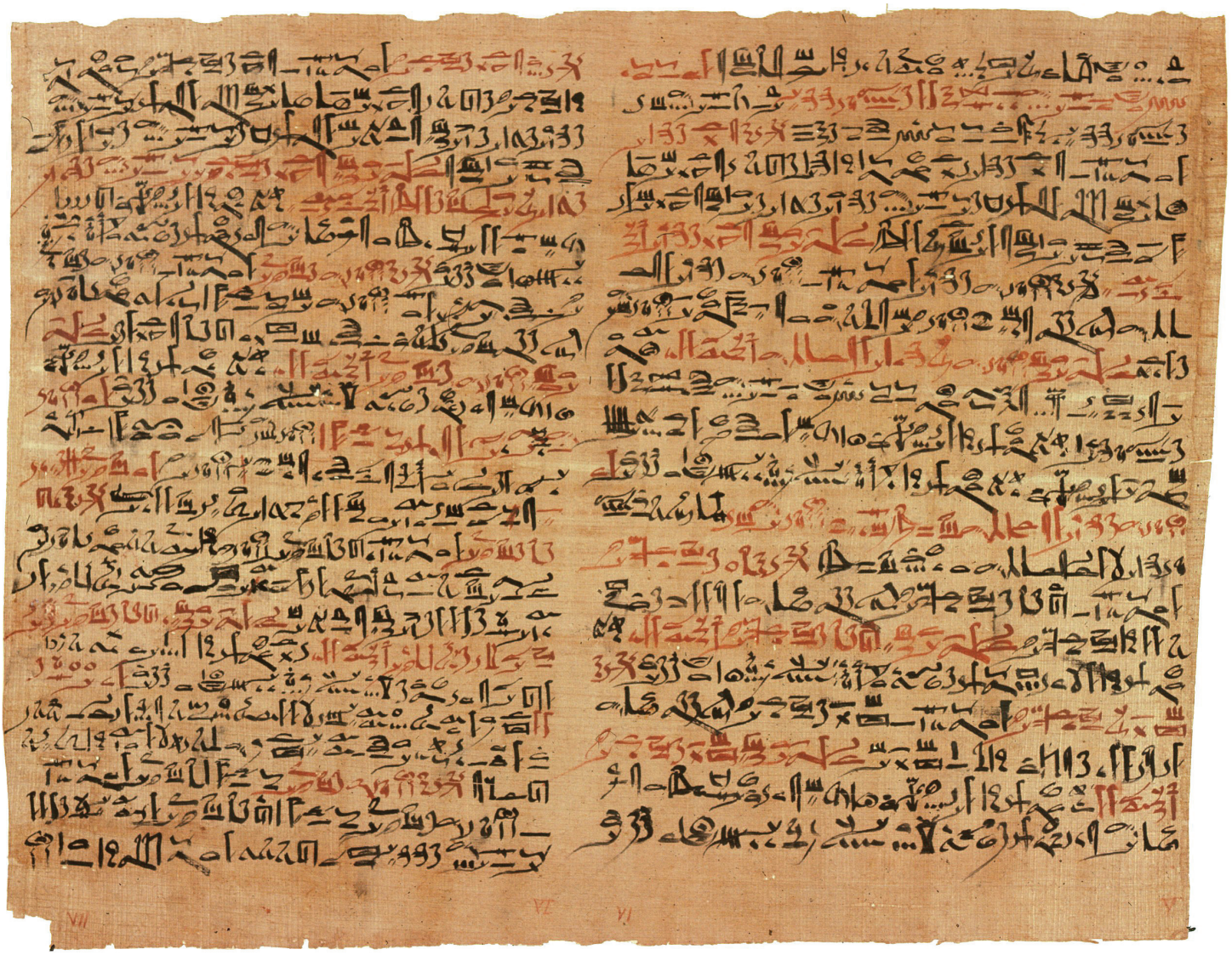
Starobylé lebky s nezaměnitelnými znaky trepanace a pozdějším uzdravováním byly nalezeny ve starém i novém světě.

V Evropě byly nalezeny trepanované lebky z doby před 5 000–7 000 lety. Forenzní průzkumy ukázaly, že trepanace byly prováděny otáčecími nebo škrabacími nástroji, jako byly nože z pazourku, které mohly být dokonce ostřejší než dnešní skalpely. Znaky hojení ukazují, že se mnozí z těchto pacientů dokázali po operaci zotavit. Operací vytvořené otvory se zakryly novou kostní tkání a jen v některých případech se podařilo nalézt malé známky infekce. Hojící proces musel v těchto případech trvat několik let. Chybějící infekce je u takto starobylé operace skutečně pozoruhodná.

Písemné zmínky o mozku

V dávných západních civilizacích pochází nejranější známé psané zmínky o mozku ze starověkého Egypta. V 17. století př. n. l. jeden egyptský papyrus zmiňuje bitevní úrazy hlavy a jejich dopady. Egypťané také prováděli trepanace pomocí široké škály technik, ať už šlo o pazourkové

Níže: *Trepanovaná neolitická lebka, asi 3500 př. n. l.*



Výše: *Papyrus Edwina Smithe ze starého Egypta datovaný 1600 př. n. l., který je první známou písemnou zmínkou slova mozek.*

nože nebo specializovanou trepanační pomůcku skládající se z duté trubky se zoubkovanými okraji naspodu, kterými se otáčelo proti lebeční kosti. Tuto pomůcku si později osvojili řečtí a římští operatéři. Později ve středověku se k této pomůcce přidal ještě střední bodec, který měl zajistit lepší vycentrování rotačních pohybů.

Navzdory tomu, že si Aristoteles ve 4. století př. n. l. myslel, že domovem inteligence je srdce, ještě dávnější spisovatelé, jako byl Alcmaeon, již dříve navrhovali, že inteligence a smyslové vnímání jsou závislé na mozku. K vědě o mozku přispěli významní řečtí učenci Hippokrates a Galén.

Hippokrates (460–377 př. n. l.) žil v době vrcholného rozkvětu klasické řecké civilizace. Díky klinickým pozorováním odlišil medicínu od mysticismu a teologie. Jeho pojednání *O úrazech hlavy* systematicky diskutovalo anatomii lebky a důsledky traumatu hlavy, zejména po vojenských operacích. Navrhoval strategie pro chirurgická řešení traumatu hlavy včetně trepanace, incise a léčby ran.

O asi šest století později studoval Galén (129–216 n. l.) anatomii a fyziologii na Alexandrijské škole medicíny a následně se stal lékařem zodpovědným za léčbu ran gladiátorů. Díky těmto a dalším zkušenostem sepsal přes 500 knih a traktátů. Popsal jev hydrocefalu (nadměrné hromadění mozkomíšního moku v mozku), epifýzu a hypofýzu, střední mozek, kalózní těleso, oblouk (fornix) a komorový systém. Vymezil centrální nervovou soustavu od periferní (v podstatě nervy uvnitř a vně mozku a páteře) a popsal, že zranění páteře může vést k ochrnutí končetin. Stál jasně za tím, že duševní aktivita pochází z mozku, a ne ze srdce, jak tvrdil Aristoteles.

Středověk a renesance

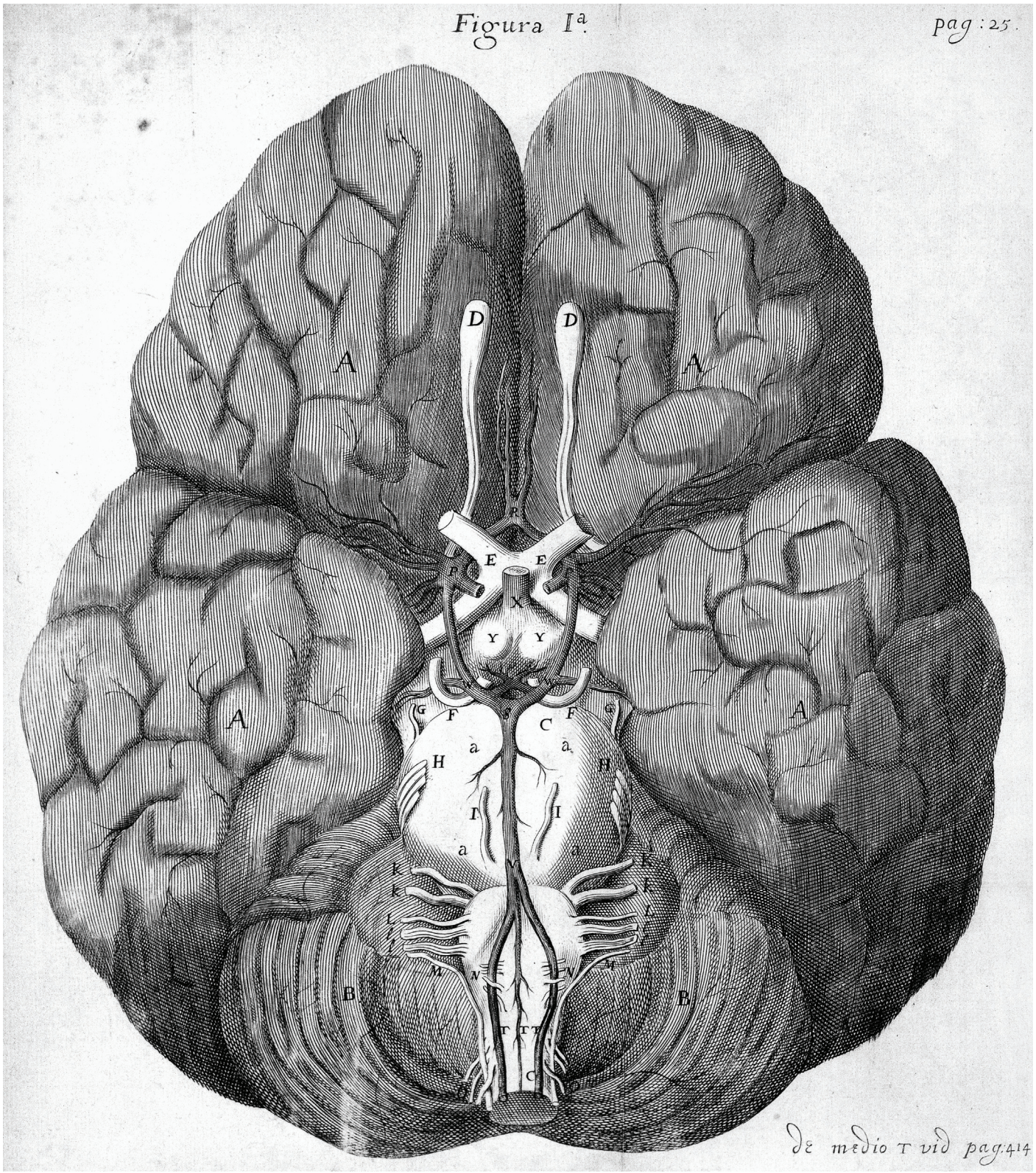
Převažující evropskou středověkou představou o mozku bylo, že je organizován okolo tří komor, přičemž každá je zodpovědná za odlišnou mentální funkci. Představivost byla vykonávána přední komorou a paměť zase zadní komorou. Rozum a základní vnímání pak spočívalo kdesi mezi nimi.

Renesance přinesla lavinu nových znalostí anatomie mozku, jelikož lékaři v té době začali rutinně provádět posmrtné pitvy mozku. Leonardo da Vinci zobrazoval v pečlivých kresbách vlastní pitvy mozku, díky nimž se začal domnívat, že výše popsaná teorie tří komor má mezery.

Průlom ve vědě o mozku nastal, když anglický lékař Thomas Willis publikoval v roce 1664 jeho *Cerebri Anatome* (Anotomie mozku). Daná publikace může být považována za jeden z moderních pilířů klinické neurovědy. Mnohé z Willisem používaných odborných termínů pro popis mozku se používají dodnes.

Willis významně přispěl k pochopení fungování mozku tím, že za použití vstříknuté tuše popsal detaily cévního systému a krevního oběhu v mozku, tak jako to udělal William Harvey pro jiné části těla.

Níže: *Hippokrates a Galén*



Výše: *Willisova kresba ventrální strany mozku, kterou vytvořil slavný architekt Christopher Wren, zobrazující detaily optického a čichového nervu a dalších struktur ventrální strany mozku s nadčasovou přesností.*

// Lokalizace a funkce mozku

Dávné studie mozku a dopadů zranění na mozek přinesly tři zásadní zjištění:

1. mozek má různé části,
2. mezi různými částmi mozku jsou fyzické rozdíly,
3. pokud se zraní určitá část mozku, má to jiné dopady, než když se zraní jiná část.

Už od času Galéna bylo jasné, že je značný rozdíl mezi mozkem a periferní nervovou soustavou, přestože jsou propojené z hlediska funkčnosti. A co víc, v rámci mozku byly zjevně odlišné struktury, jako je mozkový kmen a mozeček, thalamus, bazální ganglia a mozková kůra (viz str. 48–56).

Funkční anatomie mozkové kůry zůstala záhadou až do konce 19. století z několika důvodů:

1. Obratlovci kromě savců v podstatě nemají mozkovou kůru, a přestože jsou zjevně méně inteligentní než savci, jasně vykazují schopnost komplexního vnímání a chování.
2. Mezi savci byla velikost mozkové kůry značně variabilní. Savci považovaní za fylogeneticky starší, a tím pádem méně inteligentní, měli menší mozkovou kůru než odvozenější formy savců, zejména pak primáti.
3. U primátů se zdálo, že se velikost mozkové kůry postupně zvětšuje od opic k lidoopům a člověku. Pokud mají být lidé nejinteligentnějšími savci, musí být spojitost mezi velikostí mozkové kůry a inteligencí.

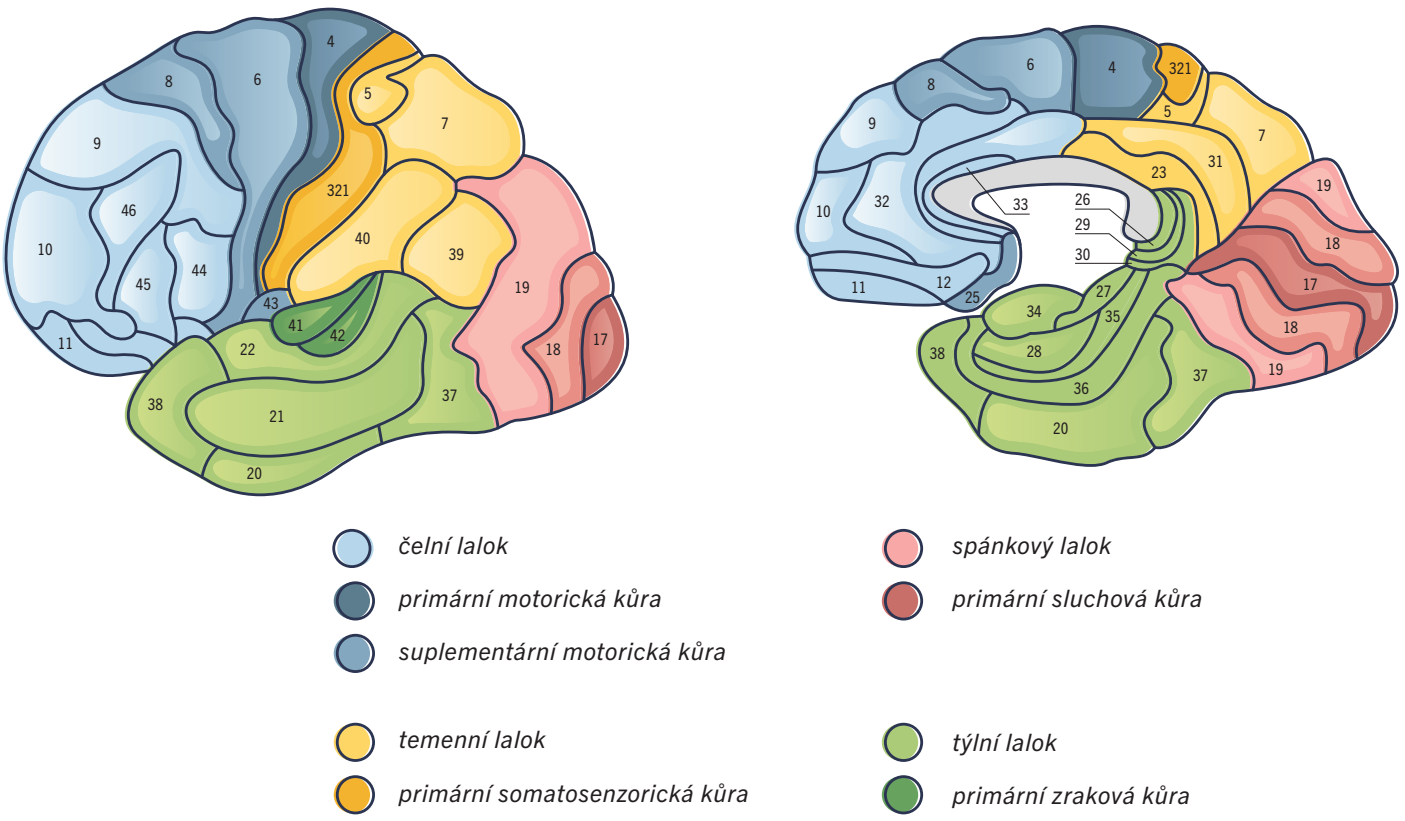
Velkým problémem pro porozumění roli mozkové kůry byly její velké rozměry a absence rozdílů mezi jejími jednotlivými oblastmi. Pro vysvětlení funkce mozkové kůry vznikly dvě teorie – teorie lokalizace a asocianismus.

Lokalizace: dělení mozkové kůry

V 19. století, zejména v Německu, vznikla řada technik pro barvení biologických tkání, mnoho z nich za využití nově vynalezených textilních barviv.

Studiím tkání pomocí barvení se říká histologie. Když se použila na mozek, některá z těchto barviv zabarvila pouze těla neurálních buněk, zatímco jiná zabarvila pouze

Níže: *Brodmannovy oblasti mozku*



axony (části neuronu, které přenáší signál z těla buňky do axonálního zakončení, kde se nachází synapse). Použití těchto barviv umožnilo rozlišit jádra a ganglia na jedné straně a axonální trakty na straně druhé.

Barviva označující těla buněk byla obzvlášť užitečná, jelikož prokázala, že organizace buněk je v různých částech mozkové kůry odlišná, ať už kvůli rozdílu ve velikosti, tvaru, nebo vrstvení buněk. Některé z těchto rozdílů byly konzistentní u jedinců zvířat stejného druhu, a dokonce i u druhů vzájemně příbuzných. Rozlišování částí mozku pomocí barvení buněk se říká *cytoarchitektonika*.

Korbidian Brodmann (1868–1918) byl jedním z mnoha vědců zabývajících se studiem mozkové cytoarchitektury za pomoci různých barviv. Rozdělil mozkovou kůru do 52 regionů, přičemž mnoho z nich bylo homologních mezi různými druhy savců. Každý ze čtyř hlavních laloků mozkové kůry (čelní, temenní, spánkový a týlní) (viz str. 54–55) se skládá z charakteristické soustavy Brodmannových oblastí. Brodmannovo číslování zde nemá žádný zvláštní význam, jelikož očísloval oblasti podle toho, v jakém pořadí studoval jejich cytoarchitektoniku. Sousedící oblasti jsou nicméně obvykle číslovány v postupném pořadí.

Brodmannovy oblasti 1–3 tvoří somatosenzorickou oblast nejpřednější části temenního laloku, která se nachází těsně za centrální rýhou. Naproti tomu oblast 4, což je primární motorická kůra, představuje nejzadnější část čelního laloku.

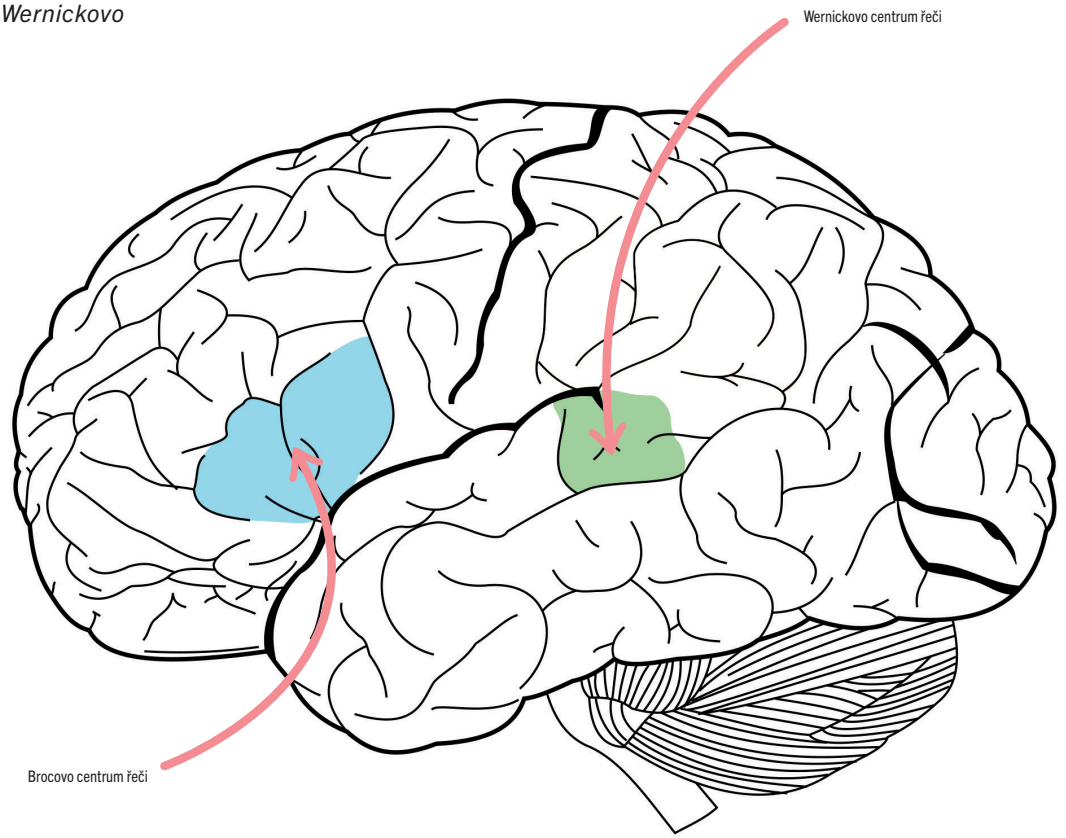
Zásadní idey (nejen) Brodmannových číslovaných schémat jsou:

1. oblasti s různou cytoarchitektonickou strukturou mají nejspíš i různé funkce,
2. sousedící oblasti s podobnou cytoarchitekturou pravděpodobně plní podobnou funkci, ale jsou rozloženy napříč tělem, zrakovým polem, sluchovým frekvenčním spektrem, nebo podél jiného parametru, který daná kortikální oblast zpracovává.

Výše: *Paul Broca*

Výše: *Carl Wernicke*

Níže: *Brocovo a Wernickovo centrum řeči*



Brodmannova číslovaná schémata umožnila neurovědcům podstatně přesnější debatu o tom, jak fungují jednotlivé části mozku. To brzy vedlo k objevu lokalizace různých funkcí v určitých částech mozku a následně až ke krajně extrémním myšlenkám frenologie, ve které byly ty nejjemnější detaily lidské osobnosti připisovány specifickým oblastem mozkové kůry. Jedna z prvních vlastností, kterým byla přiřazena specifická oblast mozku, byla schopnost řeči. Tento objev demonstrovali francouzský lékař a anatom Paul Broca (1824–1880), jehož práci rozšířil německý lékař a psychiatr Carl Wernicke (1848–1905) (viz str. 168–169).

Frenologie

Po anatomickém rozdělení mozkové kůry do 52 Brodmannových oblastí se brzy objevila otázka, zda opravdu každá má specifické funkce. Rakouský lékař a neuroanatom Franz Joseph Gall (1758–1828) se domníval, že lidský mozek je konstruován pro přibližně 35 specifických funkcí. Tyto funkce nezahrnovaly jen kognitivní schopnosti, jako byl jazyk nebo vnímaní barev, ale také pomíjivé schopnosti, jako například naději či sebeúctu. Termín, který tento myšlenkový proud popisuje, se nazývá frenologie.

Gall a jeho kolegové, jako byl například Johann Spurzheim (1776–1832), se dokonce domnívali, že pokud člověk frekventovaně využívá některou z daných částí mozku, bude tato oblast postupně růst do té míry, že bude možné pozorovat vypoukliny v lebce.

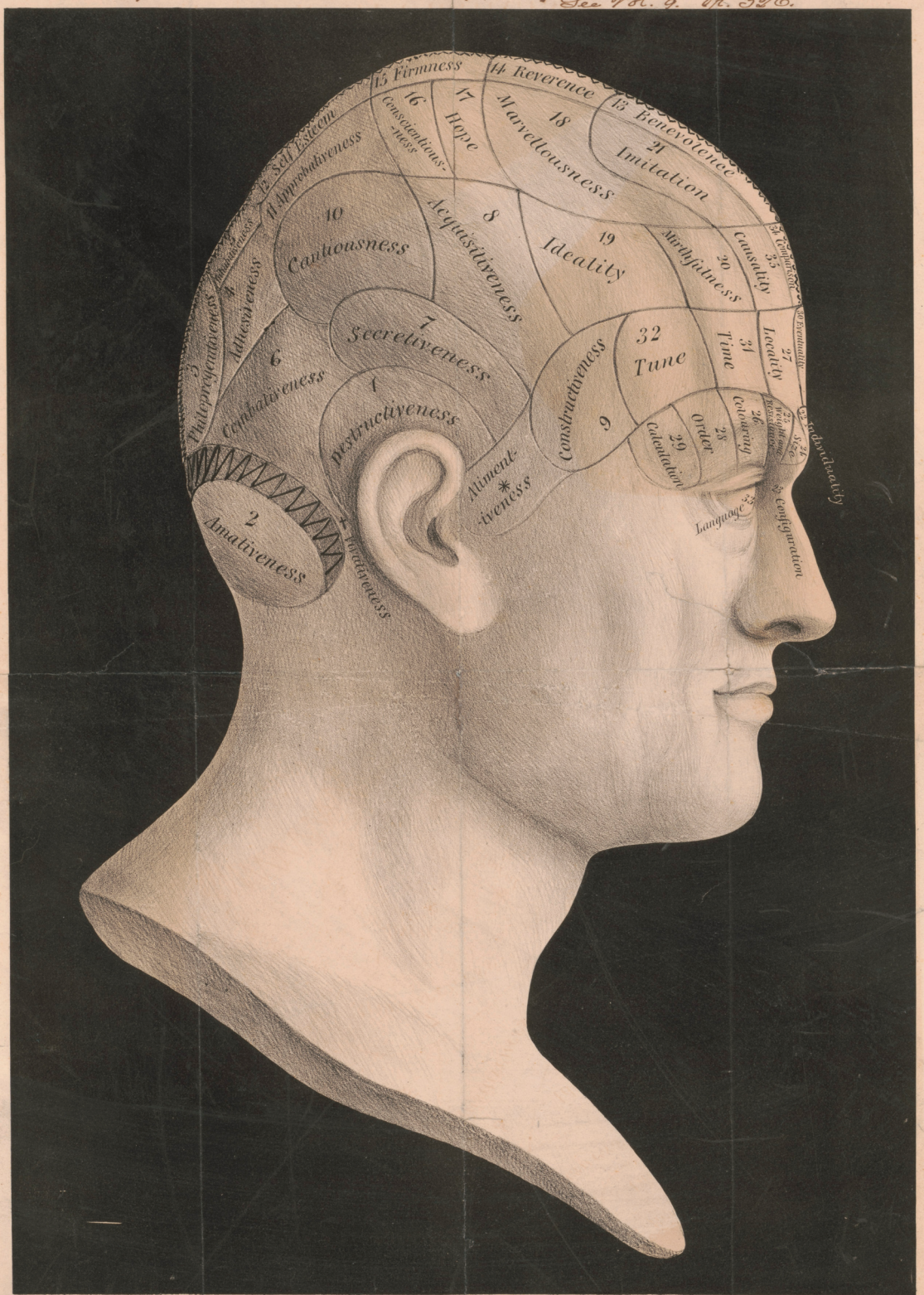
Technika, jež dostala název anatomická personologie, měla tudíž za úkol na základě podobné analýzy lebky popisovat, jakou má ten který člověk osobnost. Frenologie v zásadě říkala, že proces učení se projevuje růstem mozku, který tlačí zevnitř na lebku a tím určuje její vnější tvar.

Důkazů o tom, že jsou funkce jako vznešenost nebo opatrnost lokalizované do daných částí mozku, bylo nicméně pomálu. Mnohé z přidělených funkcí byly vydedukovány jen na základě izolovaných případů úrazů mozku nebo ještě hůř jen z usuzování vztahu mezi tvarem lebky a výskytu určitého typu chování u zkoumaných jednotlivců.

Přešlapy frenologie přispěly ke vzniku odlišné soustavy teorií, které byly přehnané zase v opačném směru. Tento myšlenkový směr zdůrazňující existenci neredukovatelných duševních elementů dostal název *asocianismus*.

Na protější straně: *Spurzheimova frenologická mapa*

Deposited in District Clerk's Office, Mass. 1st Dist. 23 June 1834.
See Vol. 9. p. 326.



Pendleton's Lithog.y Boston.

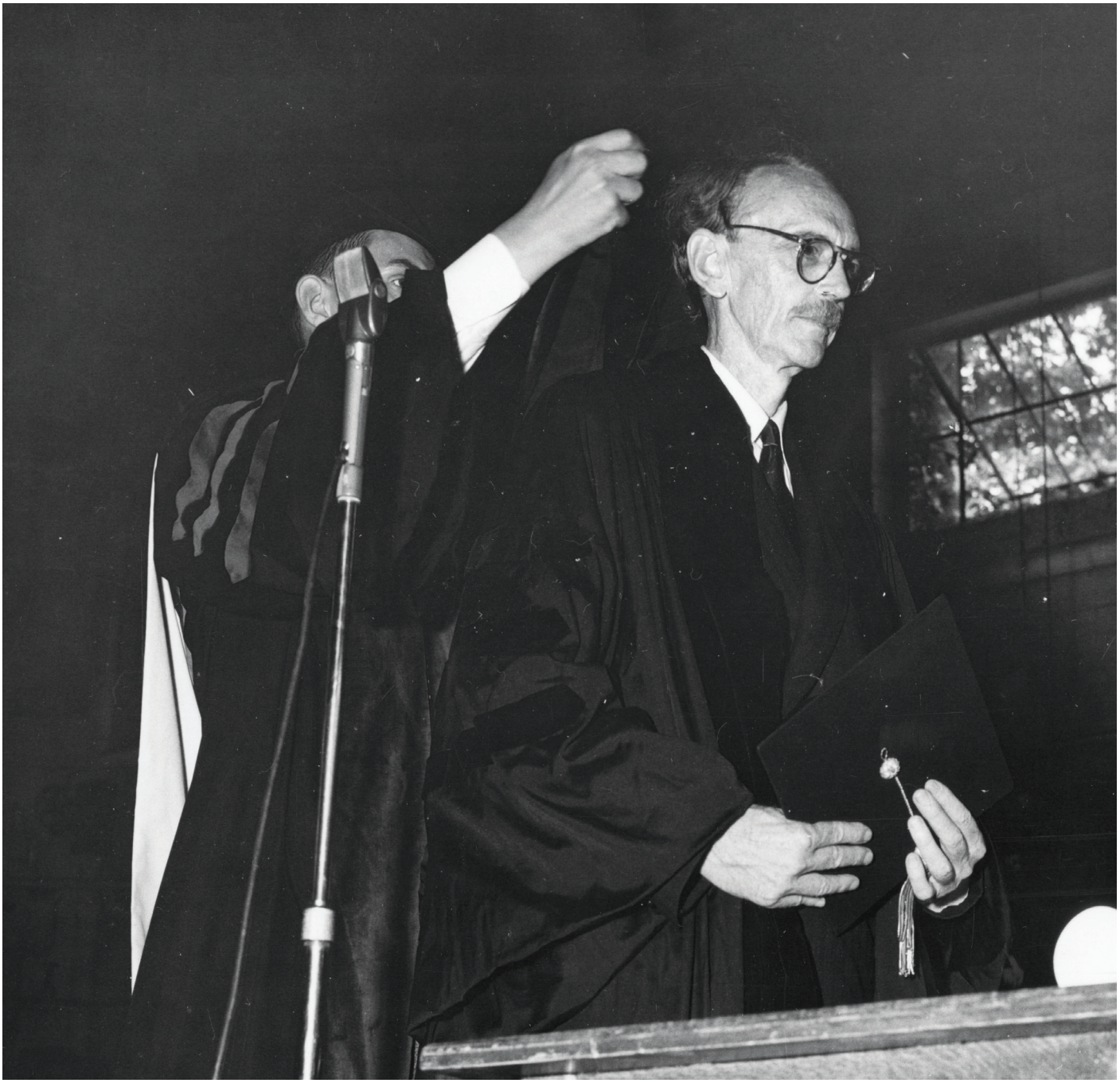
DR. SPURZHEIM.

Divisions of the Organs of Phrenology marked externally.

Entered according to Act of Congress in the Year 1834 by Wm. S. Pendleton in the Clerks Office of the District Court of Massachusetts.

Asocianismus

I když se Aristoteles mýlil v tom, že za inteligenci je zodpovědné srdce, založil přetrvávající názorový proud týkající se inteligence – empirismus –, ostře kontrastující s idealismem, který razil jeho učitel Platón. Aristotelův empirismus předpokládá, že veškeré vědomosti pochází ze senzorických zkušeností, které produkují jednoduché myšlenky a koncepty. Jak spolu jednoduché myšlenky interagují a tvoří mezi sebou asociace, vznikají komplexní povědomí a koncepty, které se zapisují do systému znalostí jedince. Empirický pohled na zásadní roli zkušenosti dále pokračoval v myšlenkách britských filozofů od Thomase Hobbese v 17. století, přes Johna Locka a Davida Humea až po Johna Stuarta Milla v 19. století. Asocianistiská/behaviorální škola experimentální psychologie vzešla právě z filozofie empirismu.

Empiristé, a později asocianisté, se domnívali, že mozek byl v zásadě především strojem na učení, jehož kapacita

Níže: *Karl Lashley*