

TRATADO DE NEUROLOGIA CLÍNICA E CIRÚRGICA



1ª Edição

Editores

Dr. André Giacomelli Leal

Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar

Dr. Ricardo Ramina

Colaboradores

Dr. Flávio Leitão Filho

Dr. Roberto Alexandre Dezena

Dr. Samuel Simis

Dr. Murilo Sousa de Meneses

Dr. José Marcus Rotta

Atena
Editora
Ano 2022

TRATADO DE NEUROLOGIA CLÍNICA E CIRÚRGICA



Editores

Dr. André Giacomelli Leal

Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar

Dr. Ricardo Ramina

Colaboradores

Dr. Flávio Leitão Filho

Dr. Roberto Alexandre Dezena

Dr. Samuel Simis

Dr. Murilo Sousa de Meneses

Dr. José Marcus Rotta

1ª Edição

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

Shutterstock

Edição de arte

Gabriela Jardim Bonet

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Biológicas e da Saúde

Profª Drª Aline Silva da Fonte Santa Rosa de Oliveira – Hospital Federal de Bonsucesso

Profª Drª Ana Beatriz Duarte Vieira – Universidade de Brasília

Profª Drª Ana Paula Peron – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Aderval Aragão – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Maurilio Antonio Varavallo – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Sheyla Mara Silva de Oliveira – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Suely Lopes de Azevedo – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Tratado de neurologia clínica e cirúrgica

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Editores: André Giacomelli Leal
Paulo Henrique Pires de Aguiar
Ricardo Ramina
Colaboradores: Roberto Alexandre Dezena
Samuel Simis
Murilo Souza de Menezes
José Marcus Rotta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
T776	Tratado de neurologia clínica e cirúrgica / Editores André Giacomelli Leal, Paulo Henrique Pires de Aguiar, Ricardo Ramina. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0134-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.346221304 1. Neurologia. I. Leal, André Giacomelli (Editor). II. Aguiar, Paulo Henrique Pires de (Editor). III. Ramina, Ricardo (Editor). IV. Título. CDD 612.8
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

EDITORES

Dr. André Giacomelli Leal

Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar

Dr. Ricardo Ramina

COLABORADORES

Dr Flávio Leitão Filho

Dr. Roberto Alexandre Dezena

Dr. Samuel Simis

Dr. Murilo Sousa de Meneses

Dr. José Marcus Rotta

COLABORADORES ACADÊMICOS

Cindy Caetano da Silva

Emilly Marien Dias da Silva de Souza

Júlia Lins Gemir

Kamila Blaka

Lauanda Raíssa Reis Gamboge

Pedro Henrique Simm Pires de Aguiar

Pedro Schmidt dos Reis Matos Figueiredo

Rafael Peron Carapeba

Thomás Rocha Campos

Vinícios Ribas dos Santos

APRESENTAÇÃO

Após três anos de trabalho, o Tratado de Neurologia Clínica e Cirúrgica da Academia Brasileira de Neurocirurgia – ABNC está pronto. Uma obra importante, que reuniu os melhores neurocirurgiões e neurologistas brasileiros, em prol do crescimento e desenvolvimento da nossa querida Academia.

Com 62 capítulos sobre diversos tópicos em Neurologia clínica e cirúrgica, cuidadosamente escritos por especialistas em suas devidas áreas, contém 15 seções, cobrindo os seguintes temas: história da Neurologia, neuroanatomia básica, semiologia e exames complementares, doenças vasculares, doenças desmielinizantes, doenças dos nervos periféricos e neuromusculares, distúrbios do movimento, cefaleia e epilepsia, demências e distúrbios cognitivos, neoplasias, dor e espasticidade, transtorno do sono, neurointensivismo, doenças neurológicas na infância e outros.

Destinada a acadêmicos de medicina, residentes, neurologistas e neurocirurgiões, esta obra promete fornecer um conteúdo altamente especializado, para uma ótima revisão e aprofundamento sobre esses assuntos.

Este livro é um espelho que reflete a toda a grande potência que o Brasil é em Neurologia e Neurocirurgia.

Prof. Dr. André Giacomelli Leal

PREFÁCIO

Este *Tratado de Neurologia Clínica e Cirúrgica* surge num importante momento das áreas da neurociência. Elaborar o diagnóstico neurológico correto sempre representou para o médico um desafio intelectual desde os primórdios das ciências neurológicas modernas no século XVII e, para o paciente, preocupação e ansiedade sobre o curso de sua enfermidade. No passado, a neurologia clínica era uma ciência de doenças interessantes, porém muitas vezes intratáveis, praticada pelo fascínio especial da “estética do diagnóstico”. A neurologia cirúrgica, por sua vez, ainda embrionária no início do século passado, foi por muitas décadas frustrada, exibindo um altíssimo índice de mortalidade e morbidade, incompatível com uma medicina que cura e alivia as enfermidades. Felizmente, essa situação mudou fundamentalmente nas últimas décadas. As ciências neurológicas estão se tornando cada vez mais atraentes, ao ver o tratamento como o ponto central da verdadeira tarefa médica, e sua eficiência terapêutica. Exemplos incluem as doenças vasculares do sistema nervoso, as neoplasias benignas e malignas do sistema nervoso, as doenças dos nervos periféricos, o tratamento de epilepsia, dos distúrbios do movimento, da demência e distúrbios cognitivos, da dor e da espasticidade, bem como do sono, sem mencionar os avanços no neurointensivismo.

Neste contexto, o presente *Tratado de Neurologia Clínica e Cirúrgica* surge como uma obra imprescindível para o conhecimento do estado da arte das múltiplas áreas da neurociência. Escrito por especialistas de excelência científica e profissional, este livro toma corpo numa ordem de grandes capítulos sobre quadros clínicos e sintomas relacionados a problemas, guiando o leitor a encontrar rapidamente o caminho para a seleção terapêutica específica. Os capítulos são divididos em seções de conhecimentos gerais em história da neurologia, neuroanatomia básica, e semiologia e exames complementares. Estes são seguidos de capítulos sobre quadros clínicos e doenças do sistema nervoso.

Apesar do grande número de autores contribuintes deste livro, souberam os Editores realizar um trabalho exemplar ao conseguir dar a este *Tratado* uma estrutura uniforme e didática sobre o patomecanismo e os princípios terapêuticos em discussão dos estudos de terapia mais importantes da atualidade.

Enfim, estamos perante uma obra que não deve faltar na biblioteca daqueles interessados no estudo das áreas médicas e cirúrgicas neurológicas, e de todos os demais que desejam um livro de terapia neurológica que funcione como ferramenta concreta de auxílio nas consultas do dia-a-dia.

Prof. Dr. Marcos Soares Tatagiba
Cátedra em Neurocirurgia
Diretor do Departamento de Neurocirurgia
Universidade Eberhard-Karls de Tübingen
Alemanha

SUMÁRIO

PARTE 1 - HISTÓRIA DA NEUROLOGIA E CONSIDERAÇÕES GERAIS

CAPÍTULO 1..... 1

HISTÓRIA DA NEUROLOGIA

Hélio A. Ghizoni Teive

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213041>

PARTE 2 - NEUROANATOMIA BÁSICA

CAPÍTULO 2..... 12

NEUROANATOMIA DOS SULCOS E GIROS CEREBRAIS

Vanessa Milanese Holanda Zimpel

Natally Santiago

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213042>

CAPÍTULO 3..... 20

NEUROANATOMIA FUNCIONAL DO CÓRTEX CEREBRAL

Hugo Leonardo Doria-Netto


Raphael Vicente Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213043>

CAPÍTULO 4..... 49

ANATOMIA DA MEDULA ESPINHAL

Luiz Roberto Aguiar


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213044>

PARTE 3 - SEMIOLOGIA E EXAMES COMPLEMENTARES

CAPÍTULO 5..... 55

SEMIOLOGIA NEUROLÓGICA


Alexandre Souza Bossoni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213045>

CAPÍTULO 6..... 77

ELETRONEUROMIOGRAFIA

Maria Tereza de Moraes Souza Nascimento






 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213046>

CAPÍTULO 7..... 87

INTERPRETAÇÃO DO EXAME DO LÍQUIDO CEFALORRAQUIDIANO

Helio Rodrigues Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213047>

CAPÍTULO 8.....	95
DOPPLER TRANSCRANIANO	
Rafaela Almeida Alquéres	
Victor Marinho Silva	
Pamela Torquato de Aquino	
Marcelo de Lima Oliveira	
Edson Bor Seng Shu	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213048	
CAPÍTULO 9.....	104
ECODOPPLER VASCULAR DE VASOS CERVICAIS	
Cindy Caetano da Silva	
Daniel Wallbach Peruffo	
Samir Ale Bark	
Viviane Aline Buffon	
Robertson Alfredo Bodanese Pacheco	
Sérgio Souza Alves Junior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3462213049	
CAPÍTULO 10.....	118
ELETROENCEFALOGRAMA	
Bruno Toshio Takeshita	
Elaine Keiko Fujisao	
Caroliny Trevisan Teixeira	
Pedro Andre Kowacs	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130410	
CAPÍTULO 11.....	126
POTENCIAIS EVOCADOS	
Adauri Bueno de Camargo	
Vanessa Albuquerque Paschoal Aviz Bastos	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130411	
CAPÍTULO 12.....	137
LINGUAGEM – DISTÚRBIOS DA FALA	
André Simis	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130412	
PARTE 4 - DOENÇAS VASCULARES DO SISTEMA NERVOSO	
CAPÍTULO 13.....	144
ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO ISQUÊMICO	
Alexandre Luiz Longo	

Maria Francisca Moro Longo
Carla Heloisa Cabral Moro
Dara Lucas de Albuquerque
Pedro S. C. Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130413>

CAPÍTULO 14..... 169

EMBOLIA PARADOXAL


Vanessa Rizelio
Kristel Larisa Back Merida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130414>

CAPÍTULO 15..... 181

TRATAMENTO DE ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO AGUDO

André Giacomelli Leal
Jorge Luis Novak Filho
Sarah Scheuer Texeira
Camila Lorenzini Tessaro
Pedro Henrique Araújo da Silva
Matheus Kahakura Franco Pedro
Murilo Sousa de Meneses

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130415>

CAPÍTULO 16..... 194

VASCULITES DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Leandro José Haas
Bernardo Przysieszny

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130416>

CAPÍTULO 17..... 208

VASOCONSTRIÇÃO ARTERIAL CEREBRAL REVERSÍVEL

Gisela Tinone

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130417>

CAPÍTULO 18..... 210

DISSECÇÃO ARTERIAL CERVICAL EXTRACRANIANA


Rafael Brito Santos
Albedy Moreira Bastos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130418>

CAPÍTULO 19..... 223

TROMBOSE DOS SEIOS VENOSOS

Alexandre Bossoni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130419>

CAPÍTULO 20.....233

ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO HEMORRÁGICO HIPERTENSIVO

Renata Faria Simm

Alexandre Pingarilho

Giovanna Zambo Galafassi

Fernanda Lopes Rocha Cobucci

Paulo Henrique Pires de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130420>

CAPÍTULO 21.....237

HEMORRAGIA SUBARACNOIDEA

Vitor Nagai Yamaki

Guilherme Marconi Guimarães Martins Holanda

Eberval Gadelha Figueiredo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130421>

CAPÍTULO 22.....248

ANEURISMAS INTRACRANIANOS

Matheus Kahakura Franco Pedro

André Giacomelli Leal

Murilo Sousa de Meneses

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130422>

CAPÍTULO 23.....260


MALFORMAÇÕES ARTERIOVENOSAS CEREBRAIS

Marco Antonio Stefani

Apio Claudio Martins Antunes

Lucas Scotta Cabral

Eduarda Tanus Stefani

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130423>

PARTE 5 - DOENÇAS DESMIELINIZANTES

CAPÍTULO 24.....273








DOENÇAS INFLAMATÓRIAS DESMIELINIZANTES DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Henry Koiti Sato

Matheus Pedro Wasem

Hanaiê Cavalli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130424>


CAPÍTULO 25.....	284
ESCLEROSE MÚLTIPLA	
Douglas Kazutoshi Sato	
Cássia Elisa Marin	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130425	
CAPÍTULO 26.....	304
NEUROMIELITE ÓPTICA	
Mario Teruo Sato	
Duana Bicudo	
Henry Koiti Sato	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130426	
PARTE 6 - DOENÇAS DOS NERVOS PERIFÉRICOS, DA JUNÇÃO NEUROMUSCULAR E MUSCULAR	
CAPÍTULO 27.....	327
EXAME FÍSICO DO PLEXO BRAQUIAL	
Francisco Flávio Leitão de Carvalho Filho	
Raquel Queiroz Sousa Lima	
Francisco Flávio Leitão de Carvalho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130427	
CAPÍTULO 28.....	346
ESCLEROSE LATERAL AMIOTRÓFICA	
Frederico Mennucci de Haidar Jorge	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130428	
CAPÍTULO 29.....	359
SÍNDROME DE GUILLAIN-BARRÉ	
Eduardo Estephan	
Vinicius Hardoim	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130429	
CAPÍTULO 30.....	368
MIASTENIA GRAVIS	
Camila Speltz Perussolo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130430	
CAPÍTULO 31.....	386
MIOPATIAS	
Leonardo Valente Camargo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130431	

PARTE 7 - DISTÚRBIOS DO MOVIMENTO

CAPÍTULO 32.....402

DOENÇA DE PARKINSON

Hélio A. Ghizoni Teive

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130432>

CAPÍTULO 33.....417

COREIA, TREMOR E OUTROS MOVIMENTOS ANORMAIS

Jacy Bezerra Parmera

Thiago Guimarães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130433>

CAPÍTULO 34.....440

DISTONIA

Natasha Consul Sgarioni

Beatriz A Anjos Godke Veiga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130434>

CAPÍTULO 35.....452

TRATAMENTO CIRÚRGICO DA DISTONIA

Paulo Roberto Franceschini

Bernardo Assumpção de Mônaco

Paulo Henrique Pires de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130435>

PARTE 8 - CEFALEIA E EPILEPSIA

CAPÍTULO 36.....473

CEFALEIAS

Paulo Sergio Faro Santos

Pedro André Kowacs

Olga Francis Pita Chagas

Marco Antonio Nihl

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130436>

CAPÍTULO 37.....500

EPILEPSIA

Elaine Keiko Fujisao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130437>

PARTE 9 - DEMÊNCIA E DISTÚRBIOS COGNITIVOS

CAPÍTULO 38.....509

DEMÊNCIAS

Fábio Henrique de Gobbi Porto

Alessandra Shenandoa Heluani

Guilherme Kenzzo Akamine

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130438>

CAPÍTULO 39.....524


DOENÇA DE ALZHEIMER

Raphael Ribeiro Spera

Bruno Diógenes Iepsen

Tarcila Marinho Cippiciani

Renato Anghinah

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130439>

CAPÍTULO 40.....536


HIDROCEFALIA DE PRESSÃO NORMAL

Amanda Batista Machado

Marcela Ferreira Cordellini

Hamzah Smaili

Sonival Cândido Hunevicz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130440>

PARTE 10 - NEOPLASIAS DO SISTEMA NERVOSO

CAPÍTULO 41.....548

VISÃO GERAL DAS NEOPLASIAS DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Carlos Alexandre Martins Zicarelli

Daniel Cliquet

Isabela Caiado Caixeta Vencio

Paulo Henrique Pires de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130441>

CAPÍTULO 42.....563


NEOPLASIAS PRIMÁRIAS DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Erasmus Barros da Silva Jr

Ricardo Ramina

Gustavo Simiano Jung

Afonso Aragão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130442>

CAPÍTULO 43.....575

TUMORES DE BASE DO CRÂNIO


Paulo Henrique Pires de Aguiar

Pedro Henrique Simm Pires de Aguiar

Giovanna Zambo Galafassi

Roberto Alexandre Dezena

Saleem Abdulrauf

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130443>

CAPÍTULO 44.....587

TUMORES INTRARRAQUIANOS

Paulo de Carvalho Jr.

Arya Nabavi

Paulo de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130444>

CAPÍTULO 45.....609

CLASSIFICAÇÃO PATOLÓGICA DOS TUMORES DO SNC E DAS DOENÇAS NEUROLÓGICAS

Ligia Maria Barbosa Coutinho

Arlete Hilbig

Francine Hehn Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130445>

PARTE 11 - DOR E ESPASTICIDADE

CAPÍTULO 46.....636


DOR

Pedro Antônio Pierro Neto

Giovanna Galafassi

Pedro Henrique Simm Pires de Aguiar

Paulo Henrique Pires de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130446>

CAPÍTULO 47.....653

ESPASTICIDADE

Bernardo Assumpção de Monaco

Paulo Roberto Franceschini


Manoel Jacobsen Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130447>

CAPÍTULO 48.....666

NEUROMODULAÇÃO

Marcel Simis


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130448>

PARTE 12 - TRANSTORNO DO SONO

CAPÍTULO 49.....673

DISTÚRBIOS DO SONO

Leonardo Condé

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130449>

PARTE 13 -PRINCÍPIOS EM NEUROINTENSIVISMO

CAPÍTULO 50.....686

NEUROINTENSIVISMO

Ana Maria Mendes Ferreira

Jakeline Silva Santos

Alysson Alves Marim

Tiago Domingos Teixeira Rincon

Kaio Henrique Viana Gomes

Guilherme Perez de Oliveira

Eduardo de Sousa Martins e Silva

Tamires Hortêncio Alvarenga

Gabriella Gomes Lopes Prata

João Pedro de Oliveira Jr.

Fernando Henrique dos Reis Sousa

Thiago Silva Paresoto

Luiz Fernando Alves Pereira

Gustavo Branquinho Alberto

Lívia Grimaldi Abud Fujita

Roberto Alexandre Dezena

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130450>

CAPÍTULO 51.....701

HIPERTENSÃO INTRACRANIANA

Gustavo Sousa Noletto

João Gustavo Rocha Peixoto Santos

Wellingson Silva Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130451>

CAPÍTULO 52.....713

TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO

Robson Luis Oliveira de Amorim

Daniel Buzaglo Gonçalves

Bruna Guimarães Dutra

Henrique Martins


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130452>

CAPÍTULO 53.....729

TRAUMATISMO RAQUIMEDULAR

Jerônimo Buzetti Milano

Heloísa de Fátima Sare

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130453>

CAPÍTULO 54.....739

COMPLICAÇÕES NEUROLÓGICAS ASSOCIADAS ÀS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS E AOS DISTÚRBIOS METABÓLICOS

André E. A. Franzoi


Gustavo C. Ribas

Isabelle P. Bandeira

Letícia C. Breis

Marco A. M. Schlindwein

Marcus V. M. Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130454>

CAPÍTULO 55.....765

TRATAMENTO CIRÚRGICO DO INFARTO ISQUÊMICO MALIGNO DA ARTÉRIA CEREBRAL MÉDIA. INDICAÇÕES E LIMITAÇÕES DA CRANIOTOMIA DESCOMPRESSIVA

Ápio Antunes

Rafael Winter

Paulo Henrique Pires de Aguiar

Marco Stefani

Mariana Tanus Stefani

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130455>

CAPÍTULO 56.....775

TRAUMATISMO CRÂNIO-ENCEFÁLICO GRAVE. PAPEL DA CRANIOTOMIA DESCOMPRESSIVA

Ápio Claudio Martins Antunes

Marco Antonio Stefani

Rafael Winter

Paulo Henrique Pires de Aguiar

Mariana Tanus Stefani

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130456>


CAPÍTULO 57.....784

INFECÇÕES DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Danielle de Lara

João Guilherme Brasil Valim

Sheila Wayszceyk

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130457>

PARTE 14 - DOENÇAS NEUROLÓGICAS DA INFÂNCIA

CAPÍTULO 58.....798

SEMIOLOGIA NEUROLÓGICA PEDIÁTRICA

Matheus Franco Andrade Oliveira

Juliana Silva de Almeida Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130458>

CAPÍTULO 59.....807

HIDROCEFALIA NA INFÂNCIA

Tatiana Protzenko

Antônio Bellas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130459>


CAPÍTULO 60.....817

PARALISIA CEREBRAL INFANTIL

Simone Amorim

Juliana Barbosa Goulardins

Juliana Cristina Fernandes Bilhar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130460>

PARTE 15 - OUTROS

CAPÍTULO 61.....838

A NEUROPSICOLOGIA NOS TRATAMENTOS NEUROCIRÚRGICOS

Samanta Fabricio Blattes da Rocha

Rachel Schlindwein-Zanini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130461>

CAPÍTULO 62.....853

APLICAÇÕES CLÍNICAS DE MODELOS DE MANUFATURA ADITIVA EM NEUROCIRURGIA

André Giacomelli Leal


Lorena Maria Dering

Matheus Kahakura Franco Pedro

Beatriz Luci Fernandes

Mauren Abreu de Souza

Percy Nohama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.34622130462>

SOBRE OS EDITORES867

SOBRE OS COLABORADORES E AUTORES.....868

NEUROANATOMIA FUNCIONAL DO CÓRTEX CEREBRAL

Hugo Leonardo Doria-Netto

Raphael Vicente Alves

NEUROANATOMIA FUNCIONAL

O sistema nervoso central (SNC) pode ser estudado conforme divisões e critérios morfológicos, embriológicos, histológicos, genéticos, funcionais ou baseado na sua segmentação pelo sistema nervoso periférico (metameria). A divisão morfológica do SNC é a mais empregada na prática médica e tem importância fundamental para a compreensão da arquitetura básica desse complexo sistema^{1,2}. Para o córtex cerebral, em especial, o conhecimento anatômico é condição *sine qua non* para a adequada prática neurológica e neurocirúrgica. Esta classificação, baseada na subdivisão do córtex cerebral em lobos por sulcos, fissuras e linhas imaginárias, não corresponde a uma divisão funcional, pois, em um determinado lobo cerebral, podemos ter áreas corticais com diferentes funções.

Conforme didaticamente exposto na afirmação do professor de medicina francês Jean Fernel (1497-1558) de que “a anatomia é para a fisiologia o que a geografia é para a história: ela descreve o teatro dos eventos”, o profundo conhecimento anatômico da superfície cortical é a base geográfica inicial para o estudo, ainda mais complexo, da neuroanatomia funcional cortical³. Ambos os campos do conhecimento devem ser correlacionados durante o estudo, pois como relatou o neuropsiquiatra alemão Korbinian Brodmann (1868–1918) em seus estudos funcionais: “a localização funcional sem a liderança da anatomia é totalmente impossível”⁴.

CÓRTEX CEREBRAL

O córtex cerebral humano é a estrutura mais complexa do mundo biológico conhecido, o que está de acordo com a complexidade das funções dependentes dessa estrutura nervosa¹. O córtex pode ser definido como uma fina camada de substância cinzenta que reveste o centro branco medular do cérebro. É constituído fundamentalmente por corpos neuronais, células da neuroglia e fibras nervosas amielínicas. Trata-se de uma das partes mais importantes do SNC, pois representa o ápice hierárquico de todo o sistema^{1,5}.

Ao córtex chegam os impulsos provenientes de todas as vias de sensibilidade, que aí são devidamente codificados, interpretados e podem se tornar conscientes. Do córtex saem os impulsos nervosos que comandam e iniciam os movimentos voluntários, e neste são processados os complexos fenômenos psíquicos^{1,5}.

Durante sua evolução, a extensão e a complexidade aumentaram progressivamente, atingindo o maior desenvolvimento na espécie humana, o que pode ser correlacionado com o grande desenvolvimento das funções intelectuais da nossa espécie (Figura 1).¹ Estima-se que no encéfalo humano existam cerca de 86 bilhões de neurônios e que os neurônios de associação representem a grande maioria dessa população neuronal (permitindo, assim, o complexo padrão comportamental da espécie humana)^{1,9}.

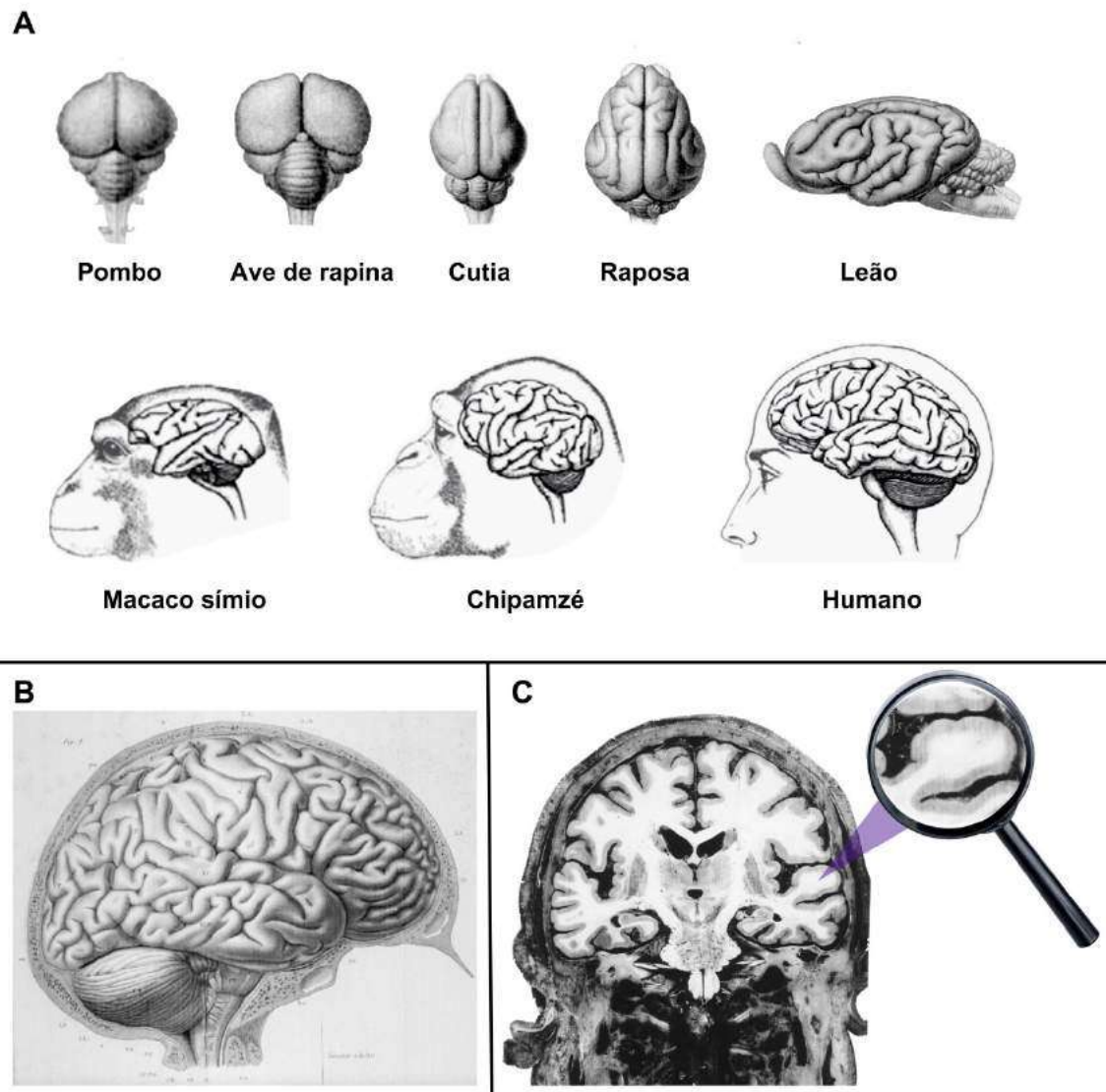


Figura 1: A. Desenvolvimento evolutivo do SNC. Owen dividiu os animais em lisencéfalos e girencéfalos conforme a presença de giros cerebrais. O encéfalo aumentou consideravelmente durante a filogênese, atingindo o máximo do desenvolvimento no encéfalo humano (as representações não estão em escala para melhor observação da superfície cortical). B. Gratiolet e Leuret mapearam os sulcos e fissuras corticais e demonstraram que, apesar das esperadas variações, os mesmos se dispõem conforme uma arquitetura básica. C. O aspecto típico do córtex cerebral humano é caracterizado por proeminências arredondadas (circunvoluções ou giros) delimitadas por sulcos e fissuras. Cerca de 2/3 da superfície cortical humana encontra-se “escondida” no interior dos sulcos e fissuras.

Fonte: Adaptada dos estudos de Gratiolet, 18547; e Hubel, 19798.

O córtex cerebral é completamente liso em um grande número de animais inferiores, motivo pelo qual o anatomista e paleontólogo inglês Richard Owen (1804-1892) os denominou de lisencéfalos¹⁰. Os animais superiores ou girencéfalos, pelo contrário, apresentam numerosos giros cerebrais (Figura 1)¹⁰. O aparecimento dos giros foi determinado pela grande expansão da superfície cortical sem que ocorresse um aumento concomitante e proporcional da caixa craniana. Assim, o extenso processo de dobramento da superfície cortical foi um evento poupador de espaço intracraniano. A consequência natural desse processo poupador de espaço é o aspecto típico do córtex cerebral humano, caracterizado por proeminências arredondadas delimitadas por sulcos e fissuras. Tais proeminências são denominadas de giros ou circunvoluções cerebrais¹¹. Cada giro apresenta uma porção superficial, exposta, e uma porção oculta, intra-sulcal, que localiza-se nas paredes e no assoalho do sulco. Dessa forma, o córtex de cada hemisfério cerebral é uma lâmina contínua de matéria cinzenta com aproximadamente 2.200 cm², sendo um terço visível na superfície, enquanto aproximadamente dois terços da superfície encontra-se “enterrada” nas profundezas dos sulcos e fissuras (Figura 1)^{10,11}.

Vicq d’Azyr (1748–1794), médico e anatomista francês, descreveu as circunvoluções do cérebro humano, em 1786, observando as diferenças morfológicas com a anatomia cortical dos outros animais⁴. O neuroanatomista francês Louis Pierre Gratiolet (1815-1865), com base em estudos de anatomia comparada, distinguiu os giros em primários e secundários, a partir do aparecimento cronológico durante a evolução⁷. Gratiolet e seu professor François Leuret (1797–1851) também mapearam os sulcos e fissuras corticais e demonstraram que, apesar das esperadas variações, os mesmos se dispõem conforme um padrão básico e fundamental de desenvolvimento (Figura 1)^{4,6,7,10}.

Do ponto de vista funcional, as áreas corticais não são homogêneas, como se acreditava até o início do século XIX. As primeiras tentativas

de correlacionar a anatomia cerebral à função começaram a partir de 1820, com os trabalhos de Franz Gall, Bouillaud, Robert Todd, Rolando e muitos outros, através da observação de déficits neurológicos secundários a alguma patologia¹². No entanto, o conhecimento das correlações anátomo-funcionais das estruturas nervosas, por sua vez, só passaram a ser melhor esclarecidas a partir da segunda metade do século XIX². Os pioneiros da localização das funções corticais cerebrais foram o cirurgião, anatomista e antropólogo francês Pierre Paul Broca (1824-1880) e o neurologista inglês John Hughlings Jackson (1835–1911)².

Broca, particularmente motivado e influenciado pelas recentes descrições de Gratiolet, introduziu o conceito de localização funcional cortical, pois demonstrou pela primeira vez que uma lesão, em uma região circunscrita do córtex, era responsável pela perda de uma determinada função cortical^{2,13}. Em 1861, ele correlacionou uma lesão em uma área restrita do giro frontal inferior esquerdo (área de Broca) com a perda da expressão da linguagem¹⁰.

Em 1870, o anatomista e fisiologista alemão Gustav Fritsch (1838-1927) e o neurologista e psiquiatra alemão Eduard Hitzig (1838-1907) conseguiram provocar movimentos de certas partes do corpo por estimulação elétrica em áreas específicas do córtex do cão¹⁰. Os trabalhos pioneiros de Hitzig e Fritsch incentivaram estudos subsequentes de localização funcional cortical por diversos outros pesquisadores, incluindo o neurologista escocês David Ferrier (1843–1928). Carl Wernicke (1848–1905), neuropatologista alemão, localizou em 1874 a área cortical humana responsável pela compreensão da linguagem (área de Wernicke) na região temporoparietal esquerda. Em 1892, o neurologista francês Joseph Jules Déjérine (1849–1917) descreveu a área cortical responsável pela leitura como localizada no giro angular esquerdo com base em achados clínico-anatômicos².

O surgimento da neurofisiologia gerou discussões calorosas entre os cientistas que

defendiam uma interpretação funcional holística do córtex e aqueles que acreditavam na localização funcional cortical¹³. Enquanto os seguidores de um conceito holístico enfatizavam o papel de todo o córtex na execução de qualquer função cerebral, aqueles favoráveis ao paradigma localizacionista estavam convencidos de que essas funções eram localizáveis em áreas corticais específicas¹³.

Atualmente, as diversas localizações funcionais do córtex cerebral são consideradas especializações funcionais de determinadas áreas corticais e não compartimentos isolados e estanques¹. Interessante notar que áreas do córtex funcionalmente relacionadas estão situadas próximas (ocupam sítios vizinhos)⁵. Áreas funcionais são distinguidas por sua estrutura celular, conectividade e propriedades de resposta fisiológica dos neurônios. Assim, uma área cortical é definida como funcionalmente distinta se os neurônios de tal área tiverem propriedades funcionais similares e conexões comuns⁵.

Citoarquitetura cortical

A estrutura do córtex cerebral humano é muito complexa e heterogênea, variando a distribuição dos neurônios (tanto em tipo quanto em localização) conforme as diferentes regiões corticais.¹ O córtex cerebral é a porção filogeneticamente mais desenvolvida e mais diferenciada do sistema nervoso. Para realizar as diferentes combinações de entrada e saída de informações, as células foram organizadas em um padrão laminar caracterizando então os córtices mais primitivos, chamados de arquicórtex (hipocampo) e paleocórtex (área piriforme olfativa). O neocórtex generalizado de mamíferos primitivos evoluiu simultaneamente do arquicórtex e do paleocórtex^{2,14}. Assim, do ponto de vista estrutural, existem dois tipos básicos de córtex cerebral, definidos por Brodmann (1909) e pelo casal de neurocientistas alemães Oskar e Cécile Vogt (1919): alocórtex e isocórtex (Figura 2)^{10,15,16}. Posteriormente, foi acrescentado o mesocórtex (córtex de transição entre o alocórtex e o isocórtex que é encontrado nas estruturas paralímbicas, que incluem

a porção anterior da ínsula, o córtex orbitofrontal posterior e parte do lobo temporal)¹⁰.

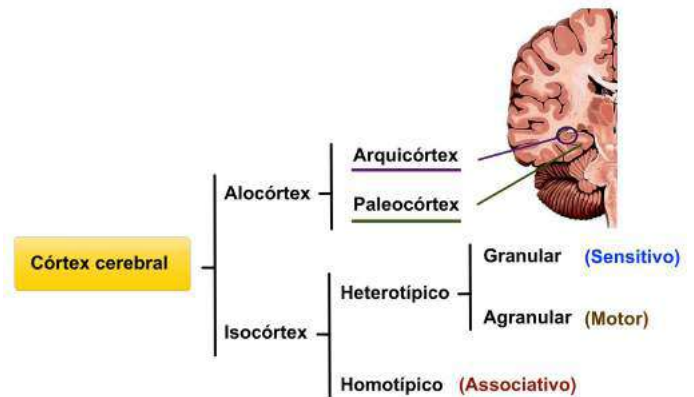


Figura 2: Os tipos básicos de córtex cerebral definidos por Brodmann: alocórtex e isocórtex. No homem, o arquicórtex está localizado no hipocampo e o paleocórtex ocupa o uncus e parte do giro para-hipocampal. Todo o restante do córtex é classificado como isocórtex.

Fonte: Os autores, 2021.

O alocórtex corresponde às regiões corticais mais antigas do ponto de vista filogenético: arquicórtex e paleocórtex.

O arquicórtex é um tipo muito simples e primitivo de córtex que surge no cérebro de peixes e ciclóstomos. No homem, o arquicórtex está localizado no hipocampo (Figura 2)¹⁰. O primeiro sulco cerebral a aparecer filogeneticamente é o sulco que separa o arquicórtex das estruturas circundantes (ou seja, o sulco hipocampal que separa o giro dentado do hipocampo do subículo para-hipocampal)¹⁴.

O paleocórtex ocupa o *uncus* e parte do giro para-hipocampal (Figura 2). O segundo sulco cerebral a aparecer filogeneticamente é o sulco rinal que separa, no lobo temporal medial, o paleocórtex (*uncus*), situado medialmente, do neocórtex (restante do polo temporal), situado lateralmente¹⁴. Ambos os sulcos hipocampal e rinal já estavam presentes nos primeiros mamíferos¹⁴.

Todo o restante do córtex, aproximadamente cerca de 90% da superfície cortical, é classificado como neocórtex. O isocórtex corresponde ao neocórtex (córtex filogeneticamente mais recente)

(Figura 2)^{1,5}.

No isocórtex existem seis camadas corticais (ao menos durante o período embrionário). No alocórtex, o número de camadas é variável (entre três a cinco camadas), mas sempre menor do que seis (mesmo nas fases mais precoces do desenvolvimento) e sem um padrão uniforme^{1,5,10}.

As seis camadas do isocórtex são numeradas da superfície pial para a profundidade e recebem as seguintes denominações (Figura 3)^{1,15,17}:

I: camada molecular (*lamina zonalis*);

II: camada granular externa (*lamina granularis externa*);

III: camada piramidal externa (*lamina pyramidalis*);

IV: camada granular interna (*lamina granularis interna*);

V: camada piramidal interna (ou ganglionar) (*lamina ganglionaris*); e

VI: camada de células fusiformes (ou multiforme) (*lamina multiformis*).

A camada molecular, situada superficialmente, é rica em fibras nervosas amielínicas de direção horizontal e contém poucos neurônios (células horizontais de Cajal). Nas demais camadas corticais predomina o tipo neuronal que dá nome à respectiva camada^{1,10}.

Neurônios granulares (células estreladas) são o principal interneurônio cortical e caracterizados por serem células receptoras do córtex. A densidade destes neurônios aumentou progressivamente durante a filogênese e, assim, possibilitou a existência de circuitos corticais cada vez mais complexos¹. Neurônios piramidais são células de projeção, pois seus axônios, em geral, ganham a substância branca para constituir as fibras eferentes do córtex^{1,5}. Neurônios fusiformes também são considerados neurônios efetadores, pois seus axônios descendentes também ganham o centro branco medular do cérebro¹.

A segunda camada cortical (granular externa)

contém a estria de Kaes e é formada principalmente pelas fibras talamocorticais que, antes de terminarem na camada granular, assumem trajeto horizontal¹⁰.

A terceira camada cortical (piramidal externa) contém células piramidais grandes e de tamanho médio.

A quarta camada cortical (granular interna) contém a estria externa de Baillarger e é a principal camada receptora de projeção da superfície cortical (mais desenvolvida nas áreas sensitivas primárias). Na área visual primária, a estria da lâmina granular interna é muito desenvolvida e pode ser vista macroscopicamente (estria de Gennari)¹⁰.

A quinta camada cortical (piramidal interna) contém a estria interna de Baillarger e é a principal camada efetadora de projeção (mais desenvolvida na área motora primária). Ela é formada principalmente por células piramidais de tamanhos médio e grande e, na área motora primária, observam-se as células piramidais gigantes (Betz)^{5,10}.

A sexta camada cortical (multiforme) é uma camada de neurônios heterogêneos (por isso o nome multiforme) com predomínio das células piramidais pequenas. É a lâmina mais interna do córtex cerebral (adjacente à substância branca)^{5,10}.

O isocórtex possui diferentes arranjos organizacionais de suas camadas ao longo de toda a sua extensão, os quais estão relacionados aos diferentes papéis funcionais da superfície cortical (Figura 3). Dessa forma, as diversas áreas corticais podem ser classificadas, de acordo com suas características histológicas, conforme a Figura 2^{1,5,15,18}.

No isocórtex homotípico, as seis camadas corticais são sempre individualizadas. Já no isocórtex heterotípico, as seis camadas não podem ser claramente individualizadas no adulto, pois a estrutura laminar típica, que era encontrada nas fases mais precoces do desenvolvimento, foi substituída por um grande desenvolvimento de algumas das camadas (granular ou piramidal)^{1,5}. Assim, no isocórtex heterotípico granular, característico de

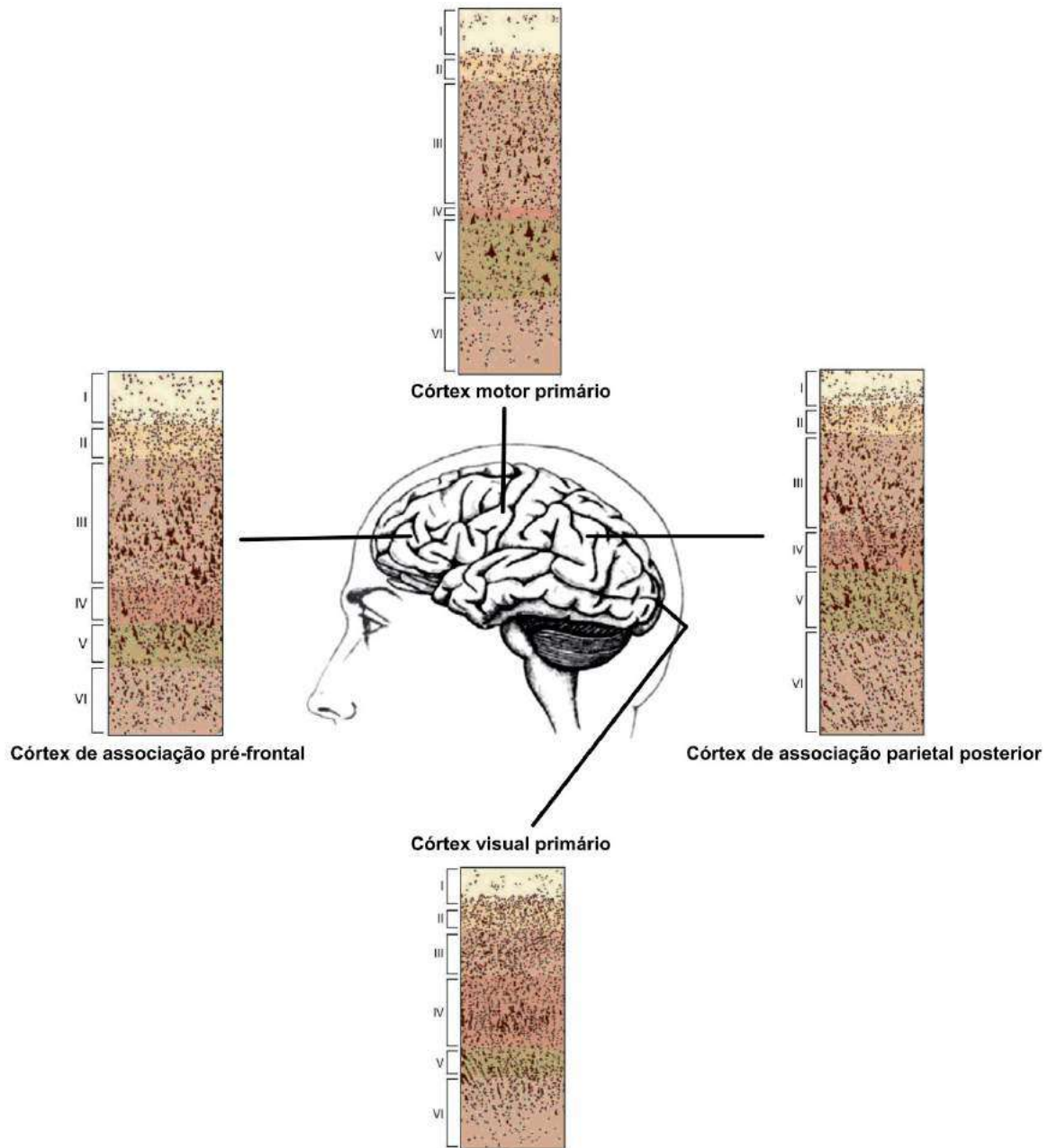


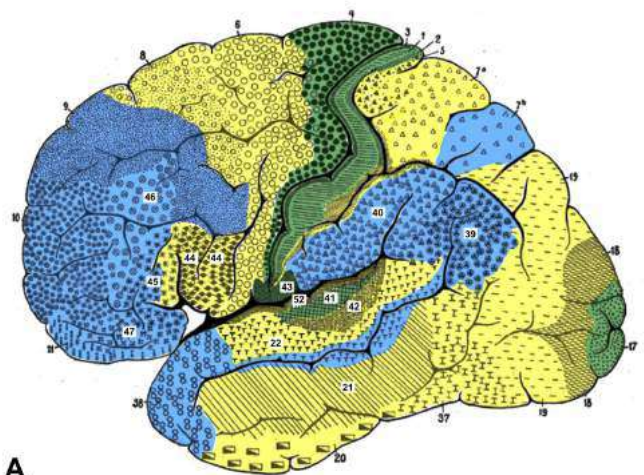
Figura 3: Camadas do isocórtex. A espessura de cada camada do isocórtex varia ao longo das superfícies cortical. As áreas motoras tendem a ter camadas V mais proeminentes (isocórtex heterotípico agranular). As áreas sensitivas tendem a ter a camada IV mais proeminente (isocórtex heterotípico granular). No isocórtex homotípico, característico das áreas corticais de associação, não há um grande predomínio de neurônios piramidais ou granulares.

áreas corticais sensitivas, é evidenciada uma maior densidade neuronal de células granulares na camada IV, que invadem as camadas piramidais adjacentes (III e V) e dificultam a identificação histológica destas camadas piramidais (Figuras 2 e 3). No isocórtex heterotípico agranular, característico de áreas corticais motoras, é evidenciada uma maior densidade neuronal de células piramidais na camada V que invadem a camada granular (IV) e dificultam a identificação histológica desta camada granular (Figuras 2 e 3)^{1,5}.

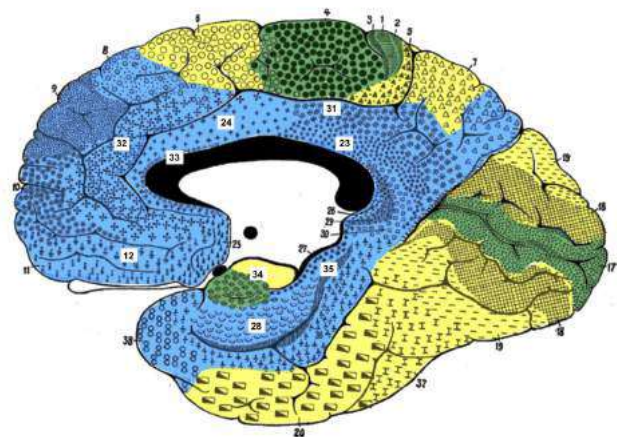
Com espessura que varia entre 3 a 5 mm, acredita-se que o córtex cerebral abrigue cerca de 16 bilhões dos 86 bilhões de neurônios do encéfalo humano^{2,9}. Uma das evidências de que a forma convoluta da superfície cortical seja uma estratégia para aumentar a sua área, em um espaço craniano limitado, é observar que a espessura cortical não varia de forma substancial nas diferentes espécies (quase sempre cerca de 2 a 4 mm de espessura)⁵. Os neurônios do córtex cerebral, independentemente da sua disposição estrutural, estão organizados em colunas, cada uma contendo entre 300 a 600 neurônios, que se conectam verticalmente. Estima-se que existam bilhões de colunas neuronais no córtex humano e esta estrutura vertical, que aumenta a eficiência computacional do córtex, constitui a sua unidade funcional^{1,5}.

Citoarquitetura cortical e localização funcional

O córtex cerebral pode ser dividido em numerosas áreas citoarquiteturais, havendo vários mapas, tendo sido publicados por diferentes autores na história da neurociência. No entanto, a classificação citoarquitetural mais aceita e utilizada, tanto na pesquisa clínica quanto na prática médica, é a proposta por Brodmann (Figura 4)^{15,18}.



A



B

Figura 4: “Mapa de Brodmann” – versão de 1914 (após uma série de modificações e feitas por Brodmann desde 1909). As áreas primárias, secundárias e terciárias foram coloridas de verde, amarelo e azul, respectivamente. As regiões foram destacadas tentando interpretar as descrições fornecidas por Brodmann em suas diversas publicações. Superfícies superolateral (A) e medial e basal (B) do cérebro.

Fonte: Baseado em Garey, 2006¹⁵; e Judas *et al.*, 2012¹⁹.

A base da localização funcional de Brodmann é a subdivisão do córtex cerebral em áreas com estrutura celular e laminar semelhantes, usando o método de coloração de Nissl. Brodmann precocemente se convenceu de que apenas a análise histológica não permitiria a subdivisão funcional do córtex¹⁶.

Parece que a teoria da evolução foi intensamente discutida entre Brodmann e Oskar Vogt (1870-1959), que fundaram o maior instituto de pesquisa do SNC dessa época em Berlim¹³. Isso resultou em estudos

comparativos de encéfalos de primatas humanos e não humanos, além da anatomia comparativa com encéfalos de muitos outros mamíferos (ele estudou pelo menos 64 espécies diferentes de vertebrados)¹⁶. A distribuição dos corpos celulares na massa cinzenta, a citoarquitetura das camadas corticais, a presença de tipos celulares específicos e o arranjo das células em grupos e colunas estavam entre as características que permitiram a Brodmann parcelar o córtex cerebral em “áreas funcionais” (Figura 4)¹³. A estrutura microscópica e a classificação dessas áreas estão em paralelo com a distinção evolutiva entre as subdivisões corticais antigas e novas. Com base nesse conceito integrativo (histologia com filogenia), Brodmann indicou, por meio de seu sistema de numeração, homologias entre áreas corticais de diferentes mamíferos (reforçando o significado da citoarquitetura e da topografia como argumentos importantes na neuroanatomia comparada)¹³. Um dos maiores méritos de Brodmann foi integrar as ideias evolutivas e a análise histológica do córtex com a localização funcional¹³. Dessa forma, uma área cortical tem uma história evolutiva. A identificação de uma área citoarquitetônica requer a demonstração de estruturas homólogas e a modificação de seu padrão laminar em estudos neuroanatômicos comparativos. O trabalho de parcelamento de Brodmann e a definição de uma área citoarquitetônica é, portanto, fundamentado na teoria da evolução do cérebro durante o longo e complexo processo filogenético¹⁶.

CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL

Funcionalmente, o encéfalo está organizado em áreas específicas. Estas localizações funcionais devem ser consideradas como especializações funcionais e não como compartimentos independentes do córtex humano¹.

Do ponto de vista funcional, as áreas corticais podem ser classificadas em dois grandes grupos: áreas de projeção e áreas de associação^{1,5}. As áreas de projeção são as que recebem ou dão origem a fibras nervosas relacionadas diretamente

com a sensibilidade ou com a motricidade. Assim, as áreas de projeção podem ser subdivididas em áreas sensitivas (isocórtex heterotípico granular) e motoras (isocórtex heterotípico agranular) (Figura 2)^{1,5}. As áreas de associação estão relacionadas com o processamento mais complexo de informações. Nessas áreas prevalece o isocórtex homotípico, pois não sendo tais áreas nem sensitivas e nem motoras, não há um grande predomínio de neurônios granulares ou piramidais (Figura 2)^{1,5}.

O neuropsicólogo russo Alexander Luria (1902 – 1977) propôs uma divisão funcional didática do córtex cerebral baseada no grau de relacionamento de determinada área com as funções motoras e sensitivas (Figura 5)¹.

Áreas de projeção (diretamente relacionadas com a sensibilidade ou com a motricidade) são consideradas primárias. As áreas de associação podem ser divididas em secundárias e terciárias. Áreas secundárias são unimodais, pois estão relacionadas, fundamentalmente, com as áreas primárias. Assim, as áreas secundárias sensitivas recebem impulsos nervosos de uma determinada área primária sensitiva e as áreas secundárias motoras projetam fibras nervosas para uma determinada área motora primária. As áreas terciárias são supramodais, ou seja, não se relacionam diretamente com as funções sensitivas ou motoras. Tais áreas estão envolvidas com o processamento da atividade cortical superior (atividades psíquicas complexas, memória, pensamento abstrato, planejamento, etc.), ocupando o topo da hierarquia funcional do córtex cerebral. As áreas terciárias mantêm conexões com as diferentes áreas secundárias e terciárias da superfície cortical^{1,5}.

Durante o longo processo filogenético, houve um aumento expressivo das áreas corticais de associação. No homem, as áreas de associação terciária ocupam a maior parte da superfície cortical cerebral¹.

Para que se possa entender melhor a classificação funcional proposta por Luria, pode-se simplificar o complexo conceito, com o seguinte

exemplo: Ao chegar em casa, o indivíduo coloca a mão no bolso para pegar a chave. O objeto desejado é inicialmente reconhecido pelo tato (área somestésica primária), mesmo sem ser observado. A área somestésica primária emite aferências para a área de associação secundária para correta identificação e interpretação do objeto (comparação do formato do objeto com o conceito de chave previamente conhecido pelo indivíduo). No entanto, após a sensibilidade tátil inicial do objeto, na área sensitiva primária, e o seu reconhecimento, na área sensitiva secundária, é necessário definir o que fazer com a chave pela área de associação terciária (supramodal). Neste momento, o indivíduo vai refletir se está carregando tudo que desejava (terá que se lembrar de não esqueceu algo no carro, por exemplo). Definindo, pela área de associação terciária, que a melhor estratégia é entrar em casa para descansar, é necessário dar início ao plano motor para executar adequadamente o processo de retirar a chave do bolso e abrir a porta. O plano motor, com a sequência de movimentos harmônicos necessários (sequência, amplitude e força), é definido pela área motora secundária e enviado para a área motora primária para a execução final do movimento.

No exemplo, caso a área sensitiva primária fosse lesada, o indivíduo não teria sensibilidade tátil (não perceberia que o objeto encostou em sua mão). As áreas sensoriais primárias recebem a maior parte de sua informação do tálamo, que por sua vez, recebe sinais dos receptores periféricos. As áreas corticais sensoriais primárias são os locais “iniciais” do processamento cortical da informação sensorial. Se a lesão fosse na área sensitiva secundária, o indivíduo teria uma agnosia tátil e não seria capaz de reconhecer o objeto apenas pelo tato (apesar de perceber que está encostando em algo). A área sensorial primária transporta a informação a uma área adjacente e de ordem superior (área secundária) onde os neurônios seletivamente codificam as características específicas dos diferentes estímulos sensoriais e, em conjunto, processam informações complexas⁵.

Caso a lesão fosse na área motora secundária, o paciente teria uma apraxia motora e não seria capaz de realizar um movimento harmônico e adequado capaz de encaixar perfeitamente a chave na fechadura (apesar de não ter um déficit motor propriamente dito). Áreas motoras de ordem superior (secundárias) são responsáveis pela codificação do planejamento dos movimentos (reais ou potenciais) e tal programa motor é transmitido ao córtex motor primário para a sua implementação (caso o movimento seja de fato realizado). Se a lesão fosse na área motora primária, o paciente teria uma paralisia do membro e não seria capaz de movimentar, pelo menos na plenitude da força, o braço. O córtex motor primário é o responsável cortical pelos movimentos voluntários dos membros e do tronco contralateral (é designado primário porque contém neurônios que ativam diretamente os neurônios motores somáticos). O córtex motor primário é o local cortical “final” no para o processamento do comando motor⁵.

Por fim, uma lesão em áreas supramodais (terciárias) poderia acarretar déficits em funções corticais superiores, como memória, pensamento abstrato ou tomada de decisões estratégicas. Áreas de associação multimodais (terciárias) integram as diversas informações disponíveis e coordenam essa informação com um plano de ação (Figura 6).

Pode-se dizer que o fisiologista Jean Fernel sintetizou este conceito de forma poética em sua famosa afirmação: “O cérebro é a cidadela e morada da mente humana, a casa dos pensamentos e da razão, a fonte e origem do movimento e de todos os sentidos; ocupa o ponto mais alto do corpo, olhando para cima, mais próximo do céu”³.

Áreas primárias e secundárias

Áreas sensitivas

As áreas sensitivas do córtex estão distribuídas nos lobos parietal, temporal, insular e occipital. Tais áreas são divididas em primárias (de projeção) e secundárias (de associação) (Figura 5). As áreas primárias recebem fibras talamocorticais do sistema

Classificação funcional do córtex cerebral

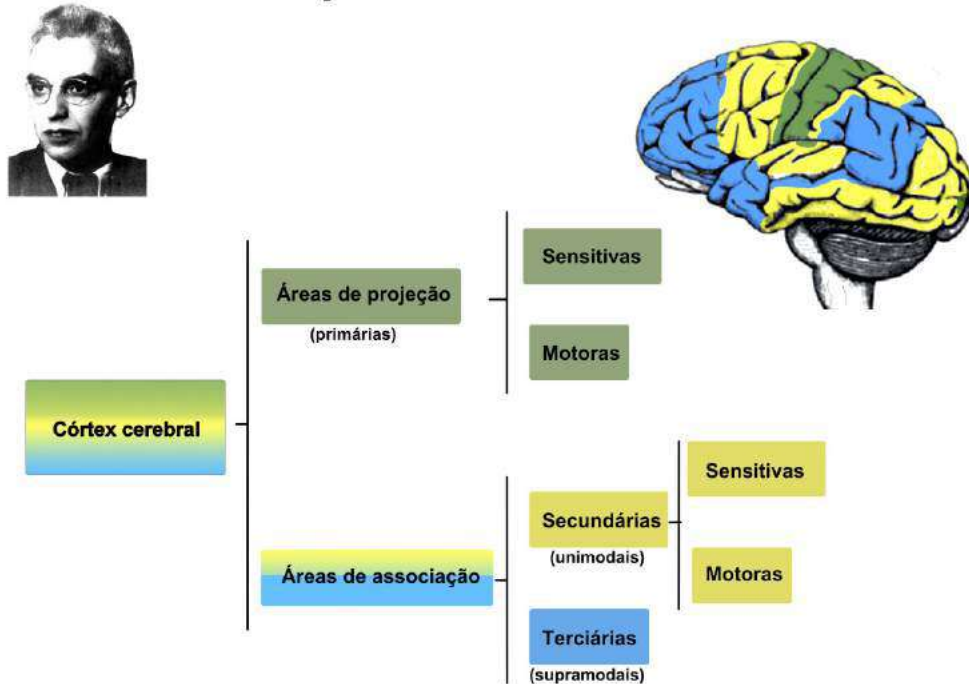


Figura 5: Lúria propõe uma divisão funcional do córtex cerebral baseada no grau de relacionamento de determinada área com as funções motoras e sensitivas. Alexander Lúria (1902 – 1977) está destacado na figura. No desenho esquemático do encéfalo humano, as diferentes áreas corticais estão coloridas conforme o padrão de cores adotado na chave (verde: áreas primárias; amarelo: áreas secundárias; e azul: áreas terciárias).

Fonte: Os autores, 2021.

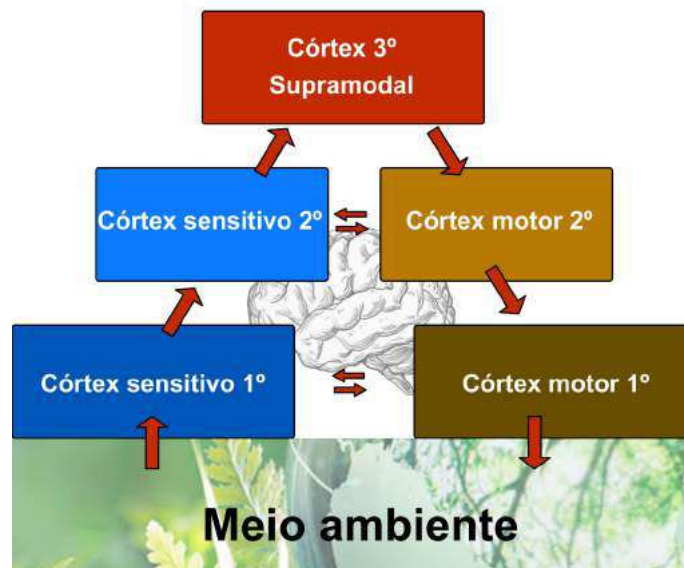


Figura 6: Desenho esquemático do sequenciamento hierárquico da informação no córtex cerebral. Áreas primárias estão diretamente relacionadas com a sensibilidade ou com a motricidade. As áreas secundárias sensitivas recebem impulsos nervosos de uma determinada área sensitiva primária e as áreas secundárias motoras projetam fibras nervosas para uma determinada área motora primária. As áreas terciárias são supramodais e não se relacionam diretamente com as funções sensitivas ou motoras (estão envolvidas com o processamento da atividade cortical superior). O processamento da informação sensorial no córtex cerebral tem início nas áreas sensoriais primárias, continua nas áreas de associação unimodal (secundárias) e completa-se nas áreas terciárias (supramodais). Os sistemas sensoriais também se comunicam com o córtex motor, pois para o ato motor adequado são necessárias informações sensoriais sobre o objeto, o corpo e o espaço. Após definida, pelas áreas terciárias, qual a melhor estratégia de interação com o meio ambiente.

Fonte: Os autores, 2021.

sensorial (exceto a área olfativa) e estão relacionadas à percepção inicial deste estímulo. As áreas secundárias estão relacionadas à caracterização e processamento adicional da informação^{1,5}. Assim, a informação sensorial é processada de forma seriada, com cada área da cadeia neuronal desempenhando certas computações e transmitindo os resultados para a próxima área. As vias sensoriais, no entanto, não são exclusivamente seriais⁵. Em cada nível funcional, áreas de associação se projetam de volta para as áreas primárias e, dessa forma, modulam a atividade de neurônios das áreas primárias (por exemplo, o processamento da informação de áreas visuais secundárias podem originar sinais retrógrados que permitem os neurônios da área visual primária a analisar informações mais detalhadas de uma parte específica da face)⁵. Cada tipo de sensibilidade especial corresponde a uma área primária cortical, enquanto todas as formas de sensibilidade geral convergem para uma só área, a área somestésica.

Sensibilidade somestésica

Área somestésica primária (S1)

A área somestésica primária está localizada no giro pós-central (áreas 1, 2 e 3 de Brodmann). A área 3 localiza-se na profundidade do sulco central, enquanto as áreas 1 e 2 localizam-se do bojo do giro (Figura 4). Em S1 se projetam as radiações talâmicas dos núcleos ventral posterolateral e ventral posteromedial do tálamo e, assim, trazem impulsos nervosos relacionados a temperatura, dor, pressão, tato, sensibilidade vibratória e propriocepção consciente do dimídio corporal oposto^{1,5}.

Existe uma correspondência entre as partes corporais e a área somestésica primária (somatotopia) que é representada, conforme representado por Penfield e Rasmussen, por um homúnculo sensitivo (Figura 7). Superomedialmente, neste homúnculo, localiza-se a área sensitiva dos órgãos genitais e do pé. Na borda superior do hemisfério localiza-se a área das pernas, tronco e braço. Na altura do

segmento distal do sulco frontal superior localiza-se a extensa área sensitiva da mão que é seguida, mais inferiormente, pela área do segmento cefálico, onde a face e a boca também apresentam uma área cortical desproporcionalmente grande em relação à área corporal. Na porção mais baixa do giro pós-central localizam-se as áreas da língua e faringe^{1,5}.

O fato da representação cortical para a mão (especialmente dedos) e face (especialmente lábios) ser ampla demonstra o princípio de que sua extensão de uma parte do corpo depende da importância funcional desse segmento corporal para a biologia do animal, e não do tamanho do segmento corporal^{1,5}.

Modalidades mais grosseiras de sensibilidade, como o tato não discriminativo (protopático) e a sensibilidade térmica e dolorosa, são processadas inicialmente já em nível talâmico e podem permanecer mesmo em pacientes com lesões extensas de S1¹.

Área somestésica secundária (S2)

A área somestésica secundária está localizada no lobo parietal superior, logo posterior a S1 (área 5 e parte da área 7 de Brodmann) (Figura 4). Lesões de áreas secundárias causam, principalmente, dificuldade de reconhecer e caracterizar estímulos táteis (agnosia tátil)^{1,5}. S2 também está associada a um circuito relacionado à imitação de aprendizagem motora (sistema neurônios-espelho).

Sensibilidade visual

Área visual primária (V1)

A área visual primária está localizada nos lábios do segmento posterior do sulco calcarino (área 17 de Brodmann) (Figura 4). Esta área, também denominada de córtex estriado, está na face medial do lobo occipital e engloba o giro lingual (occipitotemporal medial) e a porção inferior do cuneo. Em V1 se projetam as fibras da radiação óptica (trato geniculocalcarino) que se originam no

Homúnculo motor e somestésico

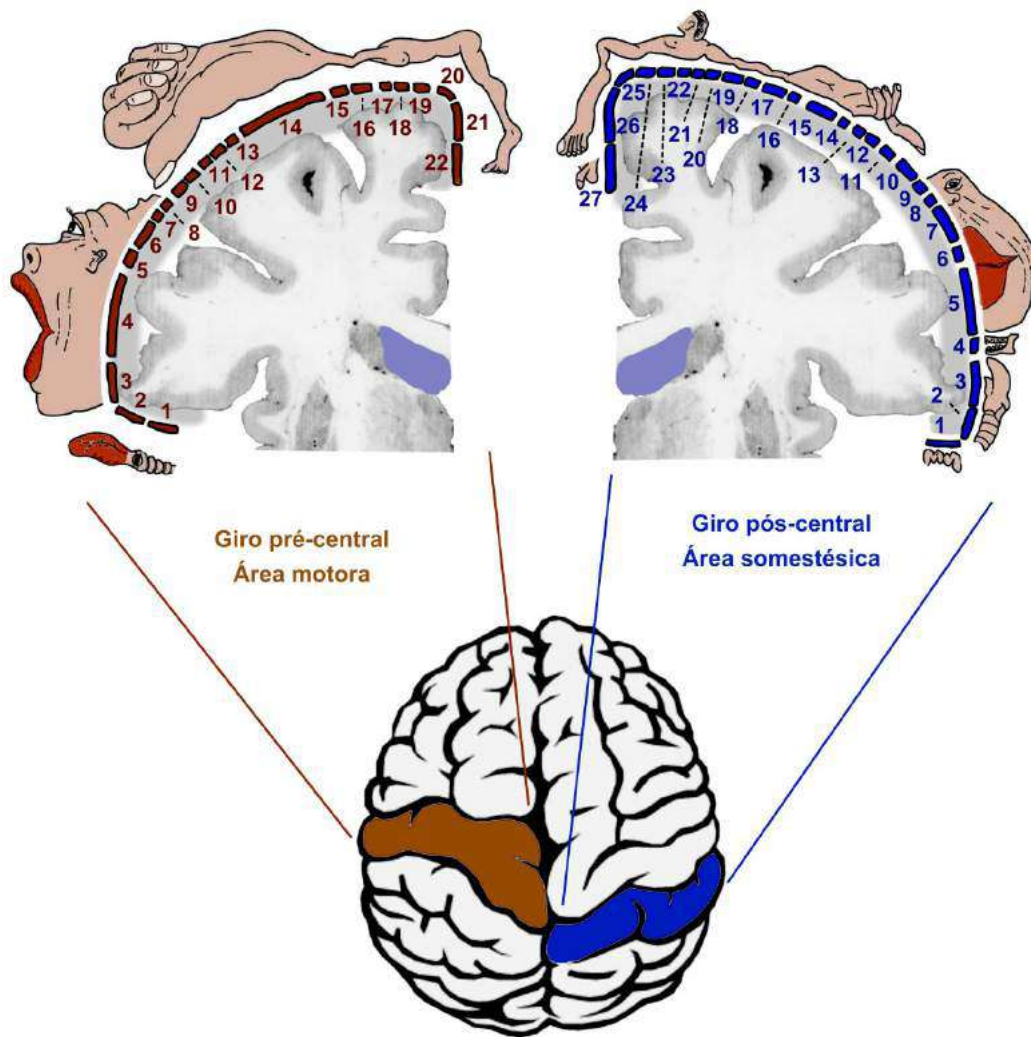


Figura 7: A representação do homúnculo ilustra a área cortical relativa para cada parte específica do corpo. (A) Homúnculo motor A área da superfície cortical de uma determinada região corporal está relacionada ao grau de controle motor da respectiva parte do corpo. Nos humanos, uma considerável parte do córtex motor é dedicada aos músculos da mão e da fala. 1: deglutição, 2: língua, 3: mandíbula, 4: lábios, 5: face, 6: pálpebra e olho, 7: testa, 8: pescoço, 9: polegar (dedo), 10: indicador (dedo), 11: médio (dedo), 12: anular (dedo), 13: mínimo (dedo), 14: mão, 15: punho, 16: cotovelo, 17: ombro, 18: tronco, 19: quadril, 20: perna, 21: joelho e panturrilha, 22: tornozelo e artelhos. (B) Homúnculo sensitivo – toda a superfície corporal é representada no córtex de forma ordenada. A área cortical dedicada ao processamento da informação de uma região particular do corpo não é proporcional à área da região corporal e sim a densidade de receptores sensoriais da respectiva região. Nos humanos, uma considerável parte do córtex sensitivo é dedicada aos lábios e mão. 1: intra-abdominal, 2: faringe, 3: língua, 4: dentes, gengiva e mandíbula, 5: lábio inferior, 6: lábio superior, 7: face, 8: nariz, 9: olho, 10: polegar (dedo), 11: indicador (dedo), 12: médio (dedo), 13: anular (dedo), 14: mínimo (dedo), 15: mão, 16: punho, 17: antebraço, 18: cotovelo, 19: braço, 20: ombro, 21: nuca e região dorsal da cabeça, 22: pescoço, 23: tronco, 24: quadril, 25: perna, 26: pé e artelhos e 27: genitais.

Fonte: Adaptado de Kandel *et al.*, 2014⁵.

corpo geniculado lateral. Existe uma correspondência (retinotopia) do córtex visual primário com a retina, pois a metade superior da retina se projeta, através da cadeia neuronal das vias ópticas, no lábio superior do sulco calcarino, e a metade inferior da retina para o lábio inferior do sulco calcarino. A mácula retiniana (área de maior acuidade visual) projeta-se na parte mais posterior do sulco calcarino (próximo do polo occipital)¹. O giro descendente de Ecker é um pequeno lóbulo composto pelo córtex estriado e seus limites correspondem aos limites posterolaterais reais do córtex estriado em humanos².

A área visual primária processa fundamentalmente o contorno do objeto (detecção da intensidade da luz e de padrões visuais), resultando em um rascunho da imagem (esboço primitivo). Curiosamente, esta área é ativada não apenas com a apresentação física de informações visuais, mas também em tarefas de imagens mentais.

Lesões em V1 causam déficit no campo visual conforme a extensão da lesão (desde escotoma até cegueira)^{1,5}. Na maioria dos mamíferos, no entanto, a visão não é completamente corticalizada e pode-se manter alguma persistência de sensação luminosa grosseira mesmo após lesões extensas no córtex visual primário¹. Lesões bilaterais completas dos lobos occipitais produzem cegueira cortical, que às vezes está associada à falta de consciência ou negação da cegueira (síndrome de Anton).

Áreas visuais secundárias (V2, V3, V4 e V5)

As áreas visuais secundárias estão localizadas no lobo occipital, de forma adjacente à área visual primária, e se estendem para o lobo temporal e para uma diminuta porção posterior do lobo parietal. Tais áreas correspondem às áreas 18, 19, 20, 21 e 37 de Brodmann e são responsáveis pela interpretação das informações visuais (Figura 4)^{1,5}.

Segundo estudos experimentais em macacos, as áreas visuais secundárias estão unidas por duas vias corticais de projeção, aparentemente distintas, que se originam da área visual primária e processam

aspectos diferentes da percepção visual^{1,2,5}. A via dorsal corresponde às áreas de V3 e V5 e é uma via que se origina de V1 e segue em direção ao lobo parietal posterior. A via ventral corresponde às áreas de V2 e V4 e é uma via que se origina em V1 e segue em direção às porções mais anteriores e basais do lobo temporal. Na via dorsal são processadas características dinâmicas do objeto (posição, movimento, velocidade e representação espacial). Assim, processa informações de “onde está o objeto” – mais particularmente relacionado à percepção espacial e dinâmica da informação visual. Na via ventral são processadas características específicas do objeto (cor, forma, textura, reconhecimento do objeto e da face humana) e, assim, processa informações do “o que é o objeto” – mais particularmente relacionado à discriminação e reconhecimento de padrão visual^{1,2,5}. De acordo com estudos funcionais, as áreas visuais secundárias (áreas 18 e 19 de Brodmann) também participam de outras funções visuais, como preparação visual e atenção visual. É interessante enfatizar que a área 19 de Brodmann está relacionada com algumas funções relacionadas à linguagem, em particular no processamento da língua de sinais.

Lesões nas áreas visuais secundárias causam agnosia visual (incapacidade de reconhecer o objeto, ou características dele, mesmo com a percepção primária preservada). Assim, o indivíduo enxerga, mas não reconhece um determinado objeto ou suas características. A agnosia visual pode ter diferentes manifestações. Um exemplo de lesão da via cortical dorsal é a acinetopsia (incapacidade de perceber, visualmente, o movimento dos objetos ou da cena)¹. Neste caso, o paciente pode observar uma escada rolante funcionando e acreditar que a mesma está desligada. Um exemplo de lesão da via cortical ventral é a prosopagnosia (incapacidade de reconhecer faces humanas previamente conhecidas). Neste caso, o paciente pode enxergar a face de um familiar, porém não o reconhecer.

Sensibilidade auditiva

Área auditiva primária (A1)

A área auditiva primária dos mamíferos é cercada por múltiplas regiões distintas na superfície opercular do lobo temporal, mas a principal área auditiva primária está localizada no giro temporal transversal anterior (giro de Heschl) e corresponde à área 41 de Brodmann (Figura 4)⁵. Em A1 se projetam as fibras da radiação auditiva que se originam no corpo geniculado medial. Assim como o córtex somatossensorial e visual, o córtex auditivo primário contém um mapa tonotópico que reflete o padrão de sensores periféricos (neurônios são organizados em um mapa sistemático refletindo as frequências que melhor os estimulam)⁵. Neurônios sintonizados para frequências mais baixas são encontrados na extremidade rostral de A1, enquanto aqueles que respondem a frequências mais altas se situam na região mais caudal⁵.

A área auditiva primária está relacionada no processamento básico de estímulos auditivos, processamento de padrões acústicos descontínuos, detecção rápida de som e processos auditivos semelhantes.

Lesões unilaterais do córtex auditivo primário causam déficits auditivos discretos, pois, ao contrário das demais formas de sensibilidade, a via auditiva não é completamente cruzada^{1,5}. Neurônios auditivos de A1 são estimulados por aferências de ambas as cócleas, com a aferência contralateral geralmente sendo mais importante do que a aferência ipsilateral⁵. Lesões bilaterais dos giros de Heschl podem resultar em surdez central.

Área auditiva secundária (A2)

As áreas auditivas secundárias se localizam no lobo temporal, de forma adjacente a A1, e correspondem as áreas 42 e 22 de Brodmann (Figura 4). Áreas auditivas também são observadas no córtex insular posterior²⁰. A função das áreas secundárias é processar a informação auditiva para

características mais refinadas da informação sonora.

Esta área tem especial interesse quanto à sua assimetria funcional nos hemisférios cerebrais. Sua lesão, no hemisfério dominante para a linguagem, determina afasia sensitiva.

Sensibilidade vestibular

Área vestibular primária

A área vestibular primária está localizada no lobo parietal em uma pequena região próxima da área somestésica facial. Nesta área é processada a percepção consciente da orientação espacial¹. Além desta área, a ínsula granular posterior também é descrita como córtex vestibular primário²¹.

Sensibilidade olfatória

Área olfatória primária (O1)

A área olfatória primária está localizada no lobo temporal medial em uma pequena área na região mais anterior do *uncus* e do giro para-hipocampal. Esta área, também denominada de córtex piriforme, corresponde, pelo menos parcialmente, à área 34 de Brodmann e é considerada a principal área cortical olfativa (Figura 4)¹. Esta área é grosseiramente definida como a porção do córtex que recebe a projeção direta do bulbo olfatório e está relacionada com o processamento da informação olfatória (discriminação dos odores)^{5,10}.

Uma particularidade do córtex olfatório é ser o destino de neurônios situados no bulbo olfatório ipsilateral (via sensitiva consciente sem um relé talâmico e com projeção cortical não cruzada)^{1,5}. O córtex olfatório recebe sinais centrífugos de áreas encefálicas modulatórias, o que permite a modulação da percepção sensorial conforme o estado comportamental⁵.

Áreas olfatórias secundárias (O2)

As áreas olfatórias secundárias se localizam em regiões diversas, como ínsula, demais áreas do córtex piriforme e córtex orbitofrontal. A função das áreas secundárias é processar a informação olfatória para características mais refinadas da informação²².

Um detalhe das áreas olfatórias secundárias é serem topograficamente similares às áreas gustativas (correlação funcional)²².

Sensibilidade gustativa

Área gustativa primária (G1)

A área gustativa primária de não primatas é localizada na região anterior da ínsula e opérculo frontal adjacente. Nos humanos ela tem uma localização mais posterior e localiza-se provavelmente na porção média da ínsula (ínsula disgranular) e/ou em regiões mais posteriores do córtex insular (ínsula granular)^{21,22}. Outra área que aparenta ser área cortical gustativa primária é a porção inferior (opercular) do giro pós-central – área 43 de Brodmann¹⁰. A localização exata é complexa, devido a mesma região estar envolvida com o processamento somatossensorial oral e de outros aspectos corticais superiores relacionados ao alimento como paladar e expectativas de sabor. O estímulo elétrico dos giros curtos da ínsula mais posteriores geram alucinação gustatória como metálico ou amargo²².

Nestas áreas são processadas as informações gustativas do alimento (intensidade e características).

Área gustativa secundária (G2)

A área gustativa secundária está localizada no opérculo frontal (porção do lobo frontal localizado no interior do sulco lateral). Nesta área são processadas informações complementares do paladar e valor afetivo do estímulo gustativo^{1,22}.

Áreas motoras

As áreas motoras do córtex estão distribuídas no lobo frontal (Figura 5). Tais áreas, assim como as áreas sensitivas, também são divididas em primárias (de projeção) e secundárias (de associação). A área primária está relacionada à execução do ato motor e as áreas secundárias estão relacionadas ao planejamento do ato motor a ser executado. O objetivo do movimento (estratégia comportamental) é determinado pelo córtex supramodal (terciário) que passa as informações para as áreas pré-motoras (secundárias), onde é realizado o planejamento do ato motor, e por fim as informações chegam à área motora primária para que o movimento seja executado^{1,5}.

A motricidade voluntária só é possível porque as áreas motoras recebem constantemente informações sensoriais. Além de receber as informações sensoriais, tão importantes para a realização do ato motor adequado (por exemplo, informações proprioceptivas), a decisão de executar um determinado ato motor depende da íntima integração entre os sistemas sensitivos e motor. As principais aferências da área motora primária são oriundas do tálamo (informações dos núcleos da base e cerebelo), áreas motoras secundárias e da área somestésica¹.

Área motora primária (M1)

A área motora primária está localizada na parte posterior do giro pré-central (área 4 de Brodmann) (Figura 4). De M1 se projetam os axônios das células piramidais gigantes (células de Betz) que formarão a maior parte dos tratos corticoespinal e corticonuclear. Assim, darão origem à via motora voluntária¹⁰. Esta área é a que tem o menor limiar para desencadear movimentos com a estimulação elétrica cortical. Tais estímulos determinam movimentos de grupos musculares distais contralateralmente¹.

Existe uma correspondência entre as partes corporais e a área motora primária (somatotopia)

que é representada, segundo ilustrado por Penfield e Rasmussen, por um homúnculo motor (Figura 7). Superomedialmente, neste homúnculo, localiza-se a área motora do pé e pernas. Na borda superior do hemisfério localiza-se a área do tronco e braço. Na proximidade do segmento distal do sulco frontal superior, localiza-se a extensa área motora da mão que é seguida, mais inferiormente, pela área do segmento cefálico, onde a boca também apresenta uma área cortical desproporcionalmente grande em relação à área corporal. Na porção mais baixa do giro pós-central localizam-se as áreas da língua e faringe^{1,5}.

O fato da representação cortical para a mão (especialmente dedos) e face (especialmente boca) terem representação cortical amplas demonstra, mais uma vez, o princípio de que a extensão da representação cortical de uma parte do corpo depende da importância funcional desse segmento corporal para a biologia do animal (destreza do movimento pelo grupamento muscular), e não do tamanho do segmento corporal¹.

A área M1 está envolvida no controle de todos os aspectos do movimento, mas em especial nos movimentos fracionados necessários para atos motores voluntários que requerem habilidade e destreza⁵.

A lesão de M1 determina paralisia contralateral. Interessante destacar que a organização somatotópica do córtex cerebral pode sofrer modificações em decorrência de aprendizado (experiências de vida) ou após lesões¹.

Áreas motoras secundárias (M2)

Na década de 30 do século 20, os neurofisiologistas descobriram que o movimento também poderia ser desencadeado pela estimulação das áreas motoras secundárias. A área 6 de Brodmann contém as áreas motoras secundárias principais que se projetam diretamente para a área motora primária, mas também para áreas subcorticais

através dos tratos corticoespinal e corticonuclear⁵.

A diversidade de funções envolvendo a área 6 de Brodmann, provavelmente a maior área citoarquitetônica do mapa de Brodmann, é surpreendente. No entanto, sua função básica é a codificação do sequenciamento motor e planejamento de movimentos. As áreas motoras secundárias são ativadas funcionalmente antes da execução do movimento (planejamento do ato motor). Este planejamento envolve estabelecer quais grupos musculares devem ser contraídos em função da trajetória, velocidade, distância e força necessárias para um movimento corporal harmônico e efetivo. As informações do planejamento motor são transmitidas à área M1 para que a execução do plano motor seja efetuada¹.

Lesões de M2 causam apraxias, ou seja, incapacidade de realizar um determinado movimento apesar da capacidade de movimentar o membro estar preservada. Nestes pacientes, M1 não recebe a codificação cortical para realizar o movimento adequadamente¹.

Área pré-motora

A área pré-motora está localizada na superfície superolateral do lobo frontal, anteriormente à área motora primária (ocupando parte da área 6 de Brodmann). Dessa área se projetam neurônios que compõem majoritariamente o trato cortico-reticuloespinal que é responsável, em especial, por grupos musculares destinados a colocar o corpo em uma postura básica preparatória para a realização de movimentos (musculatura do tronco e proximal dos membros)¹. Esta área requer um maior limiar elétrico para desencadear movimentos com a estimulação elétrica cortical e os movimentos obtidos envolvem grupos musculares maiores, como os do tronco ou segmentos mais proximais dos membros¹.

A função mais importante da área pré-motora é o planejamento do ato motor e, assim, sua principal projeção cortical é para M1. As principais aferências para a área pré-motora são o tálamo (informações

cerebelares) e demais áreas secundárias e terciárias do córtex cerebral. Acredita-se que o planejamento motor da área pré-motora esteja relacionado com o movimento corporal realizado por uma “influência externa”¹. Dessa forma, essa área seria especialmente ativada para planejar um movimento corporal que deve ser feito secundário a um determinado estímulo externo¹.

A área pré-motora integra o sistema de neurônios-espelho. Neurônios-espelho foram inicialmente observados em macacos nas áreas corticais pré-motoras e parietais e, apenas mais recentemente, foram descritos em humanos. Esse sistema neuronal é ativado não somente antes do ato motor, como seria esperado para uma área motora secundária, mas também quando o indivíduo observa outro realizando um determinado ato motor¹. Esse sistema localiza-se em parte da área pré-motora e também no lóbulo parietal inferior. É provável que exista uma distribuição somatotópica dos neurônios nesse sistema. Os neurônios-espelho desempenham um papel na compreensão da ação, antecipação, imitação, imaginação, comportamento social e atos semelhantes (representações internas das ações). Este sistema é a base anatomofuncional da aprendizagem motora por observação (modulação da excitabilidade de neurônios responsáveis pelo ato motor aprendido através da observação)¹.

Danos na área pré-motora resultam em apraxia cinética (perda dos componentes cinéticos). Nesses casos os movimentos são grosseiros - movimentos que não têm mais a aparência de terem sido aprimorados com o decorrer do tempo.

Área motora suplementar

A área motora suplementar está localizada na proximidade da borda superomedial e face medial do lobo frontal, anteriormente à área motora primária (ocupando parte da área 6 de Brodmann)¹.

A função mais importante da área motora suplementar é o planejamento do ato motor e, assim, sua principal projeção cortical é para M1. As

principais aferências para a área motora suplementar são o tálamo (informações dos núcleos da base) e demais áreas secundárias e terciárias do córtex cerebral. Acredita-se que o planejamento motor da área motora suplementar esteja relacionado com o movimento corporal realizado por uma “decisão interna” - planejamento de sequências complexas de movimentos^{1,10}. Assim, essa área seria especialmente ativada para planejar um movimento corporal que deve ser feito secundário a um planejamento estratégico das áreas corticais terciárias¹.

Área de Broca

Em 1861, Broca correlacionou a lesão do giro frontal inferior esquerdo com perda da expressão da linguagem¹⁰. Situada nas partes opercular e porção posterior triangular do giro frontal inferior, corresponde à área 44 de Brodmann. É responsável pela programação da atividade motora relacionada com a expressão da linguagem¹⁰. A área de Broca corresponde a uma subdivisão do córtex motor secundário.

Esta área tem especial interesse quanto à sua assimetria funcional nos hemisférios cerebrais. Sua lesão, no hemisfério dominante para a linguagem, determina afasia motora.

Área oculógira frontal

O centro funcional dos movimentos conjugados dos olhos e dos movimentos conjugados da cabeça com os olhos está localizado no giro frontal superior (área 8 de Brodmann). A área 8 esquerda é dextrógira e a direita levógira. A via oculocefalógira segue pelo feixe corticonuclear e vai projetar-se na formação reticular pontina paramediana do lado oposto¹⁰. Essa formação, através do fascículo longitudinal medial, comanda o núcleo do nervo oculomotor contralateral e o núcleo do nervo abducente homolateral. Algumas fibras oculocefalógicas seguem pelo feixe piramidal, terminando no núcleo do nervo espinal homolateral

(rotação da cabeça)¹⁰. A área oculógira frontal corresponde a uma subdivisão do córtex motor secundário.

Lesão dessa área causa desvio conjugado do globo ocular na direção da área lesada (*déviacion conjugué*).

Áreas eloquentes

Segundo o dicionário de língua portuguesa Michaelis, eloquente é um atributo das pessoas com a habilidade de se expressar em público com desenvoltura; é a capacidade de convencimento. Trata-se de um termo frequentemente utilizado na literatura neurológica para descrever algumas áreas corticais. Tentar rastrear a origem dessa curiosa terminologia mostra-se difícil, mas frequentemente o termo aparece na literatura sobre malformação arteriovenosa (MAV)²³. Essa terminologia foi utilizada por Spetzler e Martin em um sistema de graduação proposto para MAVs, em que os autores definiram áreas cerebrais eloquentes como aquelas que correspondem a funções neurológicas prontamente identificáveis e, se lesadas, resultam em déficit neurológico incapacitante²⁴. Esses autores consideraram como regiões eloquentes do córtex cerebral as áreas primárias somestésica, motora e visual, e as áreas da linguagem²⁴.

Classicamente, o critério para definir o sucesso neurocirúrgico se baseia no breve exame neurológico à beira do leito. Os pacientes que foram aprovados nessa breve avaliação são considerados “neurologicamente intactos”, mesmo que tenham alguma alteração neuropsicológica ainda não diagnosticada. Alterações de comportamento ou memória, por exemplo, estão muito distantes de serem consideradas insignificantes²³. Talvez, com um padrão mais rigoroso na avaliação do resultado neurocirúrgico, nenhuma região do córtex cerebral possa ser considerada “não eloquente”²³. Como veremos nos próximos itens deste texto, as modernas técnicas de neuroimagem e as avaliações neuropsicológicas cada vez mais sofisticadas,

provavelmente nos mostrarão que todas as áreas corticais apresentam algum componente funcional.

Áreas terciárias

As áreas terciárias (supramodais) ocupam o topo da hierarquia funcional do córtex cerebral e não se relacionam diretamente com a modalidade sensitiva ou motora. Dessa forma, as áreas supramodais recebem e integram todas as informações sensitivas já processadas pelas áreas secundárias e são responsáveis por planejar as diversas estratégias comportamentais que podem, ou não, ser expressas por atos motores através de conexões eferentes com as áreas motoras correspondentes¹.

Área pré-frontal

A área pré-frontal localiza-se anteriormente no lobo frontal e compreende a parte não motora desse lobo cerebral. Trata-se de uma região que se desenvolveu muito durante a filogênese e, no homem, ocupa cerca de 25% da superfície cortical¹.

A área pré-frontal apresenta conexões com diversas regiões corticais secundárias e terciárias, além de diversas estruturas subcorticais. Assim, justificando este amplo número de conexões neuronais, a área pré-frontal é responsável por ser a coordenadora das funções neurais mais complexas, tais como memória, manutenção da atenção, estratégias comportamentais e o controle do comportamento emocional (controle executivo do comportamento). Corresponde às áreas 9, 10, 11, 12, 32, 45, 46 e 47 de Brodmann (Figura 4)^{1,10}.

Funcionalmente, pode-se dividir a área pré-frontal em duas regiões principais: dorsolateral e orbitofrontal^{1,5}.

Área pré-frontal dorsolateral

A subárea dorsolateral localiza-se na porção anterior e na superfície superolateral do lobo frontal.

Em decorrência de amplas conexões com o corpo estriado (em especial o putame - do latim, *putamen*), esta região integra o circuito córtico-estriado-talâmico-cortical. Tal circuito está envolvido nas chamadas funções executivas do córtex cerebral, tais como o planejamento e execução de estratégias comportamentais mais adequadas às diferentes situações físicas e sociais do indivíduo; modificações de comportamento em decorrência das modificações do meio; avaliação das consequências das ações do indivíduo em relação ao meio; planejamento e organização estratégica; inteligência e memória operacional^{1,5}.

Área pré-frontal orbitofrontal

A subárea orbitofrontal localiza-se na superfície basal e parte da superfície medial do lobo frontal. Em decorrência de amplas conexões com o corpo estriado (em especial, o núcleo caudado), esta região integra o circuito córtico-estriado-pálido-talâmico-cortical. Tal circuito está envolvido no processamento das emoções (comportamento emocional em decorrência de estímulos externos), supressão do comportamento social indesejado e na manutenção da atenção^{1,5}.

Outra importante via de projeção para a área pré-frontal orbitofrontal é o feixe prosencefálico medial. Este feixe forma o sistema dopaminérgico mesolímbico (sistema de recompensa) e é caracterizado pela percepção de prazer em decorrência de comportamentos específicos, tanto relacionados ao comportamento motivado (importantes para a sobrevivência, tais como as atividades alimentares e sexuais), quanto a situações do cotidiano^{1,5}.

Área parietal posterior

A área parietal posterior ocupa, na superfície superolateral do hemisfério, o lóbulo parietal inferior (áreas 39 e 40 de Brodmann), parte do lóbulo parietal superior (região posterior da área 7 de Brodmann),

e uma pequena parte adjacente aos lábios do sulco temporal superior (Figura 4)¹.

Esta região localiza-se entre as áreas secundárias auditiva, visual e somestésica, e tem a função de integrar informações recebidas dessas três áreas sensitivas. A integração das informações já processadas dessas áreas gera uma imagem mental completa dos objetos sob a forma de percepções mais holísticas (aparência, som, tato, nomenclatura, etc.). Esta integração sensorial também é importante para a autopercepção espacial, permitindo ao indivíduo determinar as relações entre os diferentes objetos no espaço externo e, também, criando uma imagem do indivíduo no espaço (área do esquema corporal)¹.

Além das funções sensoriais integrativas, a área parietal posterior também tem funções associadas à atenção seletiva e as motoras (planejamento do movimento e sistema de neurônios-espelho)¹. A ampla integração sensitiva permitindo a autopercepção espacial é parte fundamental para fornecer respostas motoras adequadas^{2,5}.

Áreas límbicas

Na face medial do hemisfério localiza-se um “anel cortical” contínuo que é constituído fundamentalmente pelos giros paraterminais, giro do cíngulo, istmo do giro do cíngulo, giro parahipocampal e hipocampo. Tal anel cortical contorna formações inter-hemisféricas, tais como o corpo caloso e as comissuras anterior e posterior, e foi considerado por Broca como um lobo independente (lobo límbico)^{1,10}. O lobo límbico é separado do córtex adjacente pela fissura límbica, sulco descontínuo formado sucessivamente pelos sulcos: para-olfatório anterior, do cíngulo, subparietal, calcarino anterior, colateral e rinal¹⁰.

O córtex límbico está funcionalmente relacionado à memória, às emoções e ao controle do sistema nervoso autônomo. Interessante notar que as áreas cerebrais envolvidas com o comportamento emocional são semelhantes e

próximas das áreas envolvidas na memória. Existe uma associação estreita entre emoção e a memória, pois apenas as informações que são significativas do ponto de vista emocional e motivacional são memorizadas. Informações emocionalmente neutras são geralmente esquecidas.

Importante ressaltar que o conceito de sistema límbico, relacionado às emoções e à memória, é constituído por um amplo conjunto de estruturas corticais e subcorticais. Apesar do conceito ser controverso, em termos de sua concepção e composição, os principais elementos do sistema límbico são a formação hipocampal e a amígdala, que participam de circuitos distintos^{1,2}. A formação hipocampal está principalmente relacionada ao processo de converter a memória de curto prazo em memória de longo prazo, enquanto os circuitos que incluem a amígdala estão mais relacionados às emoções e, em última análise, influenciam os sistemas efetores autônomo e neuroendócrino, principalmente por meio do hipotálamo.² Este texto se restringirá a discutir, de forma resumida, às estruturas corticais.

Memória

As áreas cerebrais relacionadas com a memória são amplas e diversas. As principais áreas corticais são o lobo temporal medial (hipocampo, giro denteado, córtex entorrinal e giro para-hipocampal), o córtex cingular posterior, a área pré-frontal dorsolateral e as diversas áreas corticais de associação terciárias do neocórtex¹.

Existem vários critérios para se classificar os tipos e subtipos de memórias. Cada área cortical parece desempenhar um papel diferente conforme as diferentes modalidades de memória.

O arquicórtex do hipocampo se relaciona mais diretamente com a consolidação de memórias, mas não é responsável pelo armazenamento das mesmas. Além da consolidação da memória, o hipocampo também é responsável pela memória topográfica (espacial), relacionada a localizações no

espaço (rotas e caminhos)¹. A lesão do hipocampo resulta em amnésia anterógrada associada a uma amnésia retrógrada parcial (poucos anos).

O giro denteado está relacionado com a dimensão temporal da memória (ordem cronológica dos fatos e eventos)¹.

O córtex entorrinal (área 28 de Brodmann) ocupa a face medial do giro para-hipocampal, imediatamente posterior ao córtex olfatório do *uncus*. Dele se origina o principal sistema de fibras para o hipocampo. O córtex entorrinal pode ser caracterizado como um “portão de entrada” das informações para o hipocampo e, assim, também está relacionado à consolidação da memória¹⁰.

O córtex para-hipocampal que ocupa a parte posterior do giro para-hipocampal (áreas 27 e 35 de Brodmann) está funcionalmente relacionado à memorização e reconhecimento de cenários novos (especialmente os mais complexos, como paisagens)¹.

O córtex cingular posterior também se relaciona com a memória topográfica, ou seja, capacidade de se orientar no espaço e memorizar caminhos e cenários novos, mas também é ativado funcionalmente ao evocar memórias de caminhos já conhecidos previamente¹.

A área pré-frontal dorsolateral, já discutida anteriormente, tem importante função em relação à memória operacional. Este tipo de memória permite que informações sejam retidas, por alguns segundos ou minutos, para a realização de atividades operacionais do cotidiano. Assim, o córtex pré-frontal determina o conteúdo da memória operacional que será selecionado para este armazenamento, conforme a relevância dessa informação para aquela situação.

A área 10 de Brodmann, entre outras funções, parece estar relacionada com o “esquecimento intencional” (controle e manipulação da memória).

Nas áreas de associação terciária do córtex são armazenadas as memórias de longa duração,

cuja consolidação inicial depende das atividades do hipocampo e córtex entorrinal. As diferentes modalidades de conhecimento são armazenadas nas diferentes áreas de associação do neocórtex. Algumas formas específicas de memórias também podem ser armazenadas em córtices de associação secundários¹.

Emoções

As principais áreas corticais cerebrais relacionadas com o comportamento emocional são o córtex cingular anterior, a área insular anterior e a área pré-frontal orbitofrontal.

O córtex cingular anterior (área 24 de Brodmann) se relaciona funcionalmente ao comportamento emocional. Tal área é especialmente ativada, em exames de neuroimagem funcional, quando o indivíduo relembra de recordações tristes¹.

A área insular anterior (ínsula agranular) localiza-se na superfície lateral da ínsula, anteriormente ao sulco central da ínsula. A ínsula posterior (granular) recebe informações visceral, auditiva, vestibular, olfativa, gustativa, de dor e temperatura, entre outras. Esta representação sensorial multimodal é posteriormente elaborada no córtex central insular (disgranular). Desta área, a informação é transmitida à ínsula anterior (agranular) que processa essas informações e interage com as áreas envolvidas no controle cognitivo e emocional²¹. A ínsula, portanto, fornece uma interface entre a sensação corporal e a emoção. Os estudos de neuroimagem funcional demonstram que a área insular anterior está envolvida com uma variedade impressionante de funções, tais como sentimentos subjetivos como empatia e incerteza, auto-reconhecimento fisionômico, sensação de nojo, percepção das emoções (como felicidade, tristeza e medo), processamento de dor (física ou psicológica), representação de sentimentos e emoções, percepção do tempo, integração de informações interoceptivas, entre outras^{20,21,25}. Interessante observar que a ínsula anterior agranular

humana cresceu desproporcionalmente mais do que o resto da ínsula em comparação com todas as outras espécies de primatas.²¹ Recentemente, é observado um interesse no córtex insular humano, com um número crescente de estudos com imagens funcionais, identificando a ínsula como uma região central afetada por alguns distúrbios psiquiátricos e neurológicos²⁰.

A área pré-frontal orbitofrontal já foi discutida neste texto.

ASSIMETRIA FUNCIONAL DOS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS

Do ponto de vista funcional, os hemisférios cerebrais não são simétricos e existem assimetrias funcionais entre áreas homólogas. Tal assimetria é restrita às áreas de associação, pois o funcionamento das áreas primárias, tanto sensitivas quanto motoras, não apresentam nenhum tipo de lateralização^{1,5}.

Usualmente, a função da linguagem é utilizada para definir qual é o hemisfério “dominante” de um indivíduo. Na quase totalidade dos indivíduos destros e na maioria dos indivíduos canhotos, o hemisfério dominante para a linguagem é o esquerdo¹.

A linguagem é um fenômeno complexo no qual participam diversas áreas corticais e subcorticais. Existem duas áreas corticais principais para a linguagem: uma anterior (porção opercular e a parte posterior da porção triangular do giro frontal inferior – áreas 44 e 45 de Brodmann) e uma posterior (porção mais posterior do giro temporal superior – região posterior da área 22 e a área 42 de Brodmann) (Figura 4). No entanto, é importante descrever que a localização da área de Wernicke é controversa e mal definida, podendo se estender até as regiões mais inferiores do lóbulo parietal inferior.

A área anterior (Broca) é motora e está relacionada com a expressão da linguagem. Trata-se de uma área cortical de associação motora secundária. A área posterior (Wernicke) é sensitiva e está relacionada com a percepção da linguagem. Trata-se de uma área cortical ampla que envolve

córtices sensitivos secundários e de associação terciária.

Em um modelo simplificado, a área de Wernicke é responsável pela compreensão da linguagem e a área de Broca pelo programa motor para expressar a linguagem. A conexão entre essas duas áreas corticais distintas, via fascículo arqueado, possibilita compreender e expressar a linguagem (falada e escrita) de forma adequada¹. Lesões na área de Wernicke resultam em afasia sensitiva (distúrbio de linguagem caracterizado por fala fluente, parafasias e incapacidade para a compreensão da linguagem). A afasia de Wernicke, entretanto, é bastante variável, dependendo da localização e da extensão da lesão cerebral.

As áreas homólogas, no hemisfério não dominante, acabam por ter funções complementares às exercidas pelas áreas de Broca e Wernicke. Dessa forma, no hemisfério não dominante, a área 44 de Brodmann processa o programa motor que permite a prosódia e a expressão facial adequadas ao conteúdo a ser expresso. Posteriormente, a área 22 de Brodmann codifica a compreensão dos aspectos emocionais da linguagem.

Funções caracteristicamente lateralizadas para o hemisfério direito são a capacidade de distinguir notas musicais, percepção de relações espaciais, atenção visuoespacial e o reconhecimento da fisionomia dos indivíduos¹.

Sons com intensidade espectral complexa e estruturas temporais (canto e música, por exemplo) ativam áreas auditivas associativas espacialmente extensas em ambos os hemisférios, mas a área 22 de Brodmann, no hemisfério não dominante, parece desempenhar papel central neste processamento da informação.

O córtex somestésico secundário direito está envolvido no processamento visuoespacial, incluindo a percepção do espaço pessoal e imagens espaciais^{1,5}.

O aspecto basal (inferior) da área 37 de Brodmann corresponde, grosseiramente, à parte

mais posterior do giro fusiforme. Esta área é uma extensão das áreas de associação visual do lobo occipital para o lobo temporal. A prosopagnosia (incapacidade de reconhecer faces previamente conhecidas) pode ser uma manifestação clínica de lesões corticais que envolvem o giro fusiforme (principalmente no hemisfério direito).

A área parietal posterior é uma área envolvida na associação modal cruzada entre informações secundárias (somestésica, auditiva e visual). Classicamente, supõe-se que a área parietal posterior esquerda participe das habilidades de cálculo, leitura, escrita, nomeação e algum tipo de conhecimento corporal (somatognóstico). O déficit associado à lesão desta área no hemisfério esquerdo (síndrome de Gerstmann) inclui acalculia, agrafia, desorientação direita-esquerda e agnosia digital. A área parietal posterior direita participa de forma mais significativa no processamento visuoespacial e sua lesão resulta em negligência hemi-espacial (síndrome de negligência). Nestes casos, o paciente pode negligenciar tanto a metade esquerda do seu esquema corporal (o paciente não reconhece como “sua” a metade esquerda do corpo), quanto o lado esquerdo do espaço extrapessoal (o lado esquerdo do mundo “deixa de existir de forma significativa”)¹.

NEUROIMAGEM FUNCIONAL

O objetivo da neurociência é a compreensão de como o fluxo de sinais elétricos através de circuitos neurais origina o comportamento humano (como percebemos, agimos, pensamos, aprendemos e recordamos). Para estudar este complexo comportamento, nós devemos desenvolver novas abordagens para compreendermos o funcionamento de sistemas que vão de células nervosas individuais ao substrato da cognição. Nossa capacidade de registrar a atividade elétrica e visualizar alterações funcionais no encéfalo durante a atividade mental, normal e anormal permite que mesmo processos cognitivos complexos sejam estudados diretamente nos dias atuais. Não estamos mais restritos a simplesmente atribuir funções mentais a partir do

comportamento observado⁵.

A possibilidade de estudar as funções corticais do indivíduo vivo, tanto sadio quanto acometido por patologias, proporcionada pelas modernas técnicas de neuroimagem, expandiu exponencialmente as possibilidades de estudo da neuroanatomia funcional do córtex cerebral. Imagens sem precedentes na história, acerca das complexidades do encéfalo intacto e plenamente funcional, agora são obtidas⁵. Tais pesquisas estão permitindo o melhor entendimento de áreas até então pouco conhecidas e a ampliação do conhecimento de áreas previamente conhecidas, em especial as áreas corticais de associação secundária e terciária¹.

O advento da ressonância magnética, no final dos anos 70 e início dos anos 80 do século XX, revolucionou o estudo da neuroanatomia, pois pela primeira vez ela pôde ser estudada *in vivo* com definição suficiente para diferenciar os diversos compartimentos encefálicos. A capacidade de obter informações detalhadas e de alta qualidade revolucionou claramente a nossa compreensão da neuroanatomia²⁶.

Na atualidade, as duas técnicas mais utilizadas na prática médica são a tomografia por emissão de pósitrons e a ressonância magnética funcional. Ambos os métodos têm como princípio detectar modificações no fluxo e metabolismo que ocorrem com a atividade local (áreas encefálicas mais ativas consomem mais oxigênio e glicose)¹.

O número de publicações com referências a diferentes versões dos mapas de Brodmann aumentou substancialmente desde o advento da neuroimagem funcional. Os mapas tornaram-se particularmente populares nas últimas décadas para a localização das diversas áreas corticais ativadas nos exames funcionais¹⁶. No entanto, um primeiro desafio é que, uma vez que dois terços da superfície cortical estão escondidos nos sulcos e fissuras, Brodmann não mostrou a posição precisa dos limites intra-sulcais das áreas citoarquitetônicas e, apenas ocasionalmente, as descreveu no texto ou figuras¹⁶. Um segundo desafio com o mapa de

Brodman é a variabilidade individual da localização das diversas áreas funcionais. A falta de dados sobre a variabilidade intersujeitos das áreas citoarquitetônicas é uma grande desvantagem e um dilema para os pesquisadores contemporâneos^{13,16}. A localização das áreas de ativação cortical pode ser expressa apenas em termos de probabilidade, uma vez que as bordas citoarquitetônicas são altamente variáveis entre os diferentes indivíduos. Consequentemente, os mapas citoarquitetônicos como referências para estudos funcionais devem ser probabilísticos¹³. Um terceiro desafio para o estudo das áreas funcionais corticais é que nenhuma tarefa neuropsicológica é realizada pela atividade de apenas uma área anatomicamente distinta¹⁷. Estudos de imagem funcional parecem apoiar essa compreensão holística.

Mesmo considerando tais desafios, o mapa citoarquitetônico de Brodmann é o mais conhecido e utilizado do córtex cerebral humano, e foi reproduzido em diversos livros e atlas^{19,27}. Com a maior disponibilidade das novas técnicas de neuroimagem, este mapa tende a ser cada vez mais utilizado¹⁹.

O conhecimento da neuroanatomia funcional da superfície cortical, discutida anteriormente, tem importância não só para a compreensão do funcionamento fisiológico do encéfalo, mas também para a correta interpretação dos exames neurorradiológicos.

APÊNDICE – ÁREAS DE BRODMANN

Embora apresentado pela primeira vez em 1903, o “mapeamento” de Korbinian Brodmann continua a ser a língua universal da localização cortical. Suas publicações sobre a citoarquitetura cortical tornaram-se clássicos neurológicos²⁸. Poucos livros de neuroanatomia, neurologia ou neurocirurgia deixam de mencionar os importantes mapas produzidos por Brodmann.

Entre 1903 e 1908, Brodmann publicou oito artigos cuja temática principal era a citoarquitetura

comparativa do córtex dos mamíferos^{16,29}. Oskar Vogt sugeriu a Brodmann que ele estudasse sistematicamente as células do córtex cerebral, usando seções coradas com o método recém-descrito por Franz Nissl (1860-1919)⁴.

Ele descreveu as diferenças citoarquitetônicas do córtex cerebral e mostrou que o córtex humano é organizado anatomicamente da mesma forma que nos demais mamíferos. O córtex consistia em seis camadas e, com base nisso, ele planejou seu sistema numérico para se referir a diferentes áreas corticais. Isso culminou em sua *magnum opus* em 1909¹⁵. A monografia de Brodmann é um resumo de seu conceito de citoarquitetura. Ele definiu a citoarquitetura como “a localização dos elementos histológicos individuais, suas camadas e sua parcela no cérebro adulto”^{4,16}.

O mapa de Brodmann do córtex humano exibe 43 áreas citoarquitetônicas, enquanto macacos e grandes símios têm apenas cerca de 30 áreas. Cada área cortical de seu mapa humano é rotulada por um número entre 1 e 52, mas as áreas com os números 12 a 16 e 48 a 51 não são mostradas no mapa. Brodmann explicou essas «lacunas» com o fato de que algumas áreas não são identificáveis no córtex humano, mas são bem desenvolvidas em outras espécies de mamíferos. Isso é válido principalmente para os córtices olfatório, límbico e insular¹³. A ínsula humana não foi parcelada por Brodmann, apesar dele ter encontrado duas sub-regiões claramente distintas, uma área agranular (anterior) e uma área granular (posterior), separadas por uma linha que é um prolongamento do sulco central^{15,19}. No entanto, ele achou difícil dividir a ínsula em áreas separadas, e concluiu que “a localização precisa desses campos individuais deve aguardar uma investigação mais aprofundada”^{15,19}.

As áreas foram enumeradas, de 1 a 52, na ordem em que foram estudadas por Brodmann e, assim, a sequência numérica não têm qualquer relação com as características histológicas e funcionais das áreas estudadas^{10,17}. As bordas entre as diferentes áreas às vezes eram nítidas,

mas frequentemente ele encontrou limites mal definidos entre as diferentes áreas. Além disso, nem todas as áreas mostram um padrão homogêneo de citoarquitetura: as áreas 6 e 24, por exemplo, mudam gradualmente sua estrutura na direção dorsoventral¹⁷. É importante também recordar que as fronteiras entre as áreas muitas vezes não correspondem exatamente aos sulcos e fissuras cerebrais.

Embora ele planejasse publicar um atlas citoarquitetônico completo do cérebro humano (e assim fornecer uma documentação histológica abrangente para seu mapa cortical), esse plano nunca foi realizado devido à eclosão da Primeira Guerra Mundial e sua morte prematura em 1918¹⁹. Sua monografia e suas publicações sobre a divisão citoarquitetônica de todo o córtex cerebral humano fizeram de Brodmann um dos fundadores do campo do mapeamento anatômico do cérebro¹³.

Raramente, na história da neurociência uma única ilustração teve tanta influência quanto o mapa citoarquitetônico do cérebro humano publicado por Brodmann¹³. O mapa é um desenho esquemático de uma vista lateral e medial de um cérebro humano. Ele segregou o córtex cerebral em 43 áreas corticais pertencentes a 11 regiões. Cada uma das áreas é caracterizada por uma citoarquitetura específica¹³. Não há um único “mapa de Brodmann”, mas sim várias versões dele, que foram gradualmente sendo modificados entre 1908 e 1914¹⁹.

Até hoje os mapas de Brodmann são universalmente usados para localizar funções neuropsicológicas no córtex cerebral, embora o sistema classificatório de Brodmann tenha sido debatido, refinado e renomeado por mais de um século¹⁷.

Áreas de Brodmann^{10,15,17,19}

- área 1: área intermediária pós-central. Localizada no giro pós-central. Área primária da sensibilidade geral (somestésica). Os neurônios são organizados de maneira somatotópica no giro pós-central. Córtex

- sensitivo;
- área 2: área caudal pós-central. Localizada no giro pós-central. Área primária da sensibilidade geral (somestésica). Os neurônios são organizados de maneira somatotópica no giro pós-central. Córtex sensitivo;
 - área 3: área rostral (oral) pós-central. Localizada no giro pós-central. Área primária da sensibilidade geral (somestésica). Os neurônios são organizados de maneira somatotópica no giro pós-central. Córtex sensitivo;
 - área 4: área piramidal gigante. Localizada aproximadamente na metade posterior do giro pré-central. Área motora primária. Nela encontram-se os neurônios piramidais gigantes (células de Betz) que dão origem ao trato corticospinal e corticonuclear. Córtex motor;
 - área 5: área pré-parietal. Localizada na porção mais anterior do lóbulo parietal superior e em uma pequena área do pré-cuneo na superfície medial do hemisfério. Área de associação sensitiva (em especial no processamento visuoespacial). Córtex sensitivo secundário;
 - área 6: área frontal agranular. Localizada anteriormente à área 4 de Brodmann (porção mais anterior do giro pré-central e porções mais posteriores dos giros frontais superior e médio). Compreende as áreas motora suplementar (porção mais superior e medial) e pré-motora (porção mais inferior e lateral). Córtex motor secundário;
 - área 7: área parietal superior. Localizada posteriormente à área 5 de Brodmann e ocupando a maior parte do lóbulo parietal superior e a região do pré-cuneo na superfície medial cerebral. Está envolvida na contagem e matemática (hemisfério dominante), processamento visuoespacial (especialmente no hemisfério não dominante) e recuperação de memória episódica. Área de associação sensitiva (7^a) e de associação terciária (7^b). Córtex sensitivo secundário (7^a – área parietal superior anterior) e córtex de associação terciário (7^b – área parietal superior posterior);
 - área 8: área frontal intermediária. Localizada no giro frontal superior anteriormente à área 6 de Brodmann (tanto na superfície medial – área motora suplementar; quanto na superfície superolateral área pré-motora e área oculógira frontal). Córtex motor secundário;
 - área 9: área frontal granular. Localizada no lobo frontal anteriormente à área 8 de Brodmann. Parte do córtex pré-frontal dorsolateral, esta área desempenha um papel importante na memória de trabalho e nos processos cognitivos superiores (por exemplo, resolução de problemas e julgamentos recentes). Junto com as áreas 10, 11 e 46 de Brodmann, esta área constitui o córtex pré-frontal que está associado à personalidade do indivíduo e está envolvido com a memória e aspectos cognitivos. Córtex de associação terciário;
 - área 10: área frontopolar. Localizada na porção anterior do lobo frontal (polo frontal). Parte do córtex pré-frontal, esta área desempenha um papel importante na memória de trabalho e nos processos cognitivos superiores (em especial, na memória de trabalho, memória espacial e no esquecimento intencional de memórias. Córtex de associação terciário;
 - área 11: área pré-frontal. Localizada anteriormente no lobo frontal (parte anterior do giro reto e giros orbitais). Parte do córtex pré-frontal que está relacionada ao comportamento social (pode-se associar esta área ao “estilo de reação” ou “estilo emocional idiossincrático” do indivíduo). Córtex de associação terciário;
 - área 12: área pré-frontal. Localizada na superfície medial do lobo frontal posterior e superior à área 11 de Brodmann (maior parte do giro reto). Esta área não foi incluída inicialmente no mapa de Brodmann.

- Córtex de associação terciário;
- área 13: área insular posterior. Localizada na parte posterior do córtex insular. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann, mas é análoga à localização do córtex insular do macaco;
 - área 14: área insular anterior. Localizada na parte anterior do córtex insular. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann, mas é análoga à localização do córtex insular do macaco;
 - área 15: área insular ventral. Localizada na parte ventral do córtex insular. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann, mas é análoga à localização do córtex insular do macaco;
 - área 16: área insular olfatória. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann, mas é análoga à localização do córtex insular do macaco;
 - área 17: Área estriada. Localizada adjacente ao sulco calcarino (lábios da metade posterior do sulco calcarino). Recebe aferências da radiação óptica. A área visual primária também é denominada de área estriada devido à presença, em sua estrutura, da estria de Gennari ou de Vicq d'Azyr. Córtex de projeção visual (possui organização retinotópica e é responsável pela percepção visual). Córtex sensitivo (visual) primário;
 - área 18: área occipital. Localizada de forma adjacente (circundando) à área 17 de Brodmann. Também denominada de área paraestriada. Córtex de associação visual (reconhecimento inicial da cor e movimento). Córtex sensitivo (visual) secundário;
 - área 19: área pré-occipital. Localizado de forma adjacente à área 18 de Brodmann (porção mais anterior do lobo occipital). Também denominada de área periestriada. Córtex de associação visual (reconhecimento de objetos). Córtex sensitivo (visual) secundário;
 - área 20: área temporal inferior. Localizada principalmente no giro temporal inferior (córtex visual temporal) e em parte do giro fusiforme (área cortical para o reconhecimento facial). Córtex de associação visual (significado emocional para cores e expressão facial). Córtex sensitivo (visual) secundário;
 - área 21: área temporal média. Localizada no giro temporal médio, ocupando a maior parte desse giro (córtex visual temporal). Córtex de associação visual. Córtex sensitivo (visual) secundário;
 - área 22: área temporal superior. Localizado na porção do giro temporal superior adjacente às áreas 41 e 42 de Brodmann. Córtex de associação auditivo (no hemisfério dominante para linguagem esta área constitui parte da área de Wernicke). Córtex sensitivo (auditivo) secundário;
 - área 23: área cingular ventral posterior. Localizada na metade inferior da parte posterior do giro do cíngulo (acompanhando aproximadamente a metade posterior do corpo do corpo caloso e o esplênio do corpo caloso). Esta área é aparentemente mais ativada durante tarefas de linguagem (por exemplo, processamento léxico-semântico) e processos emocionais. Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 24: área cingular ventral anterior. Localizada na parte anterior do giro do cíngulo. Córtex límbico (relacionado ao julgamento emocional da consciência somatossensorial, especificamente da percepção de dor). Córtex de associação terciário;
 - área 25: área subgenua. Localizada na superfície medial do lobo frontal (giro paraterminal). Área relacionada às funções executivas emocionais e motivacionais. Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 26: área ectosplenial. Localizada no

- istmo do giro do cíngulo (inferoposteriormente ao esplênio do corpo caloso). Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
- área 27: área pré-subicular. Localizada no giro para-hipocampal, adjacente ao sulco do hipocampo. Córtex límbico (associada à codificação da memória, memória de trabalho e memória episódica). Córtex de associação terciário;
 - área 28: área entorrinal. Localizada na face medial e anterior do giro para-hipocampal (imediatamente caudal ao córtex olfatório do *uncus*). Dessa área origina-se o principal sistema de fibras aferentes para o hipocampo (assim, essa área está muito relacionada a codificação e consolidação da memória). Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 29: área retrolímbica granular. Localizada no istmo do giro do cíngulo (justaposta posteriormente à área 26 de Brodmann). Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 30: área retrolímbica agranular. Localizada no istmo do giro do cíngulo (justaposta posteriormente à área 29 de Brodmann). Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 31: área cingular dorsal posterior. Localizada na metade superior da parte posterior do giro do cíngulo (logo acima da área 23 de Brodmann). Córtex límbico. Córtex de associação terciário;
 - área 32: área cingular dorsal anterior. Localizada na superfície medial do lobo frontal (giro frontal superior e parte do giro do cíngulo) entre as áreas 8, 9 e 10 de Brodmann (anteriormente) e a área 24 de Brodmann (posteriormente). Córtex límbico (relacionado ao julgamento emocional da consciência somatossensorial, especificamente da percepção de dor). Córtex de associação terciário;
 - área 33: área pré-genua. Localizada adjacente à porção anterior do sulco do corpo caloso. Córtex límbico (ativado durante a excitação sexual e desempenha papel na interocepção). Córtex de associação terciário;
 - área 34: área entorrinal dorsal. Localizada no *uncus* e pertence ao córtex entorrinal (em conjunto com a área 28 de Brodmann). Área associada a memória, avaliação emocional e olfato. Córtex límbico. Córtex olfativo e de associação terciário;
 - área 35: área perirrinal. Localizada no lobo temporal adjacente ao sulco rinal (entre as áreas 28 e 36 de Brodmann). Córtex límbico (envolvimento com a memória e funções emocionais). Córtex de associação terciário;
 - área 36: área ectorrinal. Localizada aproximadamente na metade medial do giro fusiforme (superfície basal do lobo temporal). Córtex de associação terciário;
 - área 37: área occipitotemporal. Localizada na porção mais posterior do lobo temporal, tanto na superfície superolateral (giros temporais médio e inferior) quanto na superfície basal (giros temporal inferior e fusiforme). Córtex de associação visual (reconhecimento e nomenclatura de palavras e objetos, contribuição para o reconhecimento facial e associações léxico-semânticas). Córtex sensitivo (visual) secundário;
 - área 38: área temporopolar. Localizada no polo temporal. Córtex límbico (vários papéis putativos são atribuídos ao polo temporal: processamento social e emocional, distinção self-outro, recuperação de memória e até mesmo a compreensão do humor). Córtex de associação terciário;
 - área 39: área angular. Localizada no giro angular (lóbulo parietal inferior). As principais funções atribuídas a essa área são o processamento visual (reconhecimento facial, leitura), imagens espaciais, função visuomotora (movimento dos olhos), memória ortográfica e matemática (hemisfé-

- rio dominante). Córtex de associação terciário;
- área 40: área supramarginal. Localizada no giro supramarginal (lóbulo parietal inferior), exceto por uma estreita faixa cortical anteriormente. As principais funções atribuídas a essa área são a discriminação espacial, funções numéricas e, no hemisfério dominante para a linguagem, a conversão grafema-letra. Córtex de associação terciário;
 - área 41: área temporal transversa anterior (interna). Localizada no giro temporal transverso anterior. O córtex auditivo primário é responsável pela percepção do som. Seus neurônios são organizados de maneira tonotópica. Córtex de projeção auditiva. Córtex sensitivo (auditivo) primário;
 - área 42: área temporal transversa posterior (externa). Localizada posteriormente à área 41 de Brodmann. Tem papel como córtex auditivo secundário e é, no hemisfério dominante para a linguagem, um elemento da área de Wernicke. Córtex de associação auditivo. Córtex sensitivo (auditivo) secundário. Nota. Alguns autores consideram essa área como córtex auditivo primário;
 - área 43: área subcentral. Localizado nas regiões operculares frontal e parietal. Córtex de projeção gustativa. Córtex sensitivo (gustativo) primário;
 - área 44: área opercular (as áreas 44, 45 e 47 foram denominados como área subfrontal por Brodmann). Localizada na porções opercular e pequena parte da triangular do giro frontal inferior. No hemisfério dominante para a linguagem, esta área é identificada como área de Broca (responsável pela programação da atividade motora relacionada com a expressão da linguagem). Área pré-motora no lobo frontal. Córtex motor secundário;
 - área 45: área triangular (as áreas 44, 45 e 47 foram denominados como área subfrontal por Brodmann). Localizada na porção triangular do giro frontal inferior (no hemisfério dominante para a linguagem, esta área também é identificada como área de Broca). Essa área é especialmente relacionada à programação motora da língua e em funções mais complexas como o processamento de metáforas e memória de trabalho. Área pré-motora (posteriormente) e de associação terciária (anteriormente). Córtex motor secundário (na sua porção mais posterior) e de associação terciária (na sua porção mais anterior);
 - área 46: área frontal média. Localizada na porção anterior do giro frontal médio (posterior à área 10 de Brodmann na superfície superolateral). Essa divisão do córtex pré-frontal está envolvida na motivação, memória, atenção e várias tarefas cognitivas. Córtex de associação terciário;
 - área 47: área orbital (as áreas 44, 45 e 47 foram denominados como área subfrontal por Brodmann). Localizada na parte orbitária do giro frontal inferior (posterior à área 11 de Brodmann na superfície superolateral). Memória, emoção e olfato são funções putativas dessa área do córtex frontal. Córtex de associação terciário;
 - área 48: área pós(retro)-subicular. Localizada na área retrossubicular, posterior à área 35 de Brodmann, na face medial do lobo temporal. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann (embora descrita, a área não foi ilustrada no mapa cortical);
 - área 49: área parassubicular. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann;
 - área 50: área gustatória. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann;
 - área 51: área piriforme. Essa área não foi definida para o cérebro humano por Brodmann; e

- área 52: área parainsular. Localizada na superfície opercular do giro temporal superior (entre a área 41 de Brodmann e a ínsula). Representa uma área de transição estreita, semelhante a uma faixa, entre o córtex temporal e a ínsula. Trata-se de uma área sem informações funcionais claras disponíveis.

REFERÊNCIAS

- Machado A, Haertel LM. *Neuroanatomia Funcional*. 3ª ed. São Paulo: Atheneu; 2014.
- Ribas, GC. *Applied Cranial-Cerebral Anatomy: Brain Architecture and Anatomically Oriented Microneurosurgery*. Cambridge: Cambridge University Press; 2018.
- Tubbs RS. "Anatomy is to physiology as geography is to history; it describes the theatre of events". *Clin Anat*. 2015;28(2):151.
- Pearce JM. Brodmann's cortical maps. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2005;76(2):259.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Siegelbaum SA, Hudspeth AJ (eds). *Princípios de Neurociências*. 5ª ed. Porto Alegre: McGraw-Hill & Artmed; 2014.
- Leuret F, Gratiolet PL. *Anatomie comparée du système nerveux considéré dans ses rapports avec l'intelligence*. Paris: Baillière; 1839.
- Gratiolet LP. *Mémoire sur les plis cérébraux de l'homme et des primates*. Paris: Bertrand; 1854.
- Hubel DH. The brain. *Sci Am*. 1979;241(3):44-53.
- Herculano-Houzel S. The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Front Hum Neurosci*. 2009;3:31.
- Gusmão SS, Ribas GC. *Dicionário de Neuroanatomia*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Dilivros; 2009.
- Williams PL, Warwick R (eds). *Gray's Anatomy*. 36nd ed. Philadelphia: Saunders; 1980.
- Pearce JMS. *Fragments of neurological history*. London: Imperial College Press; 2003.
- Zilles K, Amunts K. Centenary of Brodmann's map-conception and fate. *Nat Rev Neurosci*. 2010;11(2):139-45.
- Sarnat HB, Netsky MG. *Evolution of the Nervous System*, 2nd ed. New York: Oxford University Press; 1981.
- Garey LJ. *Brodmann's localisation in the cerebral cortex: the principles of comparative localisation in the cerebral cortex based on cytoarchitectonics*. 3rd ed. New York: Springer; 2006.
- Zilles K. Brodmann: a pioneer of human brain mapping-his impact on concepts of cortical organization. *Brain*. 2018;141(11):3262-3278.
- Strotzer M. One century of brain mapping using Brodmann areas. *Klin Neuroradiol*. 2009;19(3):179-86.
- Brodmann K. *Vergleichende localisationslehre der grosshirnrinde in ihren principien dargestellt auf grund des zellenbaues*. Leipzig: Barth; 1909.
- Judaš M, Capanec M, Sedmak G. Brodmann's map of the human cerebral cortex-or Brodmann's maps? *Translational Neuroscience*. 2012;3(1),67-74.
- Gogolla N. The insular córtex. *Curr Biol*. 2017;27(12):R580-R586.
- Benarroch EE. Insular cortex: Functional complexity and clinical correlations. *Neurology*. 2019;93(21):932-938.
- Uddin LQ, Nomi JS, Hébert-Seropian B, Ghaziri J, Boucher O. Structure and Function of the Human Insula. *J Clin Neurophysiol*. 2017;34(4):300-306.
- Fried I. The myth of eloquent cortex, or what is non-eloquent cortex? *J Neurosurg*. 1993;78(6):1009-1010.
- Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J Neurosurg*. 1986;65:476-483.
- Butti C, Hof PR. The insular cortex: a comparative perspective. *Brain Struct Funct*. 2010;214(5-6):477-493.
- Lerch JP, van der Kouwe AJ, Raznahan A, *et al*. Studying neuroanatomy using MRI. *Nat Neurosci*. 2017;20(3):314-326.
- Tailarach J, Tournoux P. *Coplanar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart: Thieme; 1988.
- Loukas M, Pennell C, Groat C, Tubbs RS, Cohen-Gadol AA. Korbinian Brodmann (1868-1918) and his contributions to mapping the cerebral cortex. *Neurosurgery*. 2011;68(1):6-11.
- Bielchowsky M, Brodmann K. Zur feineren histologie und histopathologie der grosshirnrinde mit besonderer berücksichtigung der dementia paralytica, dementia senilis und idiotie. *Journal für Psychologie und Neurologie*. 1905;5:173-99.
- Zilles K. Brodmann: a pioneer of human brain mapping-his impact on concepts of cortical organization. *Brain*. 2018;141(11):3262-3278.