

Fundamentos de Neurociência e do Comportamento

Leonardo Carneiro de Araújo



- compreensão da base biológica da consciência e dos processos mentais pelos quais percebemos, agimos, aprendemos e lembramos

- as ações cerebrais são subjacentes a todo comportamento, não apenas a comportamentos motores relativamente simples, como andar e comer, mas a todas as complexas ações cognitivas que associamos ao comportamento especificamente humano, como pensar, falar, criar obras de arte.

- de acordo com essa opinião, os distúrbios comportamentais, característicos das doenças psiquiátricas, são perturbações do funcionamento cerebral.

Ciência Neural

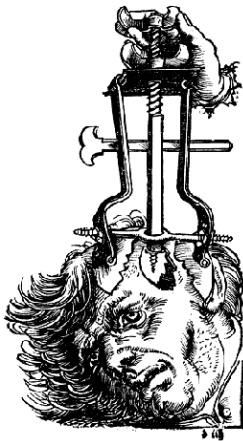
Tem a tarefa de fornecer explicações do comportamento em termos da atividade cerebral, de explicar como milhões de células neurais individuais, no cérebro, atuam para produzir o comportamento.

Será que os processos mentais estão localizados em regiões específicas do cérebro, ou eles representam uma propriedade coletiva e emergente de todo o cérebro?

Para analisar esta e outras questões, analisaremos como a moderna ciência neural enfoca um dos comportamentos cognitivos mais elaborados – a linguagem.

Ciência Neural

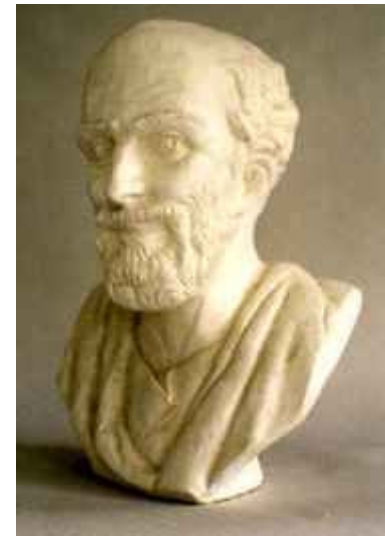
4.000 a.C. – Nossos ancestrais já realizavam a forma mais antiga de cirurgia no cérebro, a trepanação. A técnica consistia em perfurar à mão um buraco de 2,5 cm a 3,5 cm de diâmetro no crânio de um homem vivo, sem anestesia ou assepsia, por 30 a 60 minutos. A trepanação foi realizada ao longo de praticamente todas as eras.



Ciência Neural

Escritos dos primeiros cientistas do Egito Antigo (aproximadamente 5000 anos atrás), indicam que eles estavam cientes de vários sintomas de danos no cérebro. No entanto, o coração, e não o cérebro, era considerado a sede da alma e um repositório das memórias. De fato, enquanto todo o resto do corpo era preservado para a vida após a morte, o cérebro do defunto era simplesmente removido e descartado. A visão do coração como sede da consciência e do pensamento permanece praticamente inalterada até os tempos de Hipócrates.

Os gregos, século IV A.C., chegaram à conclusão de que o cérebro é o órgão responsável pela sensação. A escola mais influente era a de Hipócrates (460 – 379 A.C), pai da medicina ocidental, quem estabeleceu a crença de que o cérebro não apenas estaria envolvido com as sensações, mas também seria o local onde a inteligência se assentaria.

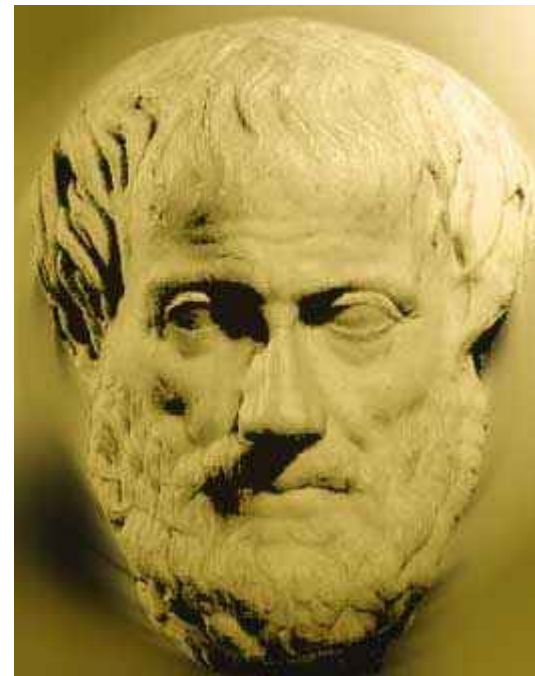


Ciência Neural

“O homem deve saber que, de nenhum outro lugar, se não do cérebro vem a alegria, o prazer, o riso e a recreação, e a tristeza, melancolia, pessimismo e as lamentações. E então, de uma maneira especial, adquirimos sabedoria e conhecimento, e vemos e ouvimos para saber o que é justo e o que não é, o que é bom e o que é ruim, o que é doce e o que é sem sabor... E pelo mesmo órgão tornamos-nos loucos e delirantes, e sentimos medo e o terror nos assola... Todas essas coisas provêm do cérebro quando este não está sadio... Dessa maneira sou da opinião de que o cérebro exerce um grande poder sobre o homem.” (Hipocrates, Da Doença Sacra, IV A.C)

Ciência Neural

Esta visão, no entanto, não era universalmente aceita. O filósofo Aristóteles (384 – 322 A.C) acreditava que o coração seria o centro da inteligência. Ela acreditava que o cérebro seria apenas um radiador para esfriar o sangue sobre-aquecido pelo coração. O temperamento racional era então explicado pela capacidade de resfriamento do cérebro.



Ciência Neural

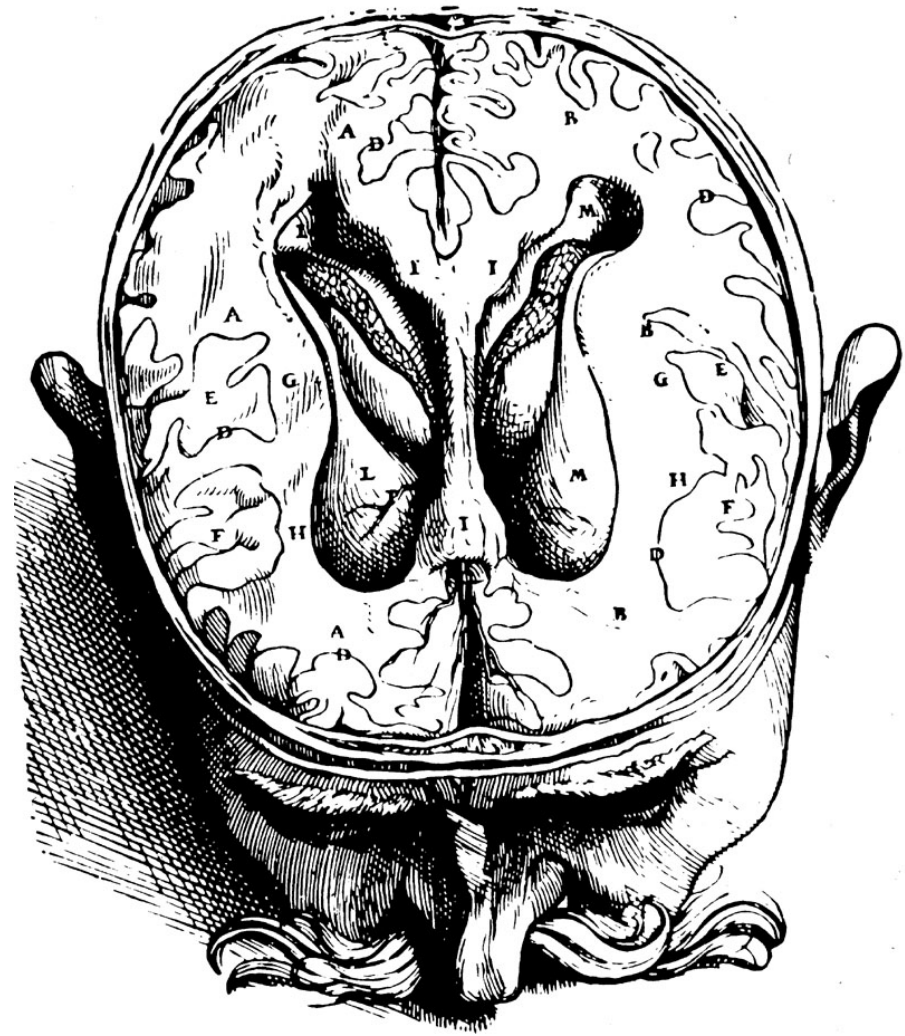
A figura mais importante durante o Império Romano foi Galeno (130 – 200 D.C), quem abraçou a visão de Hipócrates de funcionamento do cérebro. Galeno era o médico dos gladiadores, e deve, por tanto, ter vivenciado as conseqüências de danos na espinha ou no cérebro. No entanto, sua opinião sobre o cérebro foi mais influenciada pelas dissecações de animais. As duas partes mais evidentes seriam o cérebro e o cerebelo. O primeiro macio e o segundo mais duro. Dessas observações Galeno sugeriu que o cérebro fosse o recipientes das sensações e o cerebelo deveria comandar os músculos.



Por mais improvável que pareça o raciocínio de Galeno, sua dedução não estava muito longe da verdade. O cérebro de fato está amplamente conectado com as sensações e percepção e o cerebelo é um centro primário de controle dos movimentos. Ainda mais, o cérebro é um repositório de memória. Este é apenas um exemplo, na história da neurociência, em que conclusões corretas são atingidas através de um raciocínio equivocado.

Ciência Neural

Galeno abriu o cérebro e descobriu que este possuía cavidades, chamadas ventrículos. Para Galeno, esta descoberta se encaixava perfeitamente com a teoria prevalecente de que o corpo funcionava de acordo com um balanço dos nossos fluídos vitais, ou humores. Sensações eram registradas e movimentos iniciados pelos movimentos dos humores para ou a partir dos ventrículos do cérebro, através dos nervos, que se acreditava serem tubos, como as veias sangüíneas.



Ciência Neural

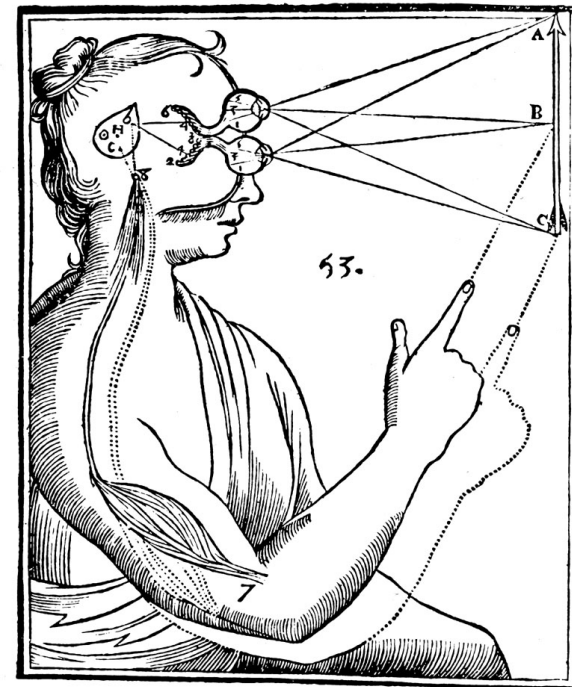
A concepção de Galeno durou por aproximadamente 1500 anos.

Um dos defensores da visão funcional do cérebro baseado nos fluidos foi o matemático e filósofo francês René Descartes (1596 – 1650). Embora ele acreditasse que o cérebro e o comportamento pudessem ser explicados por essa teoria, para Descartes era inconcebível que apenas isso fosse capaz de explicar o comportamento humano em toda sua amplitude. Ele explicava que, ao contrário dos animais, as pessoas possuíam intelecto e a alma dada por Deus.



Ciência Neural

Descartes formulou que o cérebro controlaria o comportamento apenas na extensão na qual esse se assemelharia ao dos animais. As capacidades mentais humanas existiriam fora do cérebro, na mente. Acreditava que a mente era entidade espiritual que receberia sensações e comandos de movimentação através de uma comunicação com a máquina, o cérebro, através da glândula pineal.



Ciência Neural

Durante o século XVIII mais seria aprendido sobre o cérebro do que já se havia aprendido ao longo de toda a história.

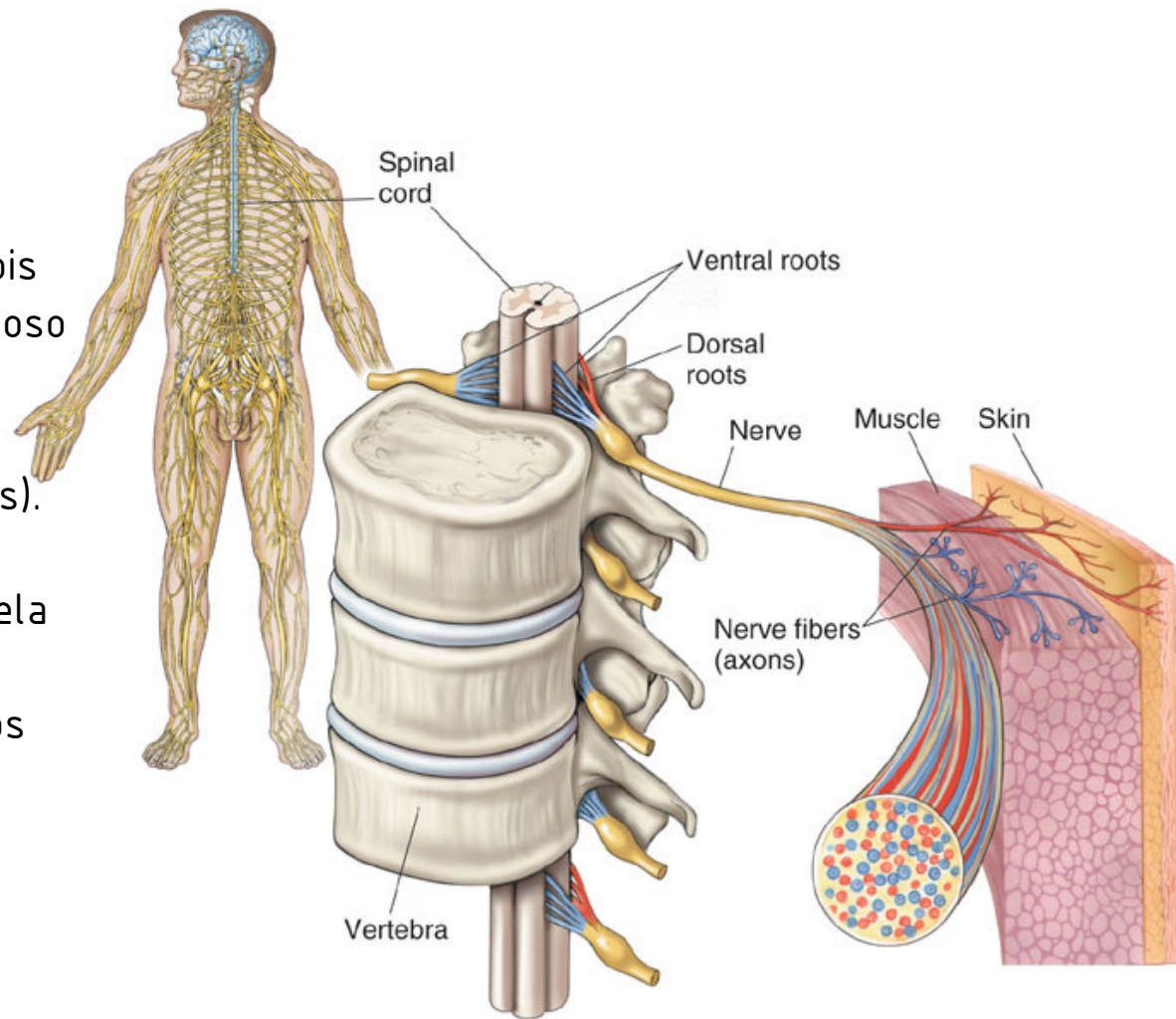
Benjamin Franklin publicou o panfleto intitulado "Experiments and Observations on Electricity" que introduziu uma nova compreensão do fenômeno elétrico.

Na virada do século, o cientista italiano Luigi Galvani e o biólogo alemão Emil du Bois-Reymond mostraram que os músculos se contraem quando os nervos são estimulados eletricamente, e que o cérebro em si é capaz de gerar eletricidade. Essas descobertas finalmente acabaram com a idéia de que os nervos comunicavam-se com o cérebro através do movimento de fluídos.

Ciência Neural

A comunicação é bidirecional nos nervos?

Essa pergunta foi respondida em 1810 pelo médico escocês Charles Bell e fisiologista francês François Magendie. Um fato anatômico curioso é que, logo antes dos nervos chegarem a espinha, as fibras dividem-se em dois braços (raízes). A raiz dorsal entra por trás na espinha e a raiz ventral entra pela frente. Descobriram que a raiz ventral leva os estímulos para os músculos e a raiz dorsal leva as informações sensoriais para o sistema nervoso central.



Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

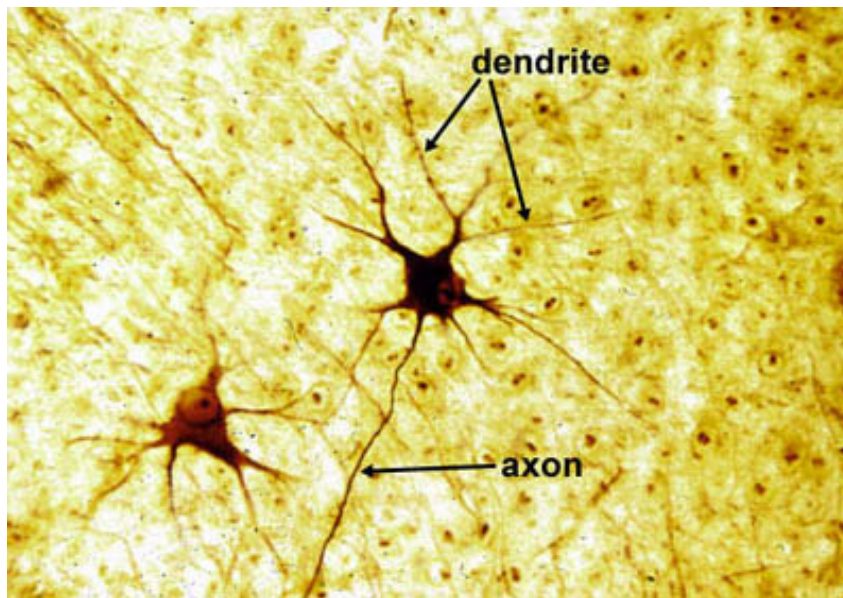
Antes da invenção do microscópio composto, no século XVIII, o tecido neural era considerado como tendo função glandular – idéia que pode ser rastreada até a Antiguidade e a proposta de Galeno de que os nervos seriam condutos que levariam os fluidos secretados pelo cérebro e medula espinhal para a periferia do corpo.

Apenas no final do século XIX, com os estudos do médico italiano Camillo Golgi e do histologista espanhol Santiago Ramón y Cajal, a estrutura das células neurais foram descritas em detalhes.

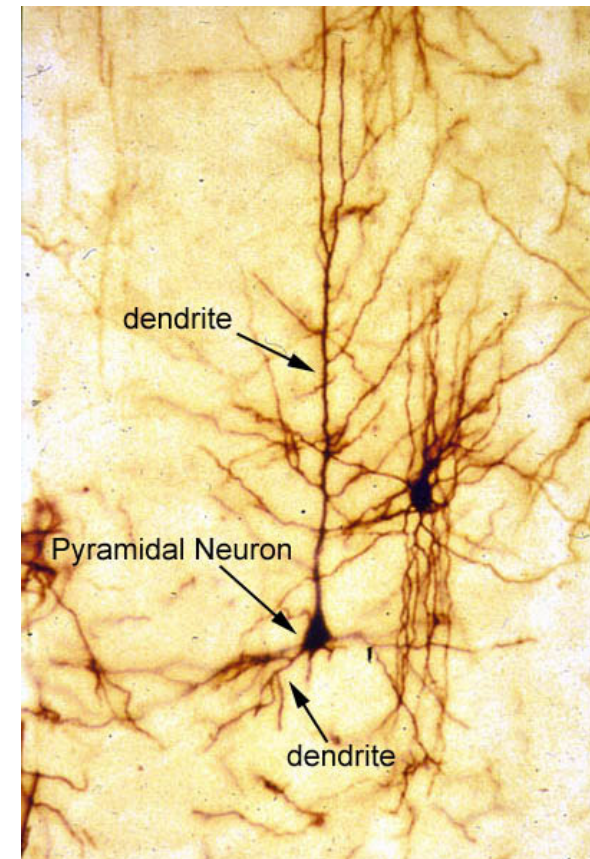
Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

Golgi - método de coloração por prata

Cajal - utilizou esse método para marcar células individuais



Doutrina do Neurônio - o princípio de que os neurônios individuais são os elementos sinalizadores primários do sistema nervoso.



Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

No final do século XVIII, o médico e físico italiano Luigi Galvani descobriu que as células excitáveis, musculares e neurais, enquanto vivas, produzem eletricidade.

No século XIX, Emil Du-Bois-Reymond, Johannes Müller e Hermann von Helmholtz foram capazes de mostrar que a atividade elétrica em uma célula neural afeta a atividade das células adjacentes de forma previsível.

No final do século XIX, Claude Bernard, na França, Paul Ehrlich, na Alemanha e John Langley, na Inglaterra, demonstraram que substâncias químicas interagem com receptores específicos nas células. Essa descoberta tornou-se a base do estudo sobre a natureza química da comunicação entre as células neurais.

Os estudos de Charles Darwin sobre a evolução formaram o palco para a observação sistemática da ação e do comportamento. Esse novo enfoque originou a psicologia experimental, o estudo do comportamento humano sob condições controladas.

Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

No final do século XVIII, o médico e neurologista Franz Joseph Gall propôs que regiões distintas do córtex cerebral controlariam funções distintas.

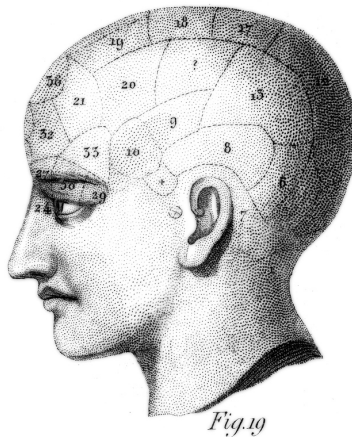


Fig. 19

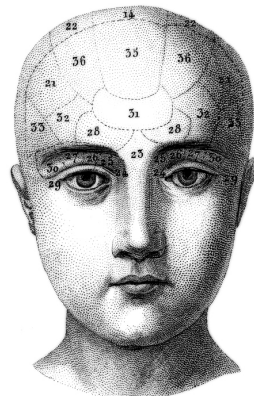
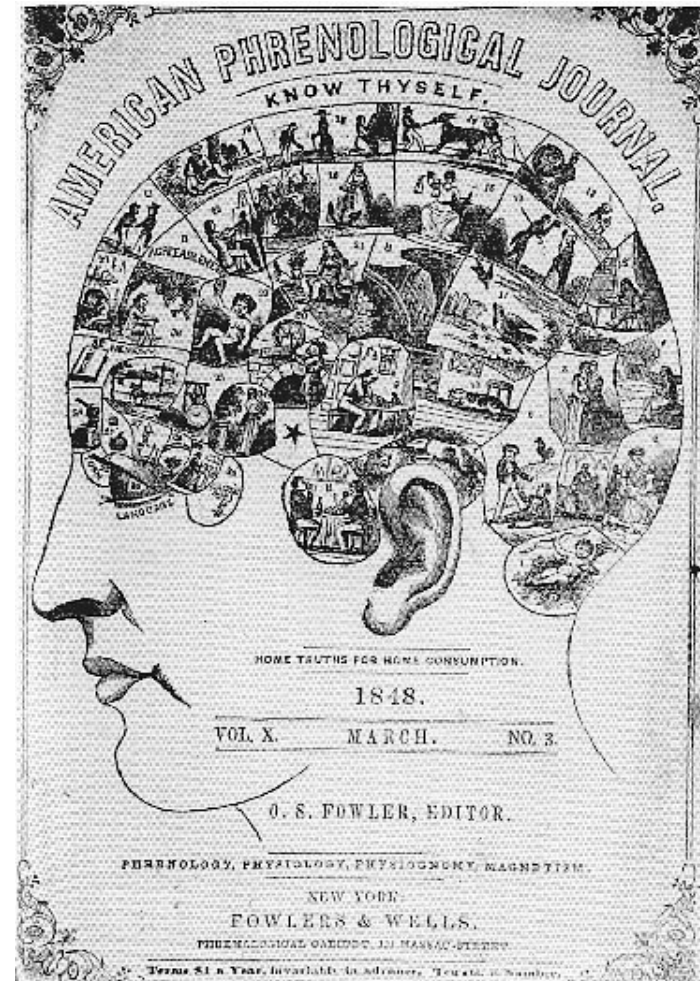


Fig. 18



Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento



Frenologia

1. Amorosidade
2. Filoprogeniedade
3. Amor paternal
4. Adesão
5. Amizade
6. Combatividade
7. Destrutividade
8. Secretividade
9. Aquisitividade
10. Auto-estima
11. Aprovatividade
12. Cautela
13. Individualidade
14. Localidade
15. Forma
16. Memória verbal
17. Linguagem
18. Coloração
19. Tonalidade
20. Calculatividade
21. Numerosidade
22. Construtividade
23. Comparação
24. Causalidade
25. Vitalidade
26. Idealismo
27. Benevolência
28. Imitatividade
29. Generatividade
30. Firmeza
31. Temporalidade
32. Eventualidade
33. Habitatividade
34. Reverência
35. Veneração
36. Conscienciosidade
37. Esperança
38. Maravilhosidade
39. Tamanho
40. Peso e resistência
41. Ordem

Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

Nos últimos anos da década de 1820, Pierre Flourens, na França, tentou isolar as contribuições de diferentes partes do sistema nervoso para o comportamento, pela remoção (em animais) dos centros funcionais identificados por Gall.

Flourens concluiu que regiões cerebrais específicas não são as únicas responsáveis por comportamentos específicos, mas que todas as regiões cerebrais participam para cada função mental.

“Todas as percepções, todas as volições ocupam o mesmo local nesses órgãos cerebrais; as faculdades de perceber, de conceber, de querer, constituem, simplesmente, uma faculdade que é, em essência, uma só.” (Flourens)

(hipótese do campo agregado)

A hipótese do campo agregado prevaleceu até a metade do século XIX, quando foi seriamente questionada pelo neurologista britânico J. Hughlings Jackson.

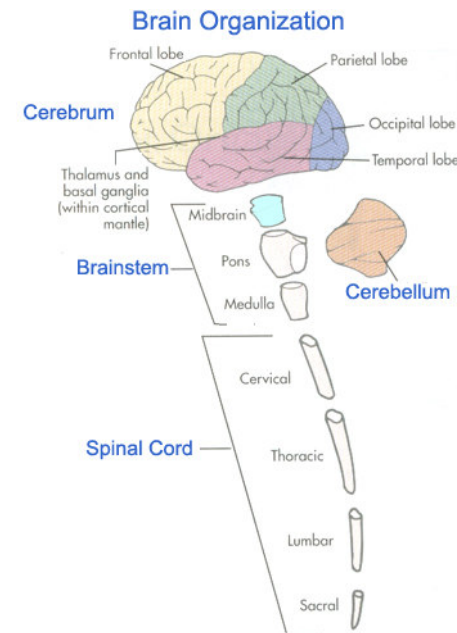
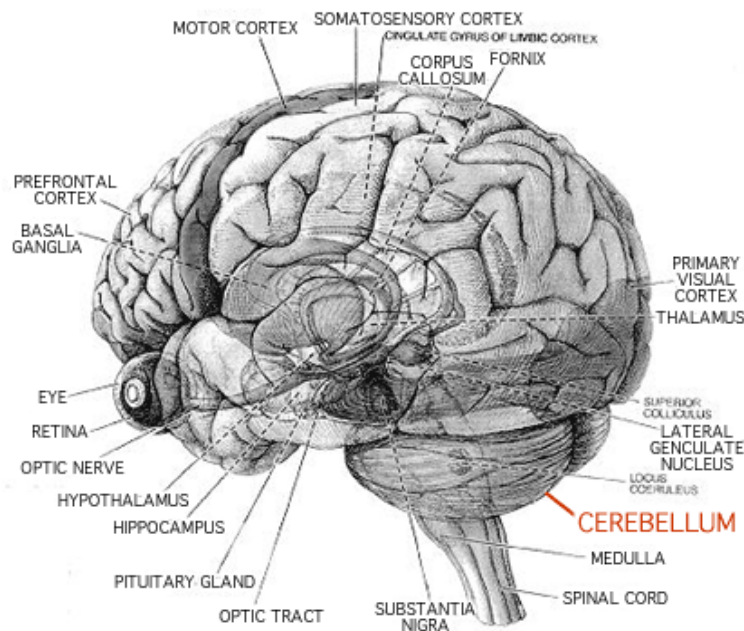
Duas Visões Alternativas Descrevem as Relações Entre o Cérebro e o Comportamento

Em seus estudos clínicos sobre a epilepsia focal, doença caracterizada por convulsões que começam em uma parte do corpo, Jackson mostrou que processos sensoriais e motores distintos ficavam localizados em diferentes regiões do córtex cerebral.

Esses estudos foram desenvolvidos sistematicamente no final do século XIX e início do século XX, pelo neurologista alemão Karl Wernicke, pelo fisiologista inglês Charles Sherrington, e por Ramón y Cajal, na chamada hipótese da conexidade celular. Segundo ela, os neurônios individuais são as unidades sinalizadoras do cérebro; em geral, estão dispostos em grupos funcionais e se interconectam de modo preciso.

As Regiões do Cérebro São Especializadas Para Diferentes Funções

As técnicas de imageamento desenvolvidas nos últimos anos tornaram possível a visualização dessas estruturas cerebrais humanas na pessoa viva. Cada um desses territórios neurais teve demonstrada, por muitos métodos experimentais, sua capacidade de desempenhar funções específicas. Como resultado, a idéia de que as diferentes regiões são especializadas para diferentes funções é, atualmente, aceita como um dos pilares da ciência do cérebro.



A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

As funções cerebrais relacionadas à linguagem ficam localizadas principalmente no córtex cerebral, que se enrola e recobre os hemisférios cerebrais.

Em cada um dos dois hemisférios, o córtex sobrejacente é dividido em quatro lobos anatomicamente distintos: frontal, parietal, occipital e temporal.

- lobo frontal : planejamento das ações futuras e controle de movimento.
- lobo parietal : sensação tátil e imagem corporal.
- lobo occipital : visão.
- lobo temporal : audição

e através das estruturas mais internas, o hipocampo e o núcleo amigdalóide, os aspectos de aprendizado, memória e emoção.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Os lobos cerebrais são nomeados originalmente em função dos ossos do crânio que, especificamente, os recobrem.

Cada lobo apresenta fissuras e circunvoluções características, isso é uma estratégia evolutiva para aumentar a valiosa área de superfície dentro de um espaço restrito.

O córtex cerebral tem duas características organizacionais importantes. Primeira, cada hemisfério está relacionado, primariamente, aos processos sensoriais e motores no lado oposto, ou contralateral, do corpo. Segundo, embora os hemisférios pareçam ser semelhantes nos humanos, eles não são inteiramente simétricos em sua estrutura – não são equivalentes em função.

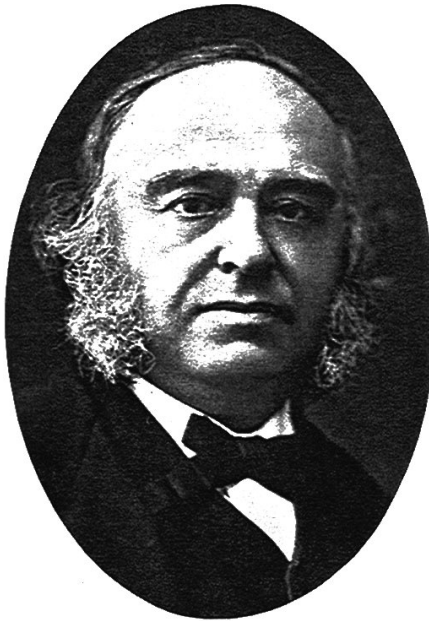
A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Muito do que sabemos sobre a localização da linguagem advém do estudo da afasia.

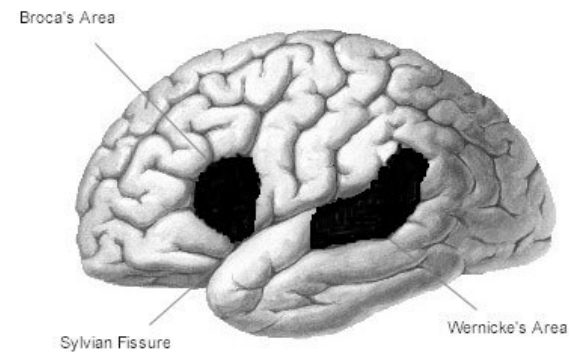
Afasia : ocorre, com mais frequência, em pacientes que sofreram um acidente vascular cerebral (obstrução ou ruptura de vaso sanguíneo que nutre parte de um hemisfério cerebral). Outras podem ser causadas por infecções e manifestações degenerativas locais comprometendo a área especificada. A afasia é por si só a perda da capacidade e das habilidades de linguagem falada e escrita.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Em 1861, Pierre Paul Broca descreveu o caso de um paciente (Leborgue) que era capaz de entender o que se dizia a ele, mas incapaz de falar. Esse paciente não apresentava qualquer problema motor que interferisse com sua fala. Ele era capaz de enunciar palavras isoladas e de cantar uma melodia sem dificuldade, mas não conseguia falar gramaticalmente ou em frases completas, nem conseguia expressar seus pensamentos por escrito.



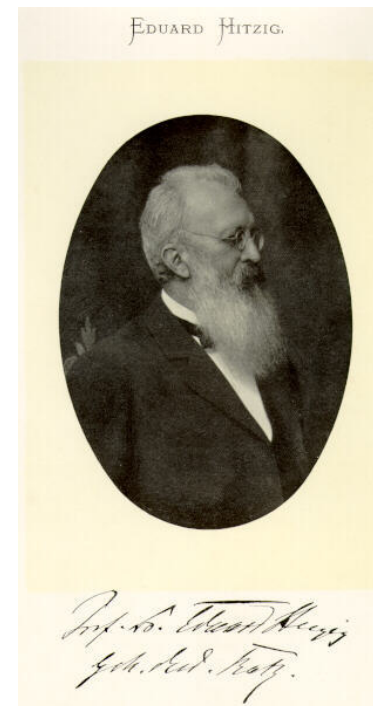
O exame do cérebro deste paciente, após a sua morte, revelou uma lesão na região posterior do lobo frontal.



Broca estudou oito pacientes com quadros semelhantes, todos portadores de lesões nessa região. Essa descoberta levou Broca a propor um dos mais famosos princípios para o funcionamento cerebral: "Nous parlons avec l'hémisphère gauche!" ("Falamos com o hemisfério esquerdo!").

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Em 1870, na Alemanha, o fisiologista Gustav Fritsch e o psiquiatra Eduard Hitzig descobriram que a estimulação elétrica de determinadas regiões do cérebro do cão produzia movimentos característicos dos membros. Verificaram que movimentos isolados eram controlados por regiões bem definidas do córtex; ainda mais, esses movimentos das patas eram produzidos pela estimulação do giro pós-central motor contralateral.



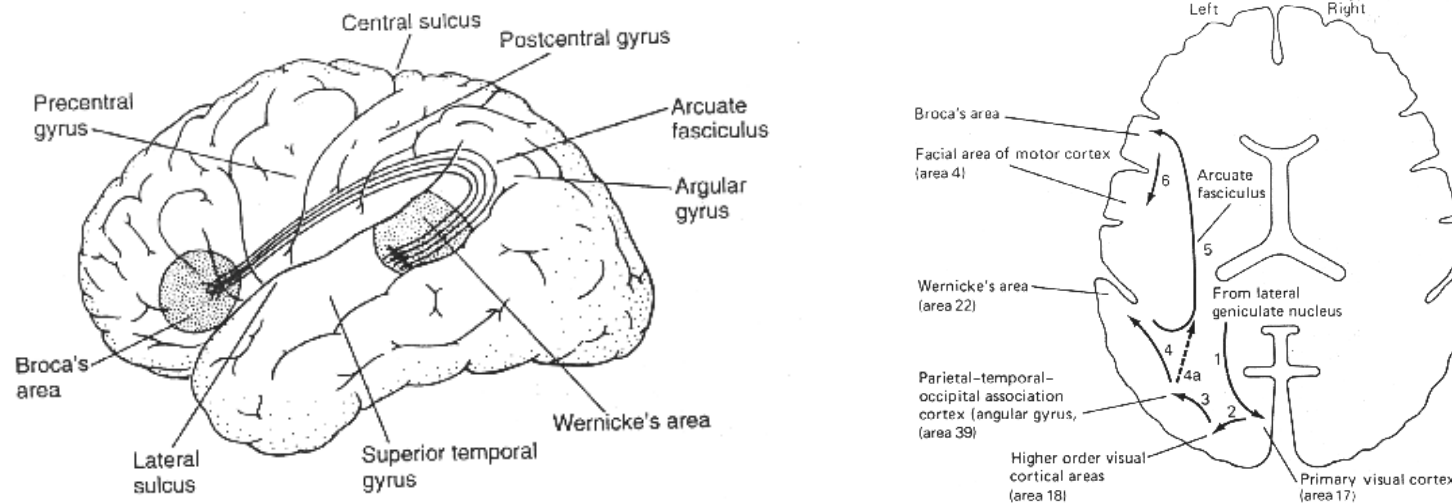
A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Em 1876, o neurologista alemão Carl Wernicke publicou o trabalho, hoje clássico: "O Complexo Sintomático da Afasia: Um Estudo Psicológico sobre Base Anatômica". Nesse trabalho ele descreveu um novo tipo de afasia, relacionado ao distúrbio da compreensão, e não da execução (um distúrbio receptivo, em oposição a um expressivo). Enquanto os pacientes de Broca podiam entender, mas não conseguiam falar, o paciente de Wernicke podia falar, mas não compreendia a fala – nem mesmo o que ele próprio dizia.



Wernicke propôs que apenas as funções mentais mais básicas, as relacionadas com as atividades perceptivas e motoras simples, estariam localizadas em áreas corticais únicas, e que as funções intelectuais mais complexas resultariam das interconexões entre várias regiões funcionais. Ele formulou, assim, a primeira evidência para a idéia de processamento distribuído, que é, atualmente, a idéia central para a nossa compreensão do funcionamento cerebral.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral



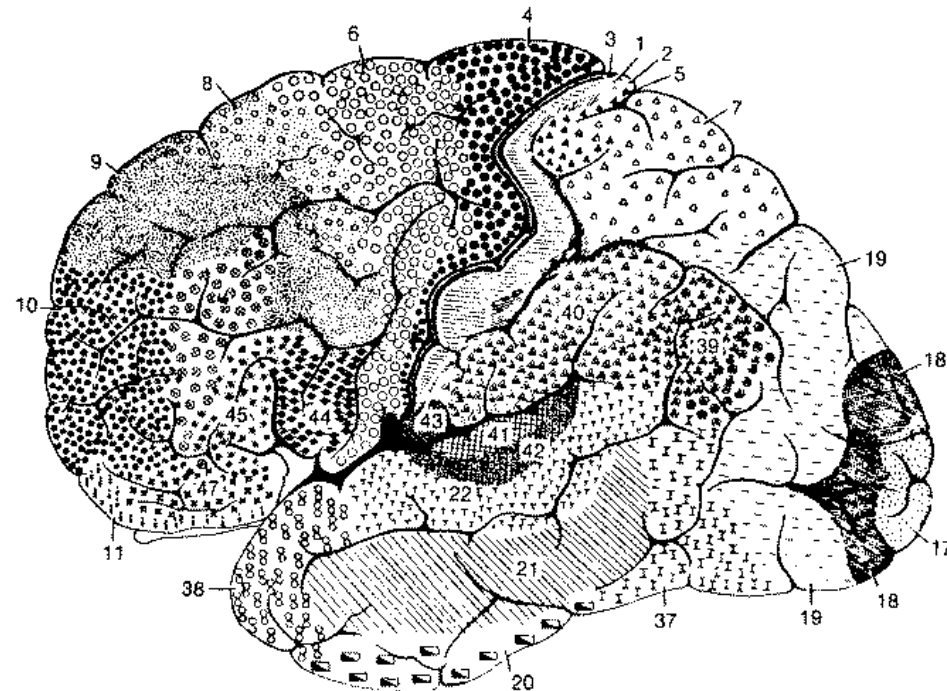
Wernicke formulou um modelo coerente para a organização da linguagem. Segundo esse modelo, a percepção inicial, auditiva ou visual, da fala é formada em áreas corticais sensoriais distintas, especializadas para informações auditivas ou visuais. As representações neurais dessas percepções seriam, então, transmitidas para uma área cortical associativa, especializada para informações auditivas e visuais (o giro angular). Aí, as palavras faladas ou escritas seriam transformadas em representação neural comum, um código compartilhado pela fala e pela escrita. Do giro angular, esse código é transmitido para a área de Wernicke, onde seria reconhecido como linguagem e associado a um significado. Esse código neural comum seria, em seguida, transmitido para a área de Broca, onde seria transformado de uma representação sensorial (auditiva ou visual) em representação motora, que pode desembocar em linguagem falada ou escrita.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

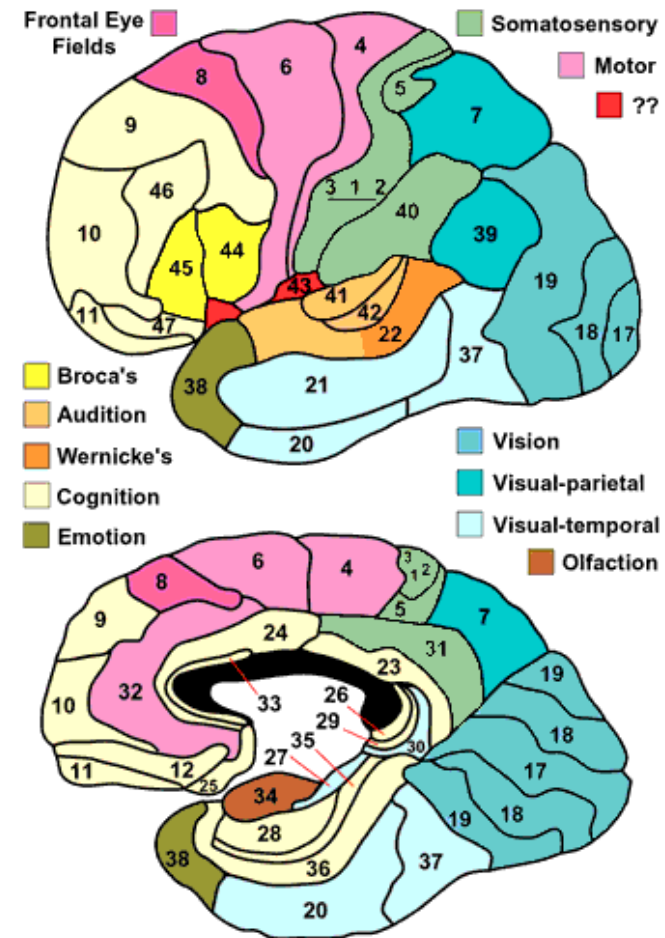
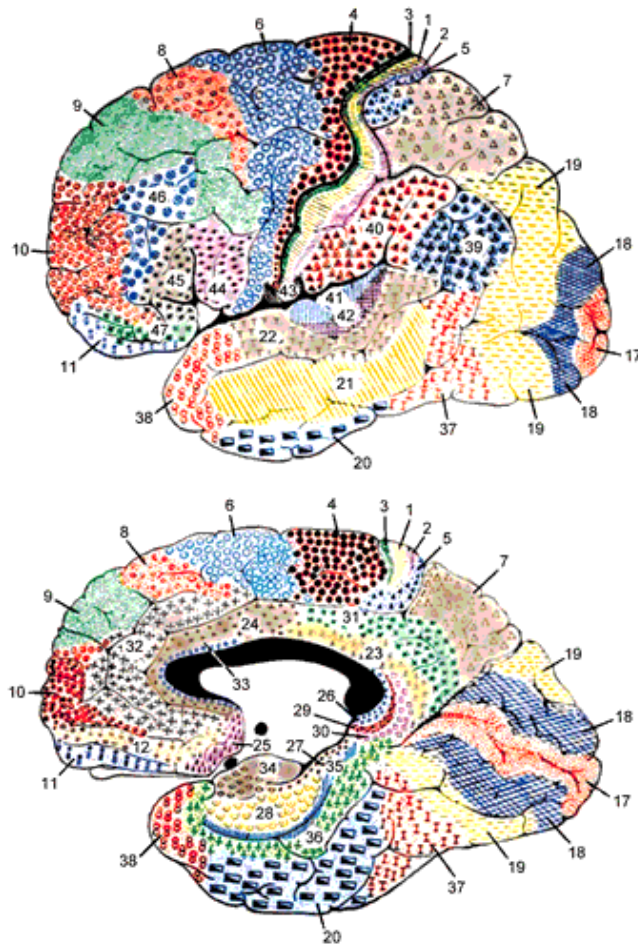
Quando a última transformação, de representação sensorial para motora, não pode ocorrer, a capacidade de expressar a linguagem (seja como fala ou como escrita) é perdida. A partir desse raciocínio, Wernicke previu um novo tipo de afasia, demonstrado clinicamente mais tarde, afasia de condução. Os pacientes com afasia de condução podem compreender as palavras que ouvem ou vêem. Também não apresentam dificuldade na fala. Não conseguem, todavia, falar corretamente; eles omitem partes de determinadas palavras ou as substituem por sons errôneos. Dolorosamente cientes de seus próprios erros, eles são incapazes de corrigi-los.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Inspirada, em parte, por Wernicke, surgiu na Alemanha, no início do século XX, uma nova escola de localização cortical, liderada pelo anatomista Korbinian Brodmann. Essa escola buscou diferenciar as diversas áreas funcionais do córtex cerebral com base na estrutura de suas células e na disposição característica dessas células em camadas. Usando esse método citoarquitetônico, Brodmann distinguiu 52 áreas, funcionalmente distintas, no córtex cerebral humano.



A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral



A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Evidências em favor da localização funcional vem sendo muito fortalecidas. A partir dos últimos anos da década de 1930, Edgar Adrian, na Inglaterra, e Wade Marshall e Philip Bard, nos Estados Unidos, descobriram que a estimulação tátil produz atividade elétrica em regiões determinadas do córtex cerebral. Pouco depois, Jerzy Rose e Clinton Woolsey e outros, depois deles, reexaminaram, com muito rigor, o conceito de área arquitetônica. Em conjunto, esses estudos estabeleceram que as áreas segundo vários critérios independentes, incluindo o tipo celular e as características da laminação celular, conexões de chegada e de saída e – mais importante – pela função fisiológica. Estudos recentes sugerem que a especialização regional é princípio básico da organização cortical e que o cérebro é dividido em um número maior de regiões funcionais que as identificadas por Brodmann.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

O médico americano Karl Lashley, através de seus experimentos com ratos em labirintos, concluiu que a gravidade da lesão dependia do tamanho da lesão e não da localização da mesma. Concluiu então que o aprendizado e outras funções mentais não possuem localização específica no cérebro. Com base nessas observações, Lashley reformulou a teoria do campo agregado em um teoria do funcionamento do cérebro chamada ação de massa, que posteriormente reduziu a importância dos neurônios, das conexões neurais e de regiões cerebrais dedicadas a tarefas específicas. De acordo com essa visão, a massa cerebral, e não seus componentes neurais, é crucial ao funcionamento do cérebro.

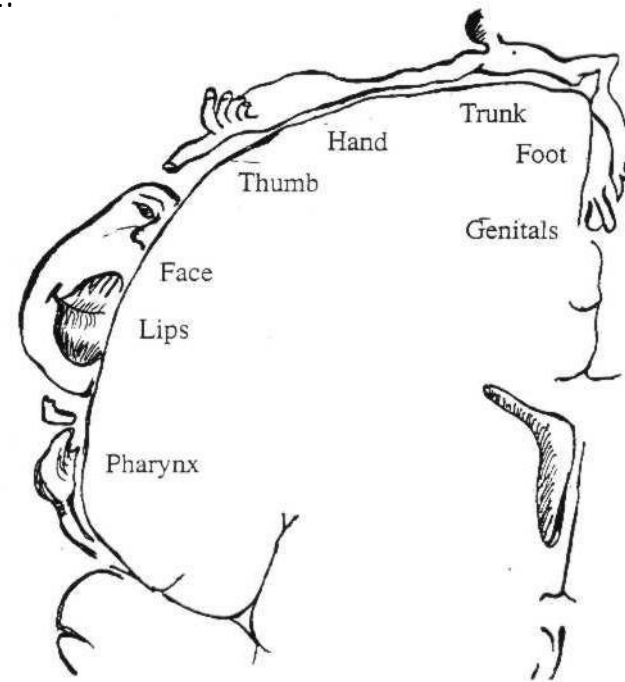


Karl Spencer Lashley
(1890-1958)

As experiências de Lashley com ratos e as observações de Head em pacientes humanos são hoje gradualmente re-interpretadas.

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

No fim da década de 1950, Wilder Penfield usou pequenos eletródios para estimular o córtex de pacientes acordados, durante cirurgia cerebral para epilepsia (executada sob anestesia local). Penfield estava testando o córtex, especificamente, em busca de áreas que produzissem distúrbios da linguagem, para assegurar que a cirurgia para epilepsia não comprometesse as capacidades lingüísticas dos pacientes. Baseado nos relatórios verbais de seus pacientes, ele confirmou, diretamente no cérebro vivo, as áreas para a linguagem descritas por Broca e Wernicke.

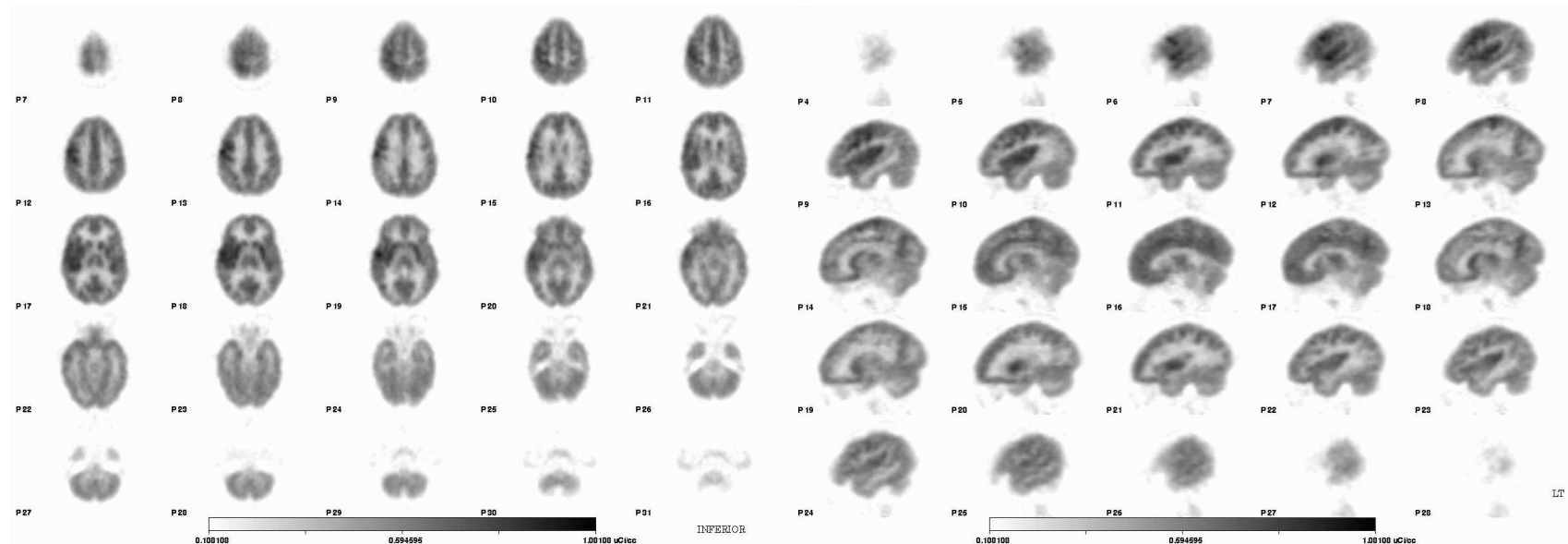


A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Em meados dos anos 1970, Alfonso Caramazza e Edgar Zurif verificaram que diferentes lesões na área de Wernicke geram diferentes distúrbios na compreensão. Lesões na região temporal-frontal da área de Wernicke resulta em distúrbios no processamento lexical, causando uma incapacidade de entender os significados das palavras. Uma lesão na região temporal-parietal da área de Wernicke resulta em falhas no processamento sintático, a capacidade de entender a relação entre as palavras. (O conhecimento sintático permite-nos distinguir os significados das sentenças “João ama Maria” e “Maria ama João”.)

A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Até recentemente, quase tudo o que se sabia sobre a organização anatômica da linguagem vinha dos estudos clínicos de pacientes que haviam sofrido lesões cerebrais. Esses estudos já foram estendidos a pessoas normais, por Michael Posner e Marcus Raichle e seus colegas, usando a tomografia por emissão de pósitrons (positron emission tomography, PET). O PET é uma técnica não-invasiva de imageamento, permitindo a visualização de alterações localizadas do fluxo sanguíneo cerebral e do metabolismo, que acompanham as atividades mentais, tais como leitura, fala e pensamento. Posner e seus colegas descobriram que as vias neurais aferentes para a produção e para a compreensão da linguagem são processadas por mais de uma via.



A Linguagem e Outras Funções Cognitivas Ficam Localizadas no Córtex Cerebral

Segundo Wernicke, tanto a informação visual como a auditiva são transformadas em representação auditiva partilhada da linguagem. Essa informação é, então, conduzida para a área de Wernicke, onde é associada a um significado, antes de ser transformada, na área de Broca, na efetuação da linguagem escrita ou falada.

Usando o imageamento pelo PET, Posner e seus colegas determinaram como as palavras individuais são codificadas, no cérebro, quando essas palavras são lidas ou ouvidas. Verificaram que, quando as palavras eram ouvidas, a área de Wernicke fica ativa, mas quando as palavras são vistas, mas não ouvidas, ou faladas, não ocorre ativação da área de Wernicke. A informação visual, do córtex occipital, parece passar diretamente para a área de Broca, sem ser, primeiro, transformada em uma representação auditiva, no córtex temporal posterior. A partir desses resultados, Posner e seus colegas concluíram que diferentes vias cerebrais e códigos sensoriais são usados na percepção de palavras apresentadas visual ou verbalmente. Ainda mais, propuseram que essas vias teriam acesso independente às regiões superiores, relacionadas à atribuição de significado e de expressão da linguagem.

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

Os frenologistas introduziram a idéia de localização de forma extremada e sem evidência adequada. Pensavam que cada região do córtex cerebral era um órgão mental independente, dedicado a uma só função mental complexa. A oposição subsequente por Flourens e a dialética que se seguiu, entre os proponentes da hipótese do campo agregado (contra a localização) e os connexionistas celulares (a favor da localização) foram a resposta a uma teoria da localização que, embora correta em sentido geral, era extrema, por princípio, e errônea em seus detalhes. O conceito de localização que emergiu finalmente, e que tem prevalecido, é muito mais complexo que o imaginado por Gall (e, até mesmo, por Wernicke).

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

Regiões distintas e localizadas do cérebro não são as responsáveis pelas faculdades mentais complexas, mas sim, realizam operações elementares. As faculdades mais elaboradas são tornadas possível pelas conexões em série e em paralelo de diversas regiões cerebrais.

Durante a última década, com a convergência da moderna psicologia cognitiva com as ciências do cérebro, é que começamos a saber que todas as funções mentais são divisíveis em sub-funções. Experimentamos os processos mentais como operações unificadas, instantâneas. Portanto, intuitivamente, pensamos nos processos individuais – perceber, pensar, aprender, lembrar – como contínuos e indivisíveis. Na verdade, esses processos são compostos por diversos componentes independentes, processadores de informação, e até mesmo a mais simples tarefa cognitiva demanda a coordenação de diversas áreas cerebrais distintas.

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

A lesão de uma só área pode não causar o desaparecimento de toda uma faculdade como previsto por muitos neurologistas do passado. Mesmo quando a função desaparece de início, ela poderá, com o passar do tempo, retornar parcialmente, porque as partes não lesadas do cérebro podem, até certo ponto, se reorganizar para desempenhar a função que foi perdida. Dessa forma, os processos mentais não são, em geral, representados por uma série de elos em uma cadeia única, pois, nessa disposição, todo o processo ficaria comprometido quando um dos elos fosse rompido. Ao contrário, os processos mentais são compostos por diversos componentes, representados por várias vias neurais, como uma malha de trilhos ferroviários que terminam na mesma estação. A disfunção de um trecho de uma via só perturba a informação conduzida por essa via, mas isso não precisa interferir de modo permanente com o desempenho do sistema como um todo. As partes restantes do sistema podem modificar seu desempenho, acomodar o tráfego adicional após a interrupção de uma linha.

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

Para ilustrar esse ponto, considere-se como armazenamos e relembramos a representação de objetos e pessoas – ou, até mesmo, do mais simples evento de nosso ambiente. Nossa impressão é a de que armazenamos cada fragmento de conhecimento – cada objeto ou fato sobre o mundo – como uma representação unificada que pode ser relembrada por estímulos sensoriais ou, até, por apenas a imaginação. Por exemplo, sentimos que nosso conhecimento sobre nossa avó está armazenado em uma representação unificada, como avó, representação essa igualmente acessível quando vemos essa pessoa, ouvimos sua voz ou, simplesmente, pensamos sobre ela. Elizabeth Warrington e seus colegas mostraram, contudo, que essa crença não tem suporte nos fatos. O conhecimento não é armazenado como representações gerias, mas é subdividido em diversas categorias. Assim, lesões seletivas nas áreas de associação, no lobo temporal esquerdo, podem levar à perda de uma categoria especial do conhecimento – a uma perda do conhecimento sobre as coisas vivas, especialmente, pessoas, sem perda do conhecimento sobre objetos inanimados. Ainda mais, essas categorias ainda não são mais subdivididas em função das modalidades sensoriais. Assim, uma pequena lesão no lobo temporal esquerdo, pode desconstruir o reconhecimento dos nomes das coisas vivas, sem interferir com o seu reconhecimento visual.

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

O exemplo mais surpreendente de estrutura combinatória dos processos mentais é o achado de que o nosso próprio sentimento de nós mesmos, como um eu (self) – um ser coerente – depende das conexões neurais entre operações distintas, desenvolvidas independentemente nos dois hemisférios cerebrais. Em alguns pacientes epiléticos, o corpo caloso, um trato de fibras conectando os dois hemisférios, é seccionado para o tratamento de crises epiléticas graves. Como resultado dessa intervenção cirúrgica, cada hemisfério desenvolve um conhecimento independente do eu. Por exemplo, cada hemisfério responde a estímulos táteis aplicados à mão oposta (contralateral), mas não a estímulos aplicados à mão do mesmo lado (ipsilateral). Assim, quando objetos idênticos são colocados nas duas mãos, o objeto da mão esquerda não pode ser comparado com o objeto da mão direita, porque esse objeto só pode ser identificado pelo hemisfério esquerdo, que não mais se comunica com o hemisfério direito. Ainda mais dramática é a demonstração de que, na maioria desses pacientes, o hemisfério direito não consegue entender a linguagem, que é bem compreendida pelo hemisfério esquerdo isolado. Como resultado, ordens antagônicas podem ser seletivamente transmitidas a cada hemisfério.

Os Processos Mentais São Representados, no Cérebro, por Suas Operações Elementares

Pacientes com epilepsia crônica no lobo temporal manifestam alterações em suas características emocionais, algumas das quais acontecem apenas rapidamente e são chamadas ictal phenomena. Exemplos comum do ictal phenomena são sentimento de não-realidade e déjà vú (a sensação de já ter estado em um lugar ou vivido uma situação anteriormente); alucinações visuais e auditivas transientes; sentimento de despersonalização, medo ou raiva; delírios; sentimentos sexuais; e paranóia.

As Células Neurais e o Comportamento

Informações sobre o ambiente são obtidas por meio de diferentes receptores sensoriais.

As unidades básicas do cérebro, as células neurais, são bastante simples.

O cérebro é capaz de produzir comportamentos altamente complexos, por conter um número extraordinariamente grande de células neurais (cerca de 100 bilhões).

1. Como os neurônios produzem sinais estereotipados, que permitem a comunicação entre as partes de uma célula.
2. Como os neurônios são interconectados para permitir a comunicação entre as células.
3. Como diferentes padrões de interconexão produzem tipos diversos de comportamento.
4. Como o comportamento é modificado em função da experiência (plasticidade sináptica).

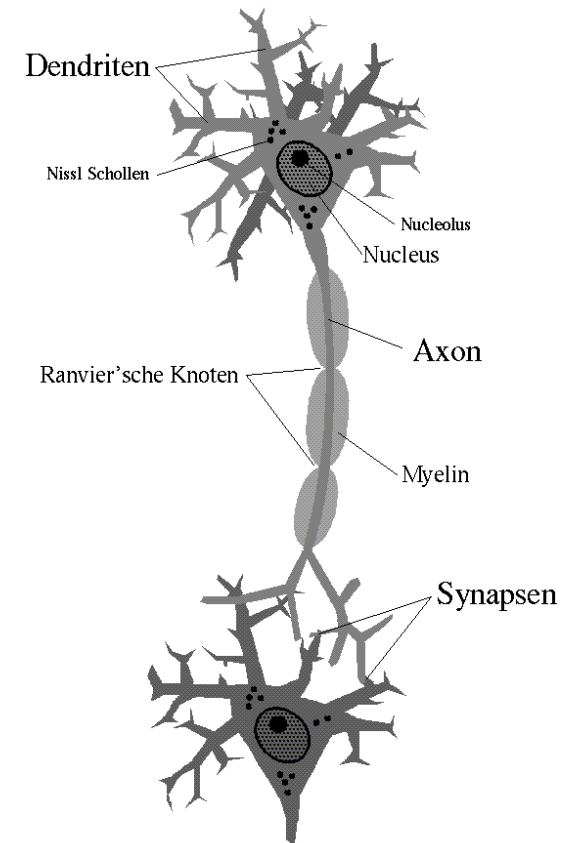
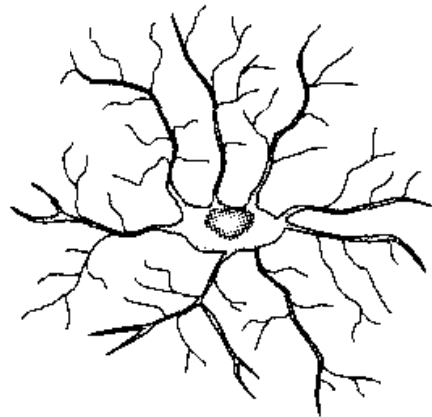
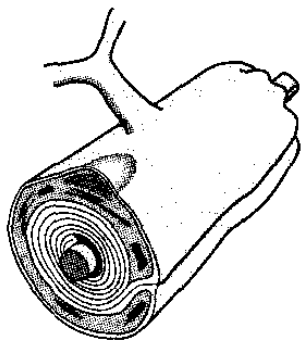
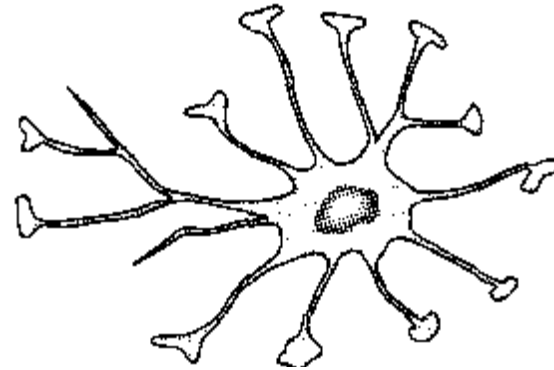
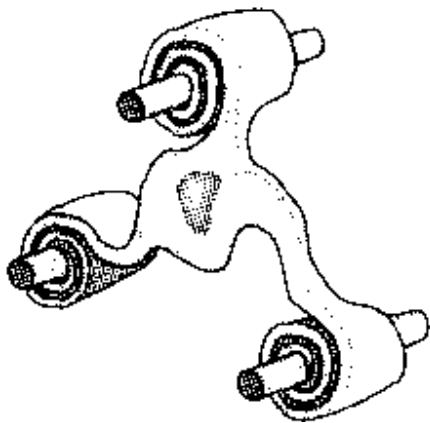
As Células Neurais e o Comportamento

Descoberta fundamental para a compreensão do cérebro é a de que o potencial para o comportamento complexo não depende muito da variedade das células neurais, mas sim, do número dessas células e das conexões precisas umas com as outras e com os receptores sensoriais e com os músculos.

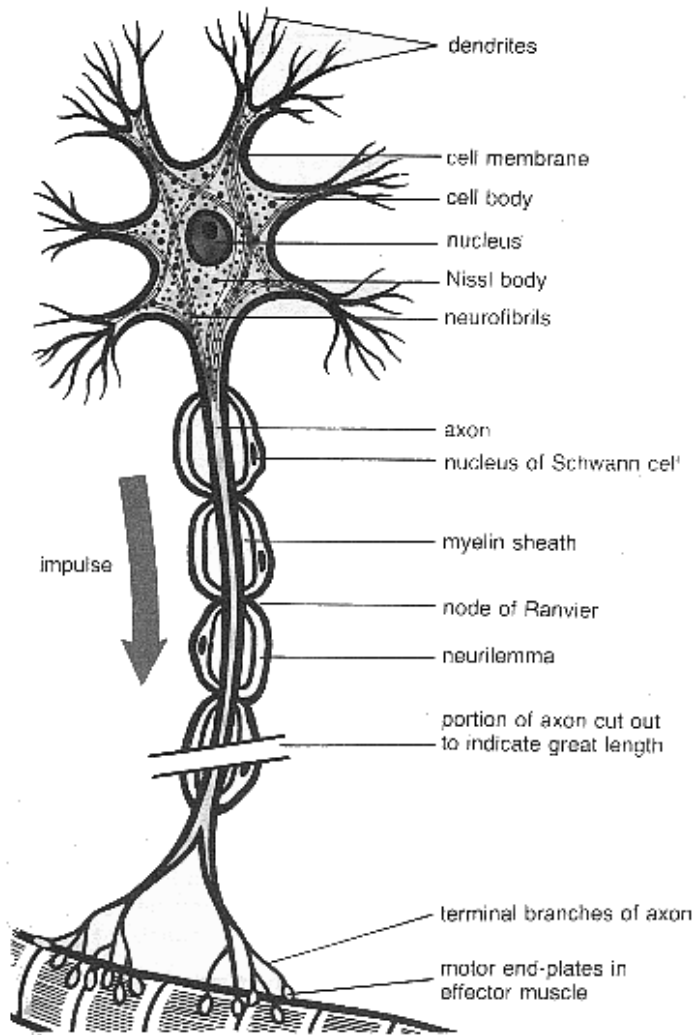
As Células Neurais e o Comportamento

O sistema nervoso contém duas classes de células:

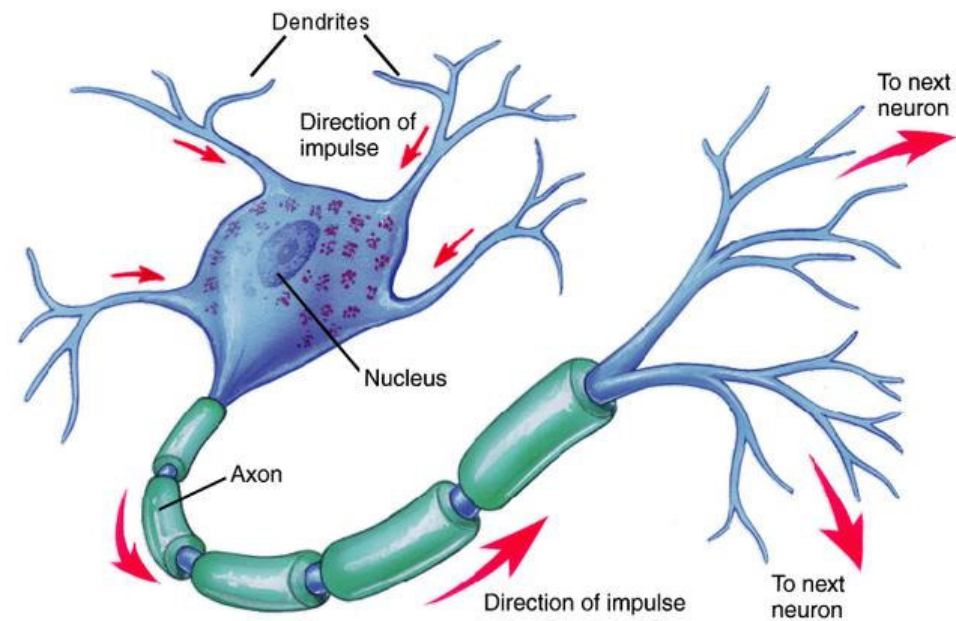
1. Células neurais
2. Células da Glia



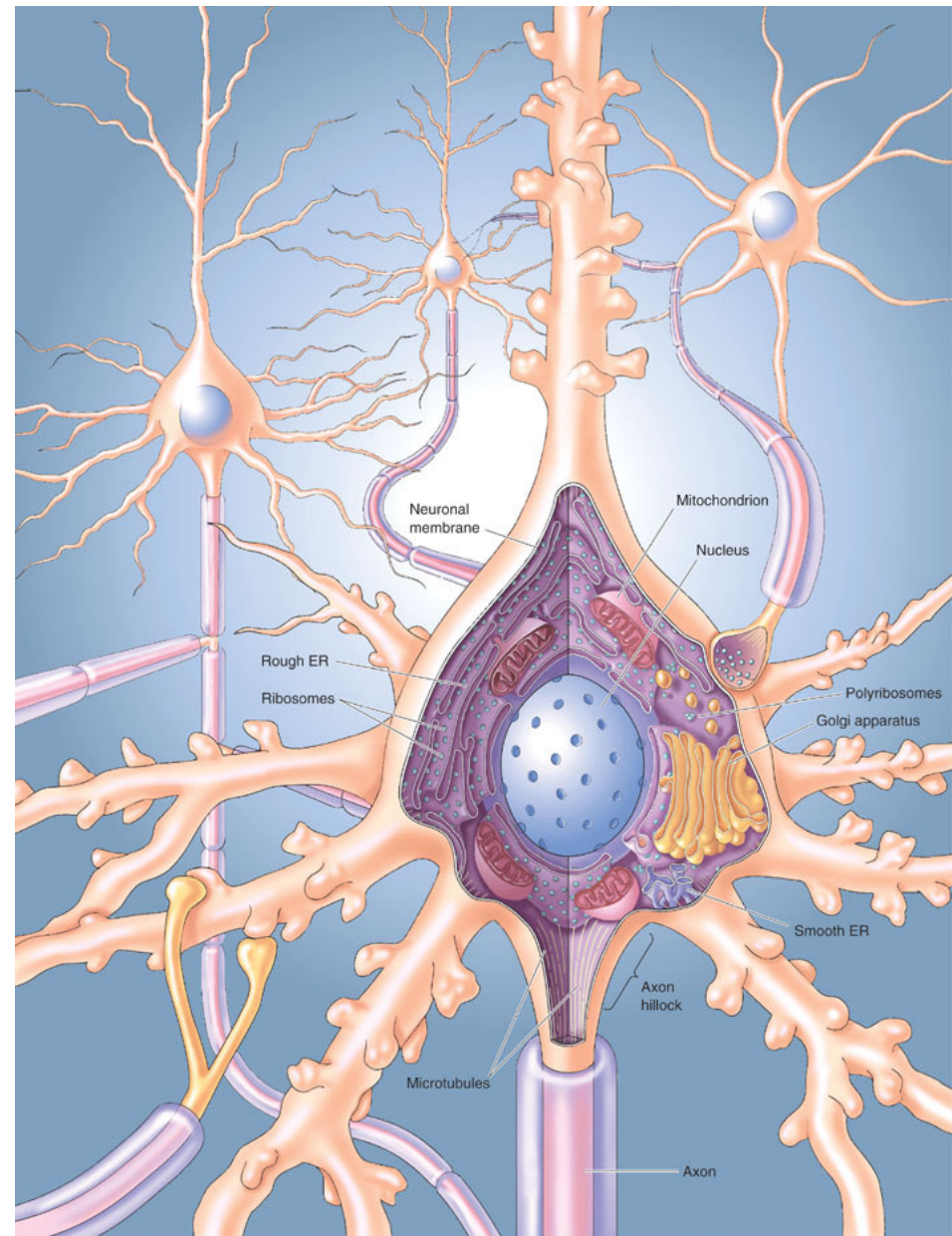
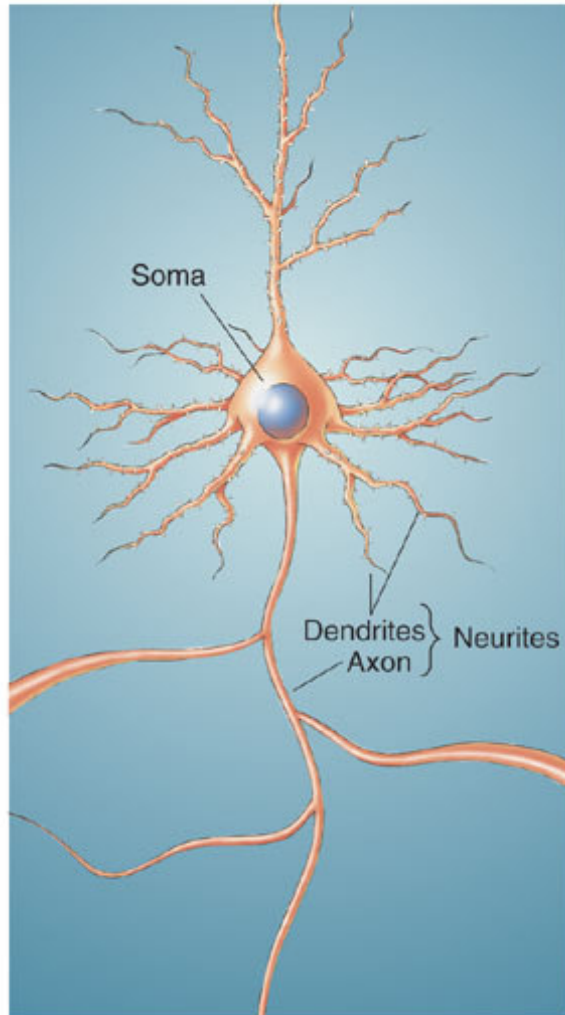
Células Neurais



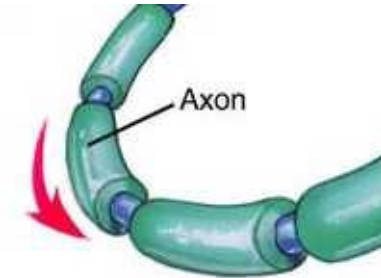
Um neurônio típico apresenta quatro regiões morfológicamente definidas: o corpo celular, os dendritos, o axônio e suas terminações pré-sinápticas.



Células Neurais



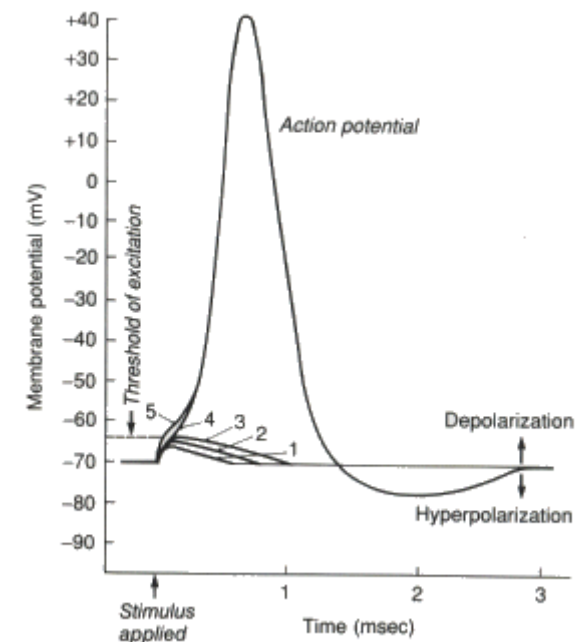
Células Neurais



O diâmetro dos axônios varia de 0,2 a 20 μ m.

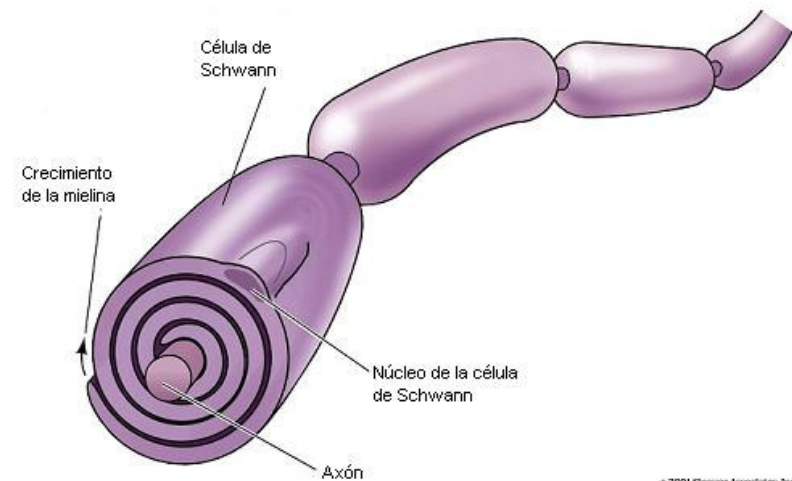
O axônio é a principal unidade condutora do neurônio, capaz de conduzir sinais elétricos por distâncias que variam desde tão curtas quanto 0,1mm até tão longas quanto 2m. Muitos axônios se dividem em vários ramos, e dessa forma, conduzindo informação para diferentes alvos.

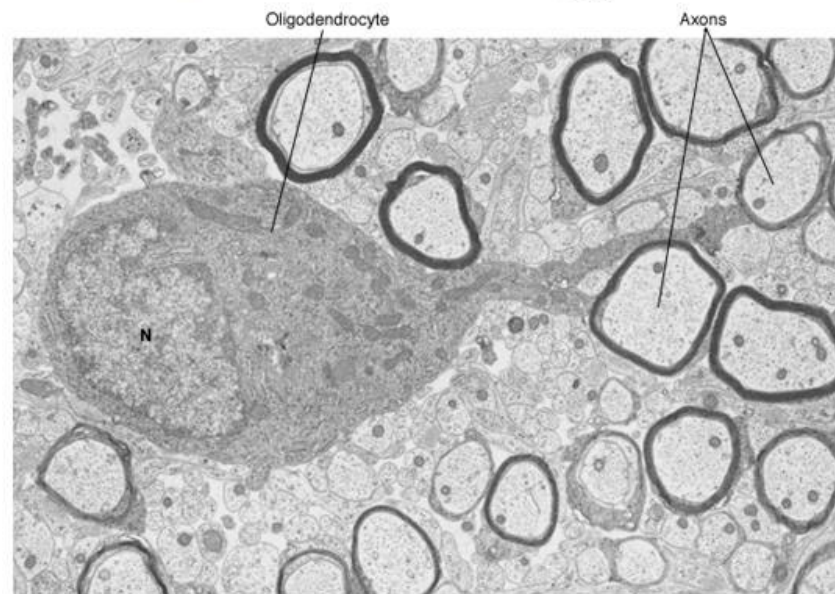
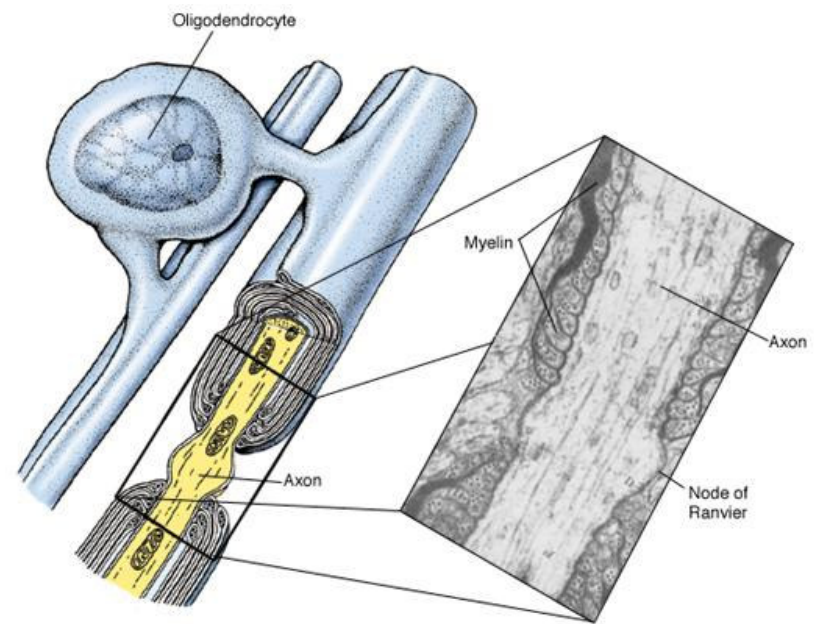
Os sinais elétricos propagados ao longo do axônio, chamados potenciais de ação, são impulsos nervosos rápidos e transientes, do tipo tudo-ou-nada, com amplitude de 100 milivolts (mV) e duração de cerca de 1 ms. Os potenciais de ação são gerados no cone axônico e conduzidos ao longo do axônio, sem falha e sem distorção, com velocidade entre 1 e 100 m/s. A amplitude do potencial de ação permanece constante em todo o axônio, visto que o impulso tudo-ou-nada é continuamente regenerado à medida que ele trafega pelo axônio.



Células Neurais

Para assegurar a condução com alta velocidade dos potenciais de ação, os axônios mais calibrosos são circundados por bainha isolante, chamada de mielina. Essa bainha é interrompida a intervalos regulares, pelos nodos de Ranvier, e é nesses segmentos desprovidos de isolamento elétrico, ao longo do axônio, que o potencial de ação é regenerado.





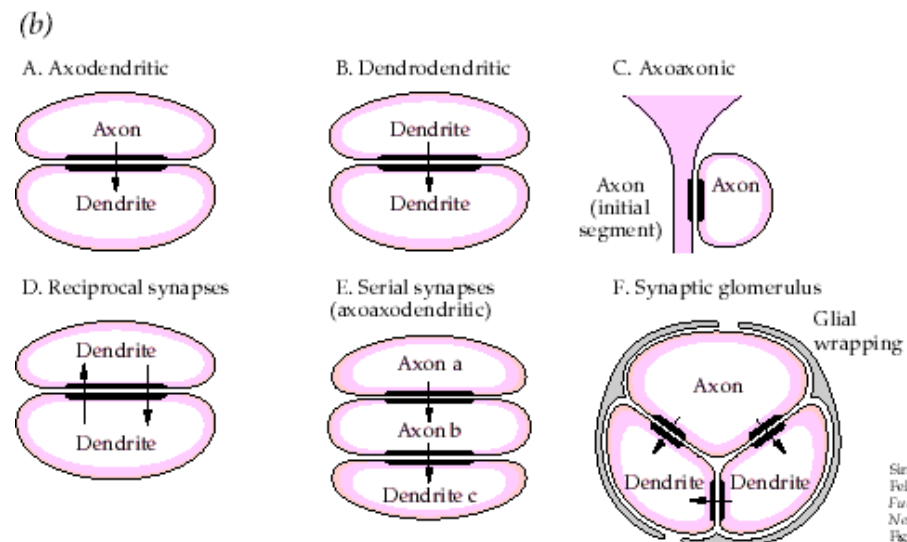
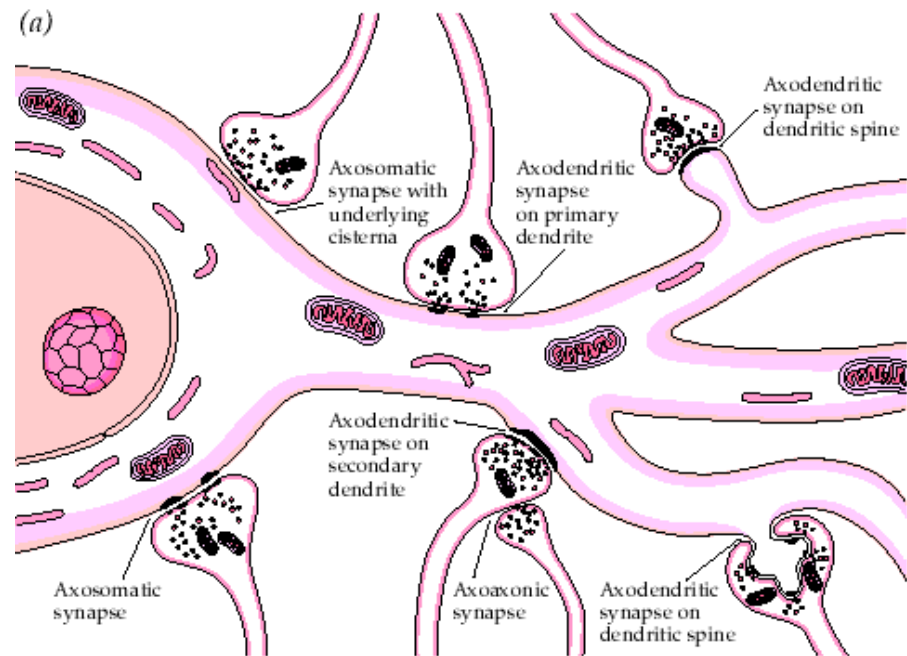
Células Neurais

Sinapse

Célula pré-sináptica

Célula pós-sináptica

Fenda sináptica



Células Neurais

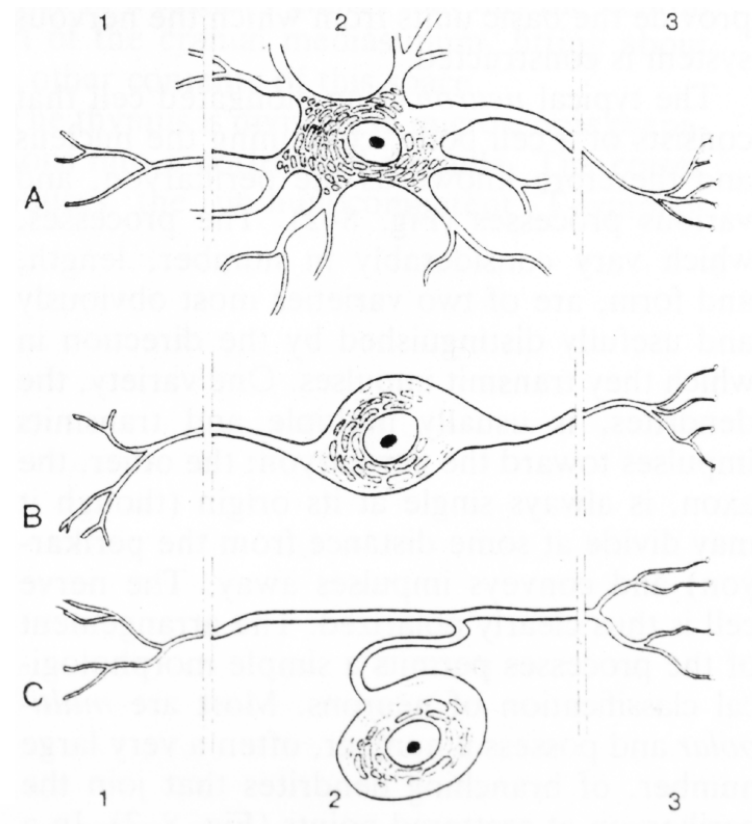
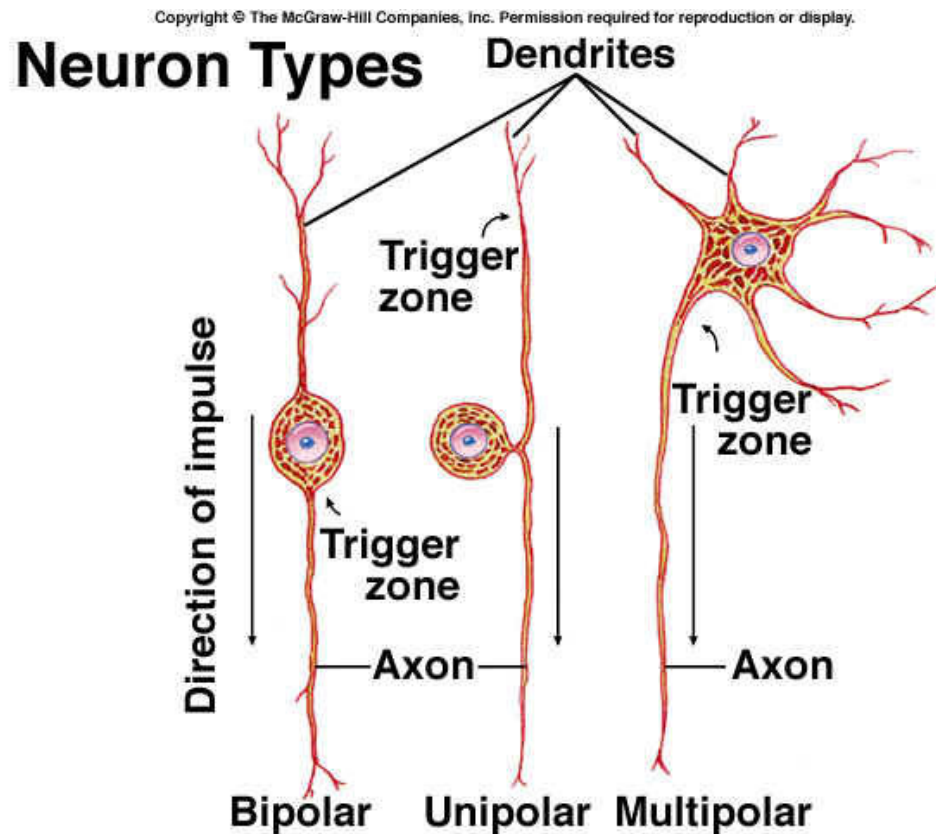
A estrutura coerente do neurônio só foi esclarecida próximo ao final do século XIX, quando Ramón y Cajal começou a usar o método de impregnação por prata criado por Golgi.

Ramón y Cajal formulou dois princípios importantes:

1. Princípio da polarização dinâmica, que propõe que os sinais elétricos fluam em direção previsível e consistente, e apenas nessa direção, em uma célula neural. Essa direção vai dos locais receptivos do neurônio (em geral, os dendritos e o corpo celular) para a zona de gatilho, no cone axônico.
2. Princípio da especificidade conectiva implica duas considerações importantes. Primeira, não existe continuidade citoplasmática entre as células neurais; até mesmo na sinapse, a terminação pré-sináptica é separada da célula pós-sináptica (pela fenda sináptica). Segunda, as células neurais não se comunicam indiscriminadamente umas com as outras, nem formam redes ao acaso. Ao contrário, cada célula se comunica com determinadas células-alvos (mas não o faz com outras), e sempre por meio de pontos especializados de contato sináptico.

Células Neurais

Com base no número de prolongamentos, originados no corpo celular, os neurônios são classificados em três grandes grupos: unipolar, bipolar e multipolar.



Células Neurais

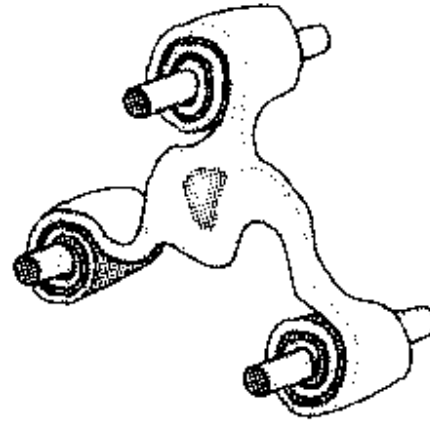
Uma célula motora espinhal, com dendritos moderados, em número e em extensão, recebe cerca de 10.000 contatos – 2.000 no corpo celular e 8.000 nos dendritos. A árvore dendrítica de uma célula de Purkinje no cérebro é bem maior, como deveria ser – ela recebe aproximadamente 150.000 contatos!



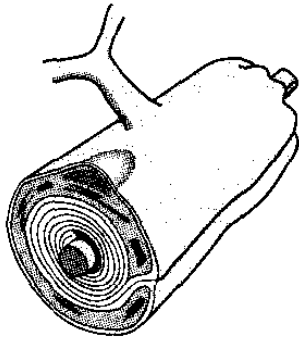
Célula de Purkinje

Células da Glia

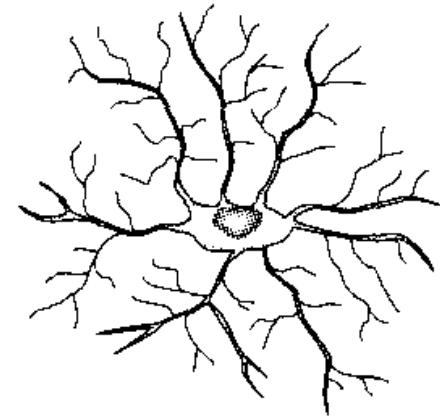
Células da Glia



Oligodendrócito



Célula de Schwann



Astrócito

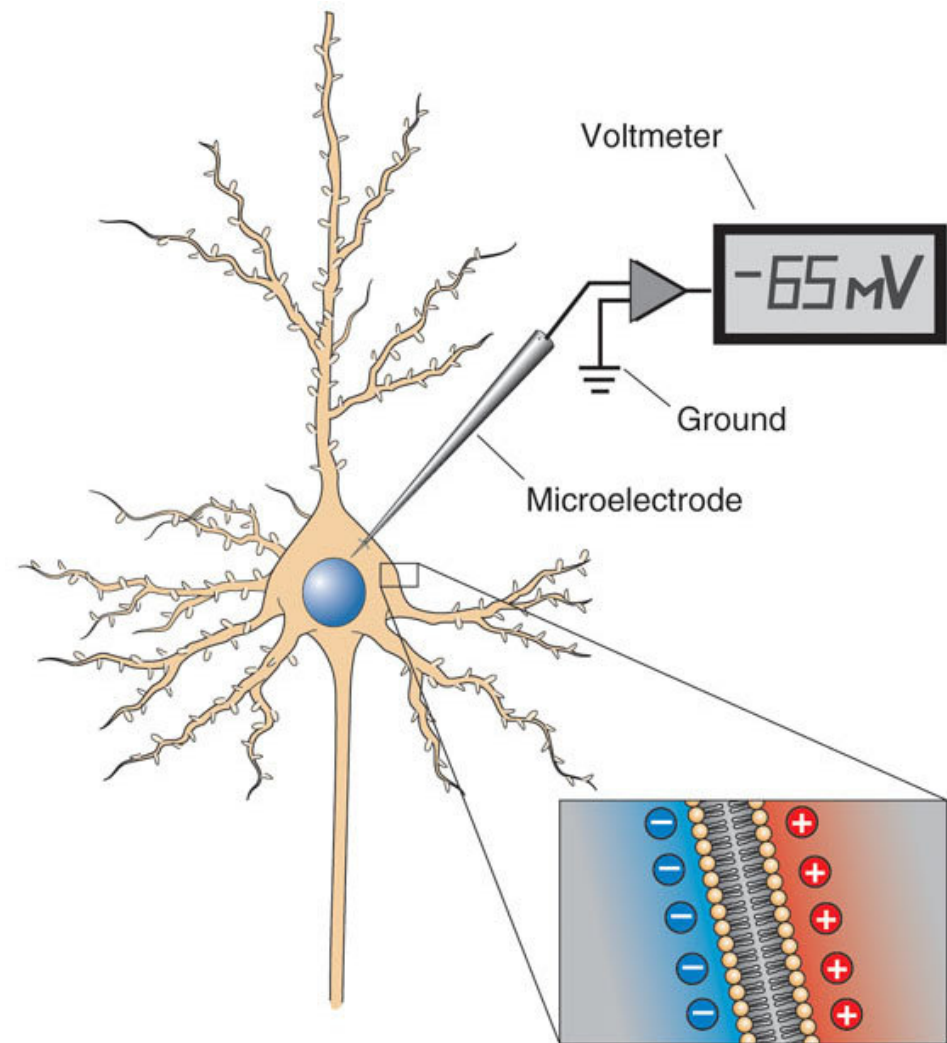
Células da Glia

Funções:

1. Atuam como elementos de sustentação, dando firmeza e estrutura ao cérebro. Também separam e, ocasionalmente, isolam grupos de neurônios entre si.
2. Dois tipos de células da glia produzem mielina, a bainha isolante que recobre a maioria dos axônios mais calibrosos.
3. Algumas células da glia têm função semelhante à dos garis, removendo os dendritos após lesão ou morte neuronal.
4. As células da glia tamponam e mantêm a concentração dos íons potássio no espaço extracelular; algumas também captam e removem transmissores químicos liberados pelos neurônios durante a transmissão sináptica.
5. Durante o desenvolvimento cerebral, certas classes de células da glia guiam a migração dos neurônios e dirigem o crescimento do axônio.
6. Certas células da glia participam da criação de um revestimento, especial e impermeável, dos capilares e vênulas cerebrais, criando uma barreira hematoencefálica que impede o acesso de substâncias tóxicas ao cérebro.
7. Existe evidência sugestiva de que algumas células da glia, no sistema nervoso de vertebrados, têm participação na nutrição das células neurais, embora isso seja difícil de ser demonstrado de forma conclusiva.

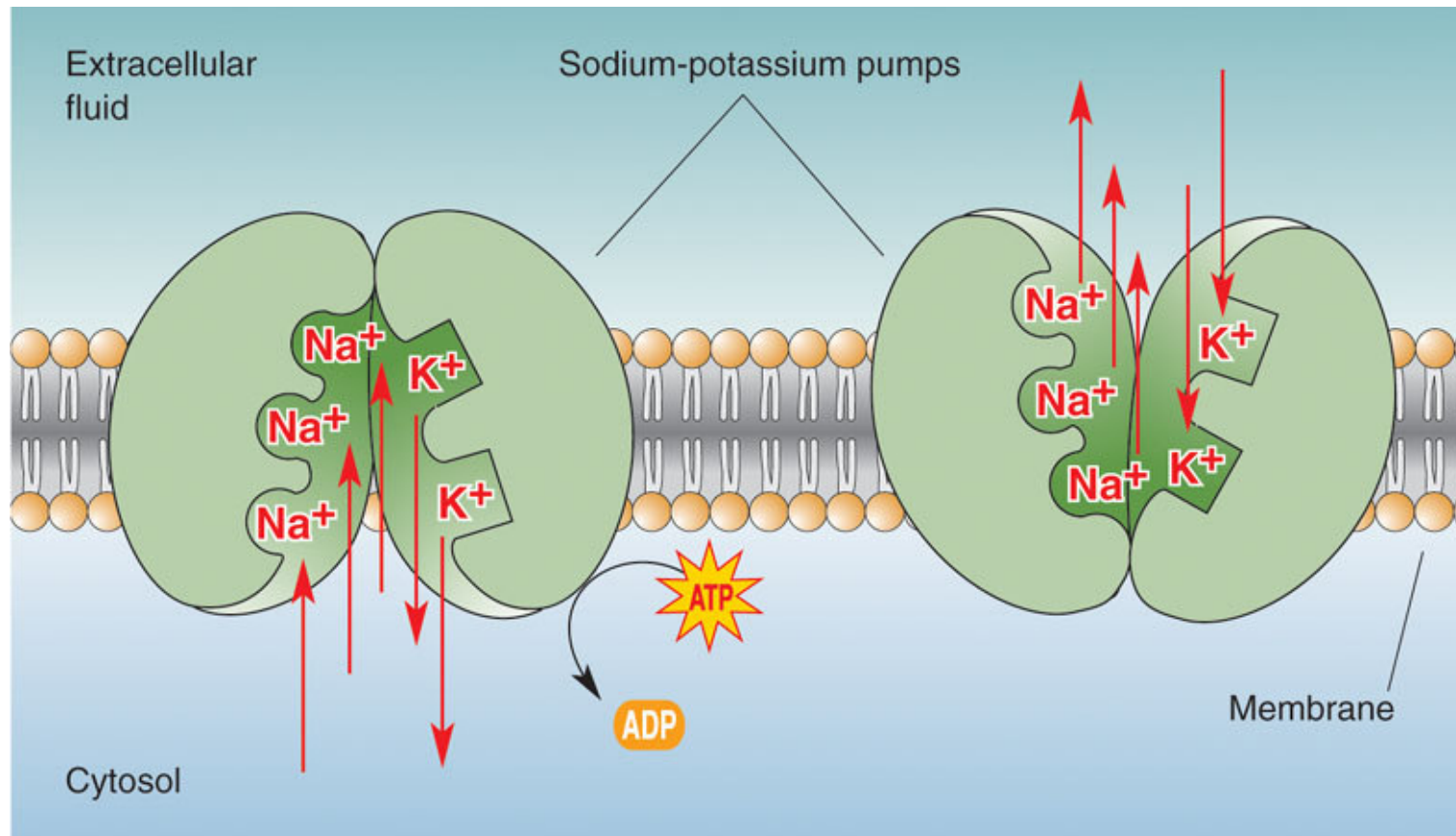
Sinalização

Os neurônios mantêm uma diferença de carga elétrica, de cerca de 65mV, através de sua membrana externa, ou plasmática. Essa diferença é chamada de potencial de repouso da membrana. Ela resulta da distribuição desigual de íons sódio, potássio e cloreto e de ânions orgânicos, através da membrana das células e da permeabilidade seletiva dessa membrana ao potássio. Esses dois fatores atuam, em conjunto, para fazer que o interior da membrana da célula neural tenha carga negativa em relação a seu exterior. Dado que o exterior da membrana é arbitrariamente definido como zero, dizemos que o potencial de repouso da membrana é de -65 mV. Em diferentes células neurais, o potencial de repouso da membrana pode variar entre -40 mV e -80 mV.



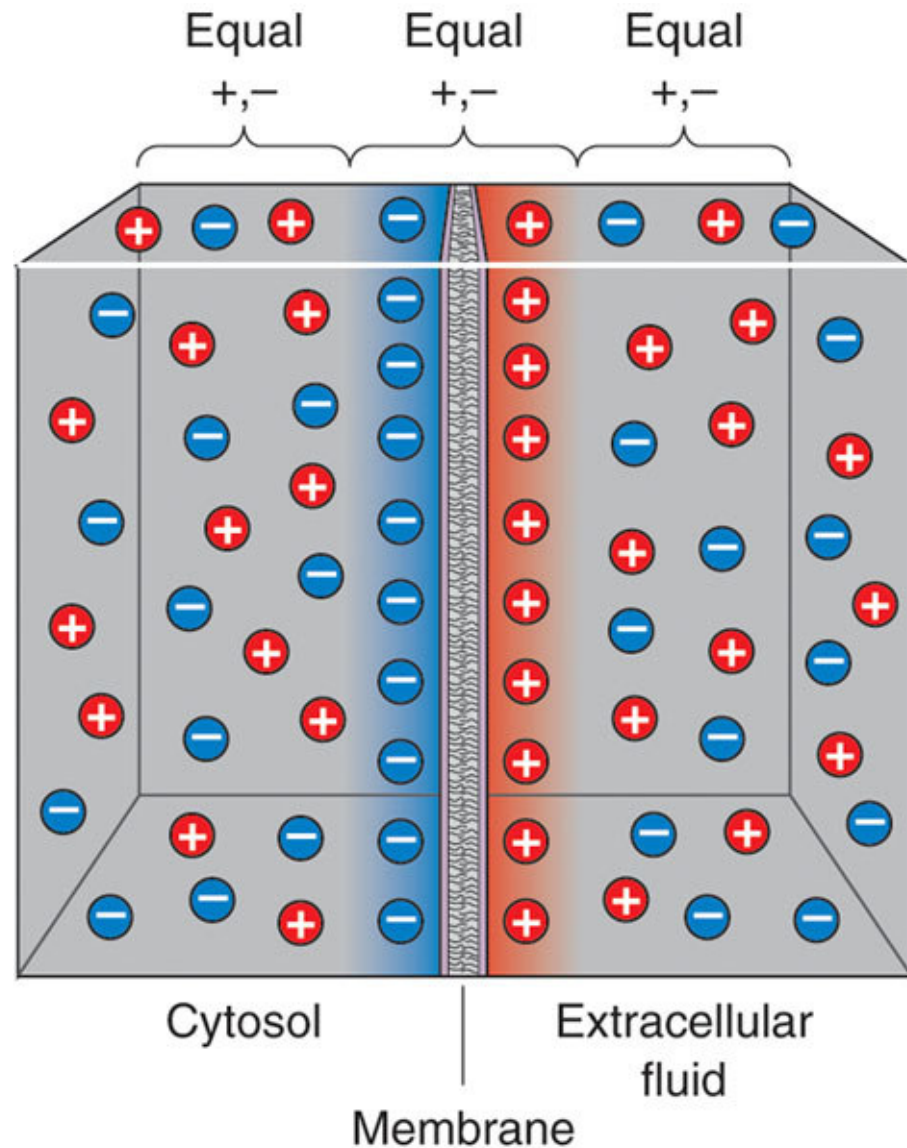
Sinalização

Essa distribuição desigual de íons é mantida por meio de uma proteína específica da membrana, que atua como bomba transportando o sódio para fora da célula e potássio para seu interior. Essa bomba de sódio-potássio mantém a baixa concentração de sódio no interior da célula (cerca de 10 vezes menor que no exterior), enquanto também mantém a alta concentração intracelular de potássio (cerca de 20 vezes maior que no exterior).



Sinalização

Devido à sua alta concentração no interior da célula, o potássio tende a ser expulso da célula, movido por seu gradiente de concentração. À medida que o potássio, um íon com carga positiva, vaza para fora da célula, ele deixa, atrás de si, na face interna da membrana, uma nuvem de cargas negativas, não-neutralizadas, o que faz com que a membrana fique mais negativa (em cerca de 65 mV) em sua face interna que na externa.



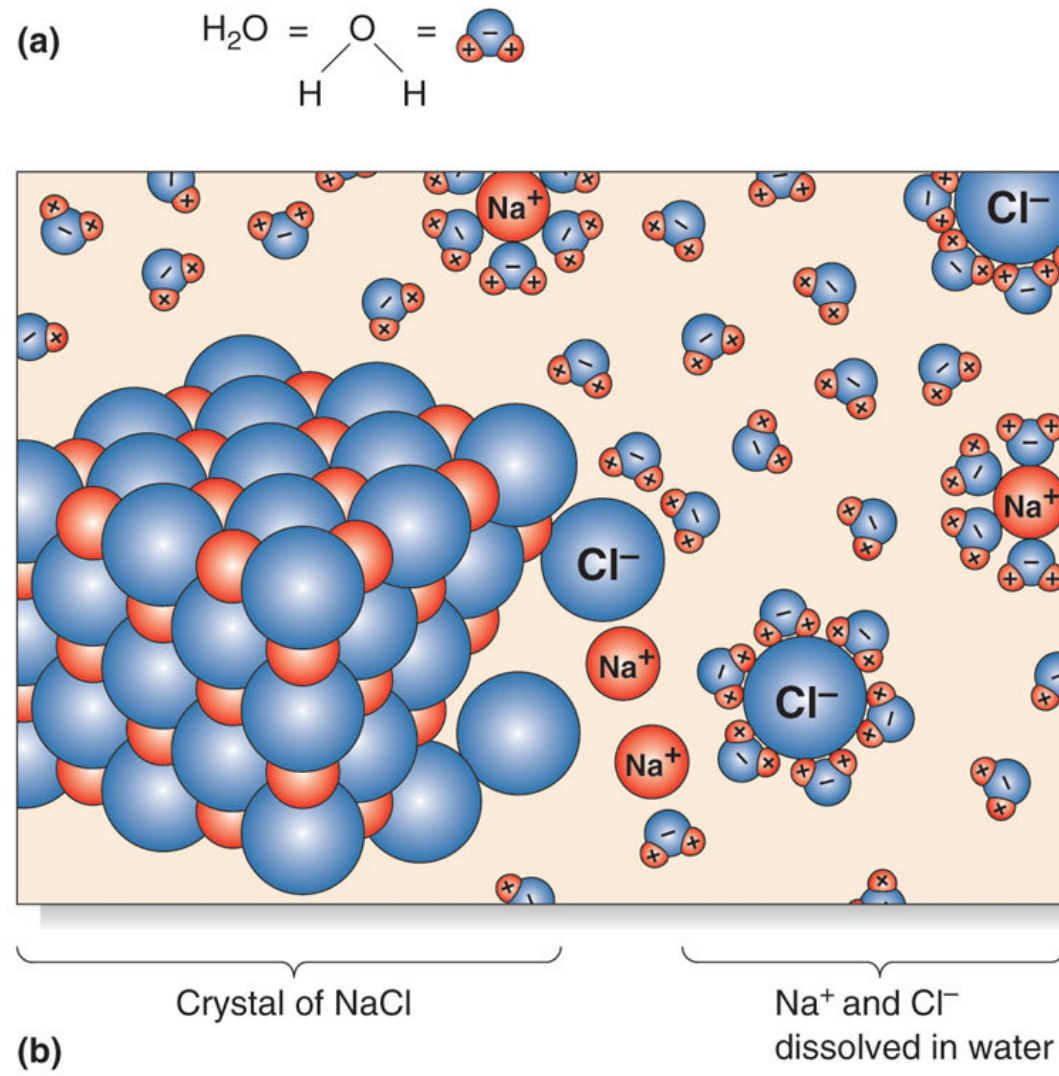
Sinalização

O potencial de repouso da membrana representa, assim, uma linha de base, sobre a qual todos os outros sinais, locais ou propagados, são definidos. O aumento do potencial de membrana (por exemplo, de cerca de -65 mV para -75 mV) é chamado hiperpolarização; uma diminuição (por exemplo, de -65 mV para -55 mV) é chamada de despolarização. Como veremos adiante, a hiperpolarização diminui a probabilidade de que a célula gere um sinal de transmissor (o potencial de ação) e é, portanto, inibitória. A despolarização aumenta a probabilidade da capacidade celular de gerar um potencial de ação e, conseqüentemente, é excitatória.

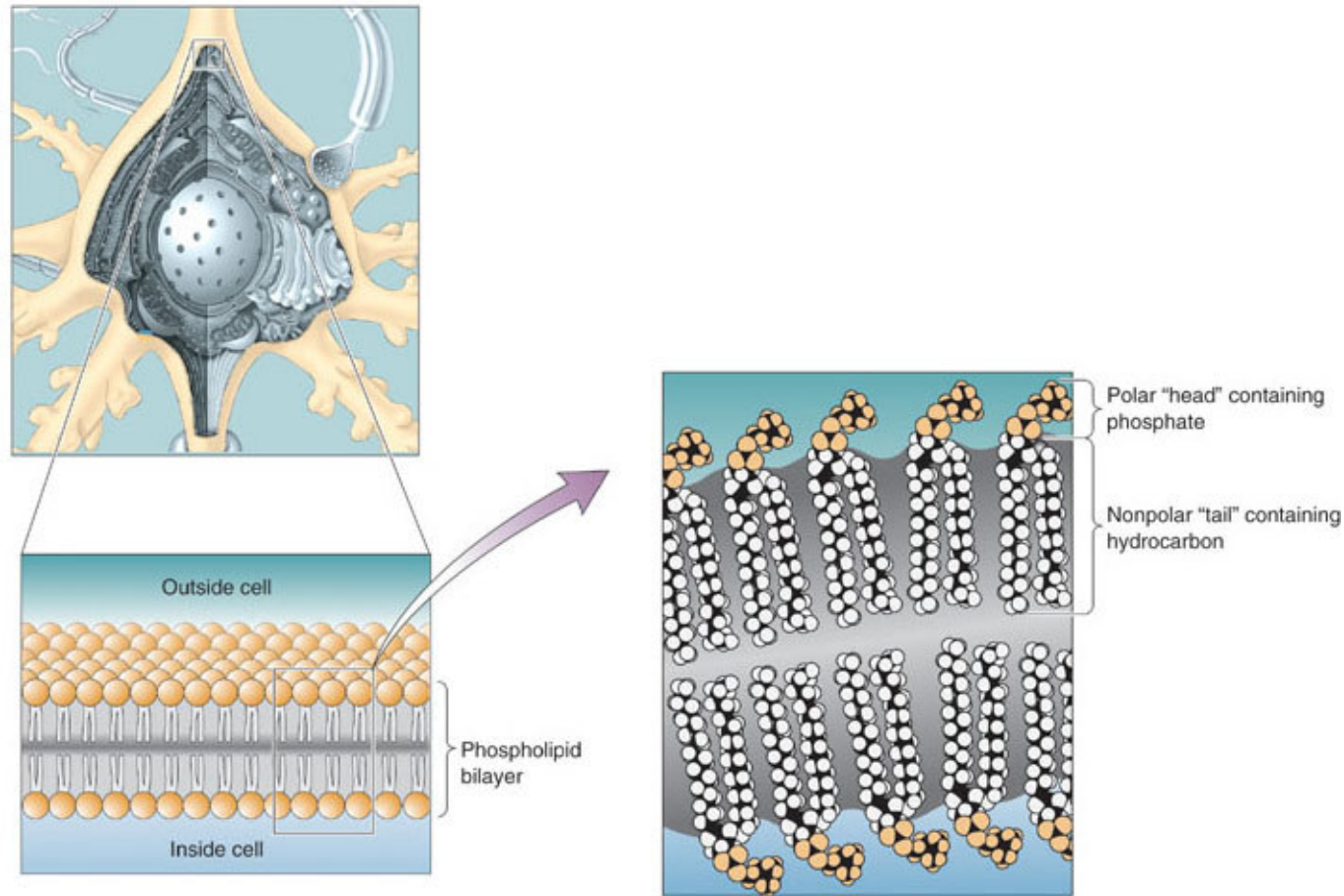
Membrana Neural

A membrana neural tem uma espessura de aproximadamente 5nm e é recheada de proteínas. Algumas dessas proteínas bombeiam substâncias de um lado para o outro da membrana. Outras formam poros que regulam quais substâncias podem ter acesso ao interior do neurônio. A composição protéica da membrana varia dependendo da região do neurônio: soma, axônio ou dendrito.

Membrana Neural



Membrana Neural



Fosfolipídios contêm uma longa cadeia não polar de átomos de carbono ligados a átomos de hidrogênio. Além disso, o fosfolipídio possui um grupo fosfato (um átomo de fósforo ligado a três átomos de oxigênio) anexado a uma das extremidades da molécula. Os fosfolipídios possuem uma cabeça polar que é hidrofílica e uma cauda não polar que é hidrofóbica.

Membrana Neural

Proteínas

Enzimas – catalisam reações químicas

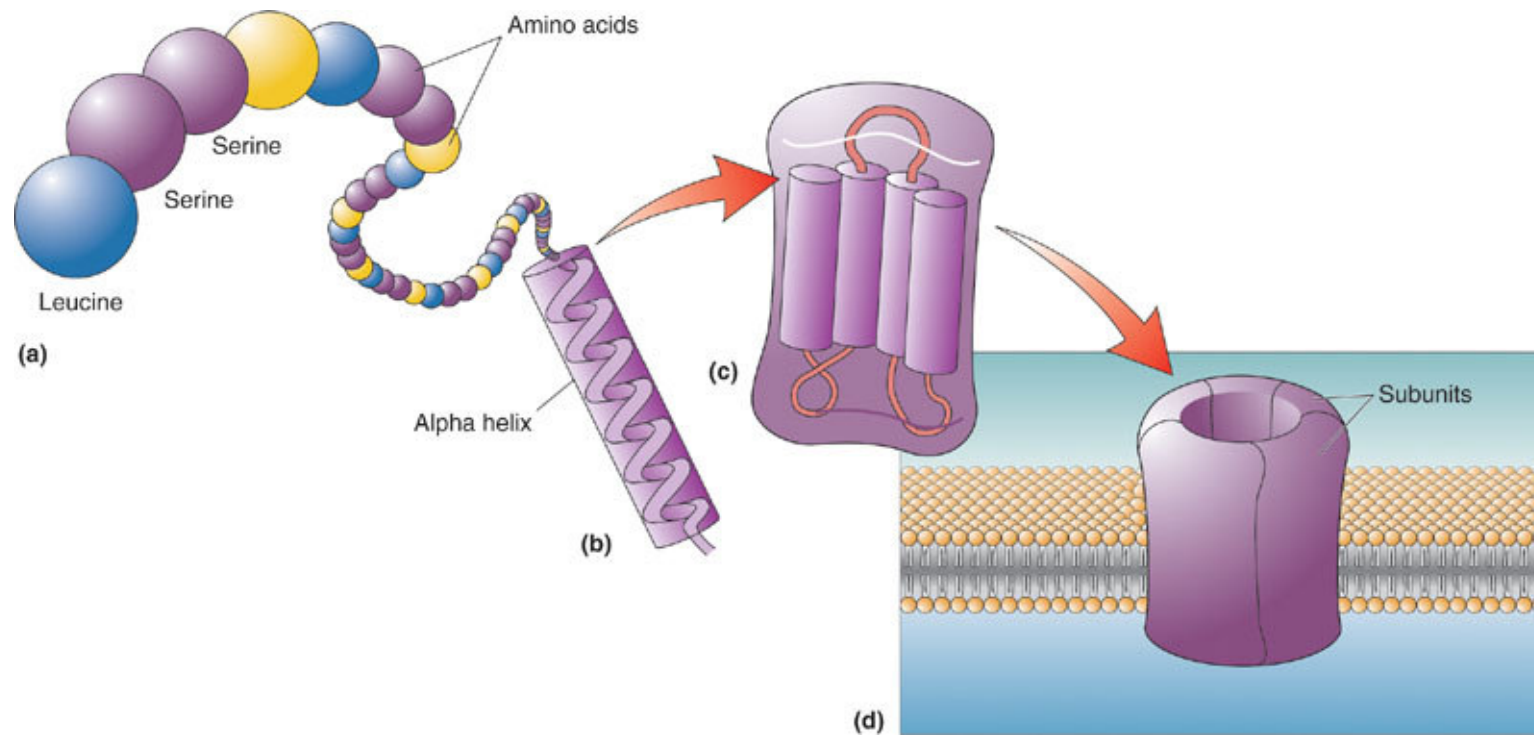
Citoesqueleto – dão ao neurônio sua forma especial

Receptores – são sensíveis a neurotransmissores

Os potenciais de ação e de repouso dependem de proteínas dispostas na camada dupla de fosfolipídios. Essas proteínas fornecem rotas para íons através da membrana neural.

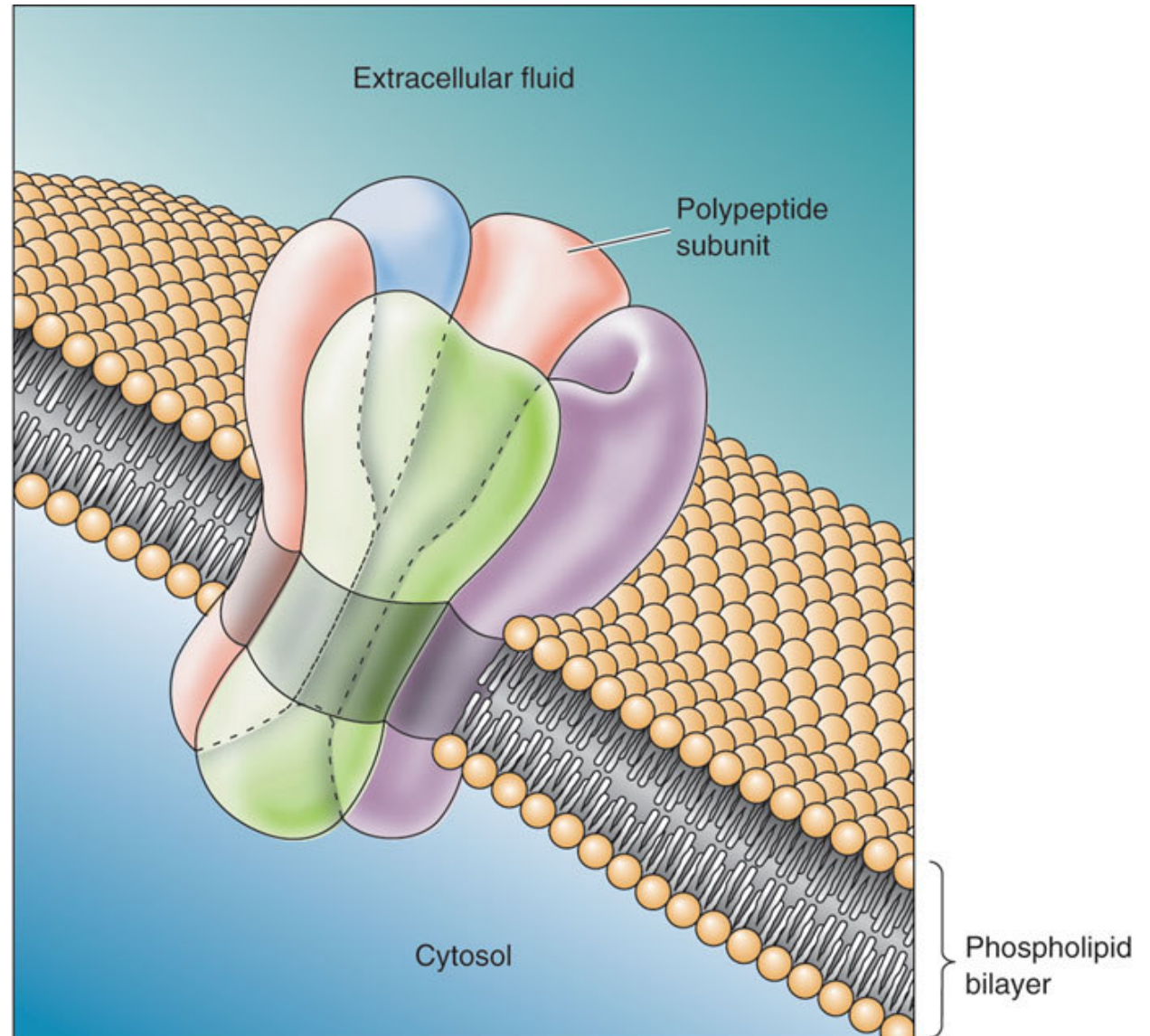
Um canal iônico funcional requer de 4 a 6 moléculas protéicas similares montadas para formar um poro atravessando a membrana.

Membrana Neural



Membrana Neural

Uma importante propriedade dos canais iônicos, especificada pelo diâmetro do poro e pela natureza do grupo R (resíduo, o que resta da proteína tirando os grupos amino e carboxil), é a seletividade iônica.



Membrana Neural

Bombas iônicas

Algumas proteínas formam bombas iônicas. Essas moléculas são na verdade enzimas que utilizam a energia liberada pela quebra de ATP para transportar certos tipos de íons através da membrana. Essas bombas possuem um papel muito importante na sinalização do neurônio através do transporte de Na^+ e Ca^{2+} do lado de dentro do neurônio para o meio externo.

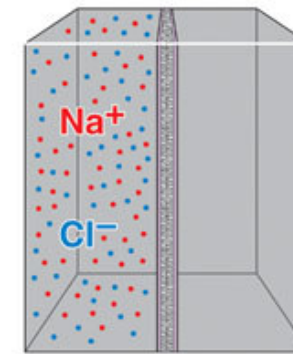
Membrana Neural

Movimentação de íons

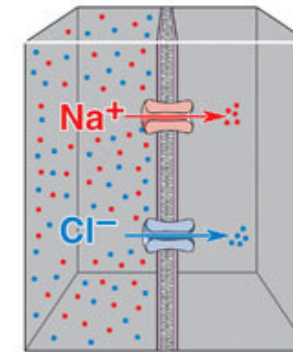
Difusão

Movimentação de íons de uma região de maior concentração em direção a uma região de menor concentração.

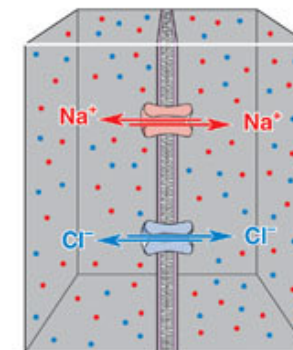
(gradiente de concentração)



(a)



(b)



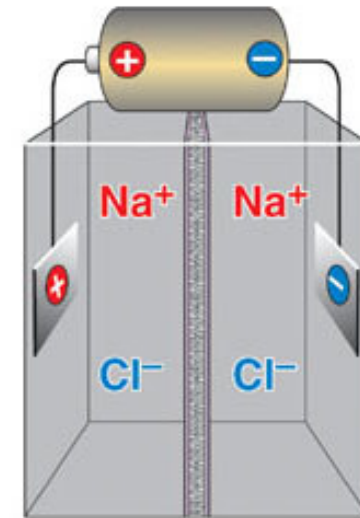
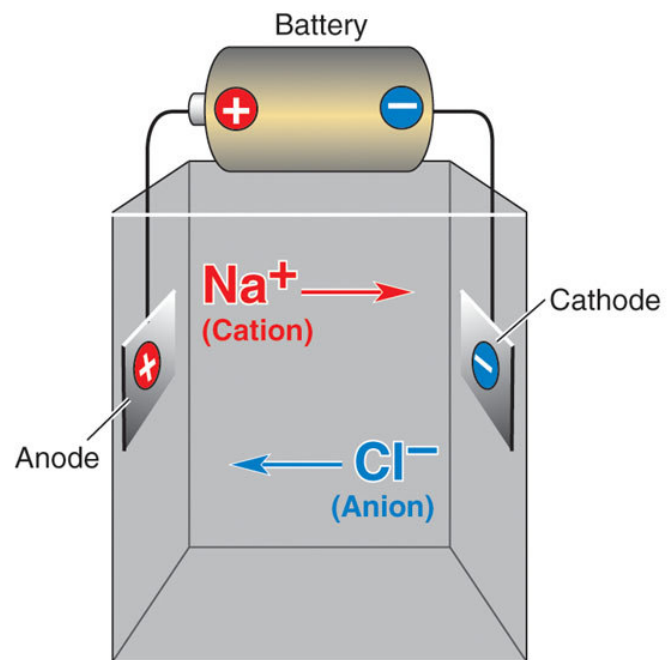
(c)

Membrana Neural

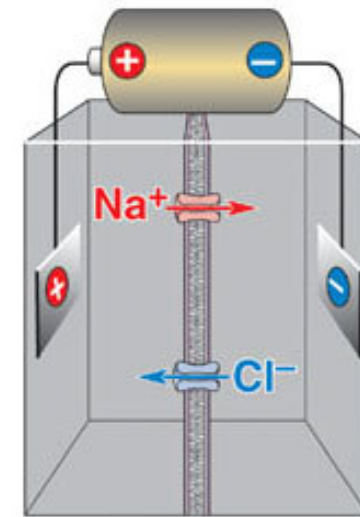
Movimentação de íons

Corrente Elétrica

Diferença de Potencial

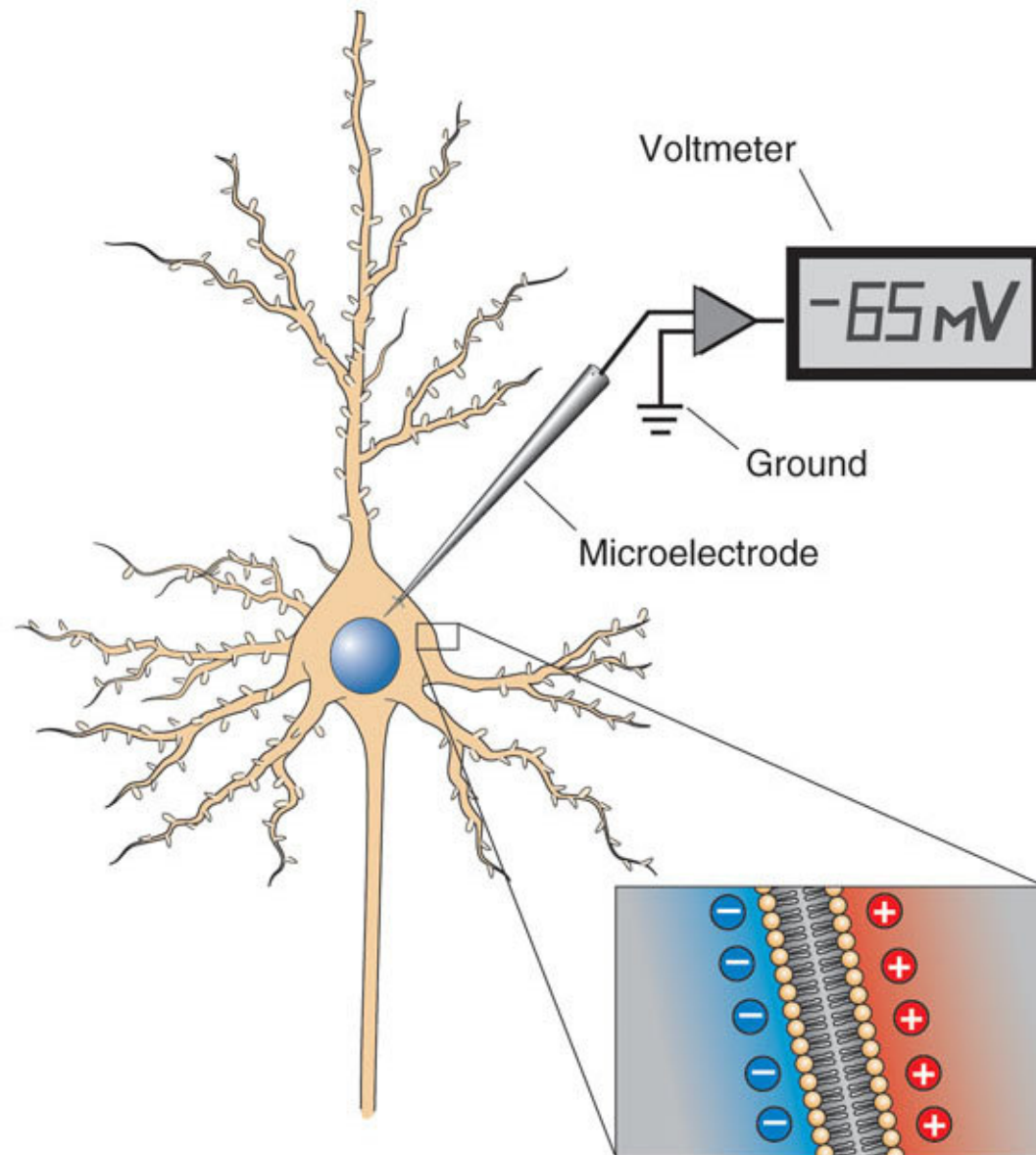


(a) No current



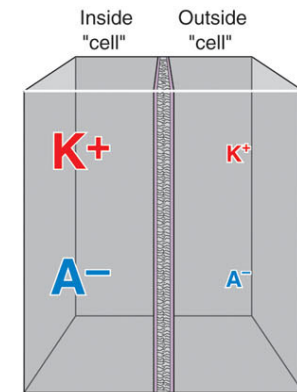
(b)

Membrana Neural

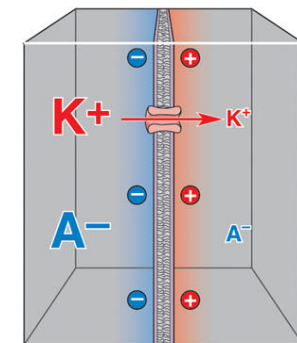


Membrana Neural

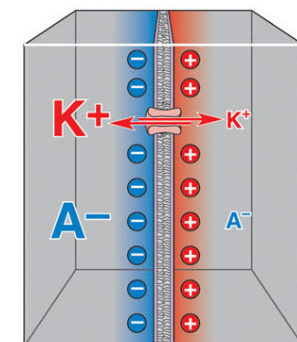
- (a) Uma grande concentração de K^+ e A^- (anion, qualquer molécula com carga negativa) dentro da célula. Embora existam um grande gradiente de concentração, não haverá fluxo, pois não há canais para a passagem dos íons. A diferença de potencial através da membrana seria 0.
- (b) Com a presença de um canal de potássio haverá um fluxo deste através da membrana (a diferença de potencial diminuirá, pois haverá mais cargas negativas dentro da célula), cessando quando a diferença de potencial elétrica contrabalançar a diferença de potencial do gradiente de concentração.
- (c) Equilíbrio atingido. A diferença de potencial através da membrana é de 80mV.



(a)



(b)



(c)

Membrana Neural

K^+ é mais concentrado dentro da célula e Na^+ e Ca^{2+} são mais concentrados fora. A bomba de sódio e potássio é uma enzima que hiperpolariza ATP na presença de Na^+ internamente. A energia química liberada por essa reação ativa a bomba, fazendo a troca de Na^+ interno por K^+ externo. Estima-se que 70% do ATP gasto pelo cérebro seja nas bombas de sódio e potássio.

