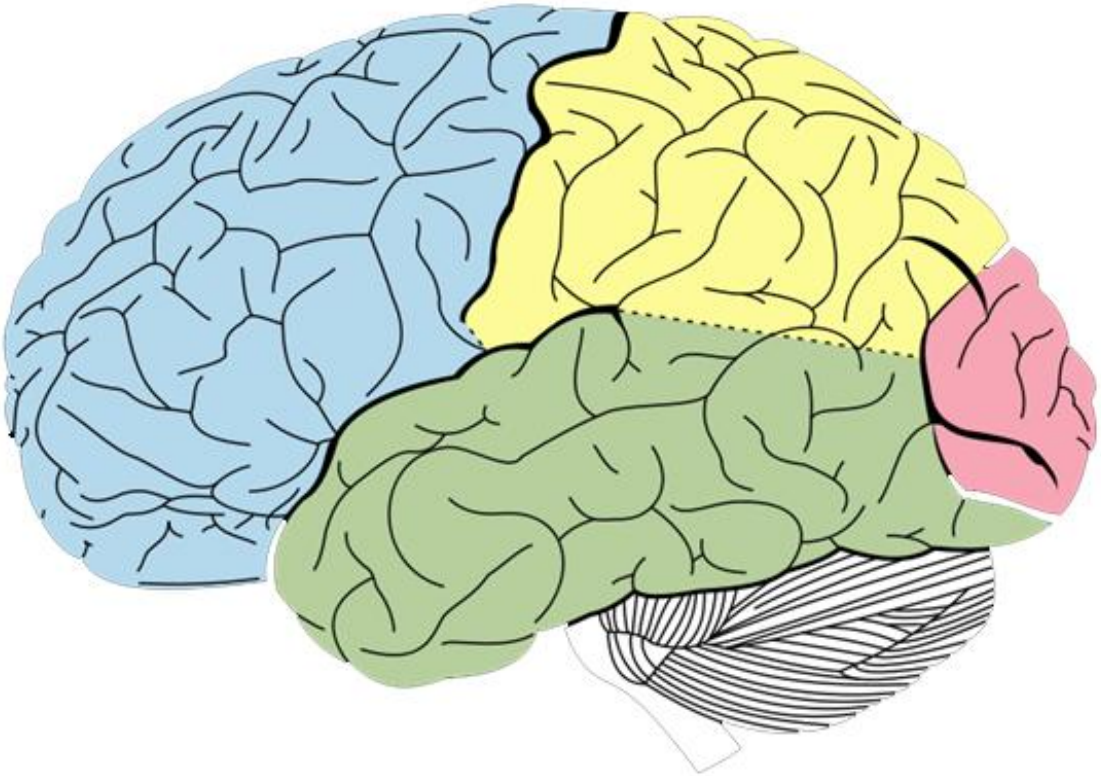
Neurocomputação



Fabricio Breve - fbreve@gmail.com

Introdução

- Questões que desafiam a ciência:
  - Como o cérebro processa informações?
  - Como ele é organizado?
  - Quais os mecanismos biológicos envolvidos no funcionamento do cérebro?

Introdução

- Tarefas em que o cérebro é especialmente bom:
  - Reconhecimento de padrões
  - Controle motor
  - Percepção
  - Inferência flexível
  - Intuição
  - Adivinhação

Introdução

- Pontos fracos do cérebro:
  - Lentidão
  - Imprecisão
  - Erros de generalização
  - Preconceito
  - Incapacidade de explicar suas próprias ações

Introdução

- Neurocomputação
  - Do inglês:
    - *Neurocomputing*
    - *Nuerocomputation*
  - Frequentemente chamado:
    - Redes Neurais Artificiais (RNA)
      - Do inglês *Artificial Neural Networks* (ANN)

Neurocomputação

- Definição:
  - "Sistema de processamento de informação projeto com inspiração tomada do sistema nervoso, ou mais especificamente, do cérebro, e com particular ênfase na solução de problemas" [Castro, 2006]
  - "Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso." [Haykin, 2001]

Neurocomputação

- Neurociência Computacional
  - Concentra-se no desenvolvimento de modelos computacionais baseados no sistema nervoso biológico
- Redes Neurais Artificiais
  - Inspiração mais vaga no sistema nervoso e ênfase na capacidade de resolver problemas do sistema desenvolvido
    - Porém idéias de RNA são usadas na proposta de modelos mais biologicamente plausíveis na neurociência computacional.

Neurocomputação

- Neurônios
  - Acredita-se ser a unidade básica de computação no cérebro
    - Seu modelo abstrato simplificado é a base das redes neurais artificiais
  - Conectados uns aos outros por pequenas junções chamadas *sinapses*
    - Acredita-se que é a base para a maioria das tarefas cognitivas
      - Ex.: percepção, pensamento, inferência

O SISTEMA NERVOSO

Introdução

- Organismos mais complexos têm vários sistemas funcionamento simultaneamente
- Para que organismo sobreviva
  - É necessário integração e controle destas múltiplas atividades
    - Sistema endócrino
    - Sistema nervoso
  - Integração e controle ocorrem pelo envio de mensagens

Introdução

- Sistema endócrino
  - Envia mensagens de natureza química
  - Mensagens são distribuídas pelo corpo através da corrente sanguínea (hormônios)
  - Hormônios
    - Pequena quantidade pode agir em várias células alvo
    - Uma vez secretados, permanecem atuando por um período de tempo
    - Existe um período de latência entre a produção do hormônio e execução da ação determinada
      - Produção, liberação e ação pode durar minutos

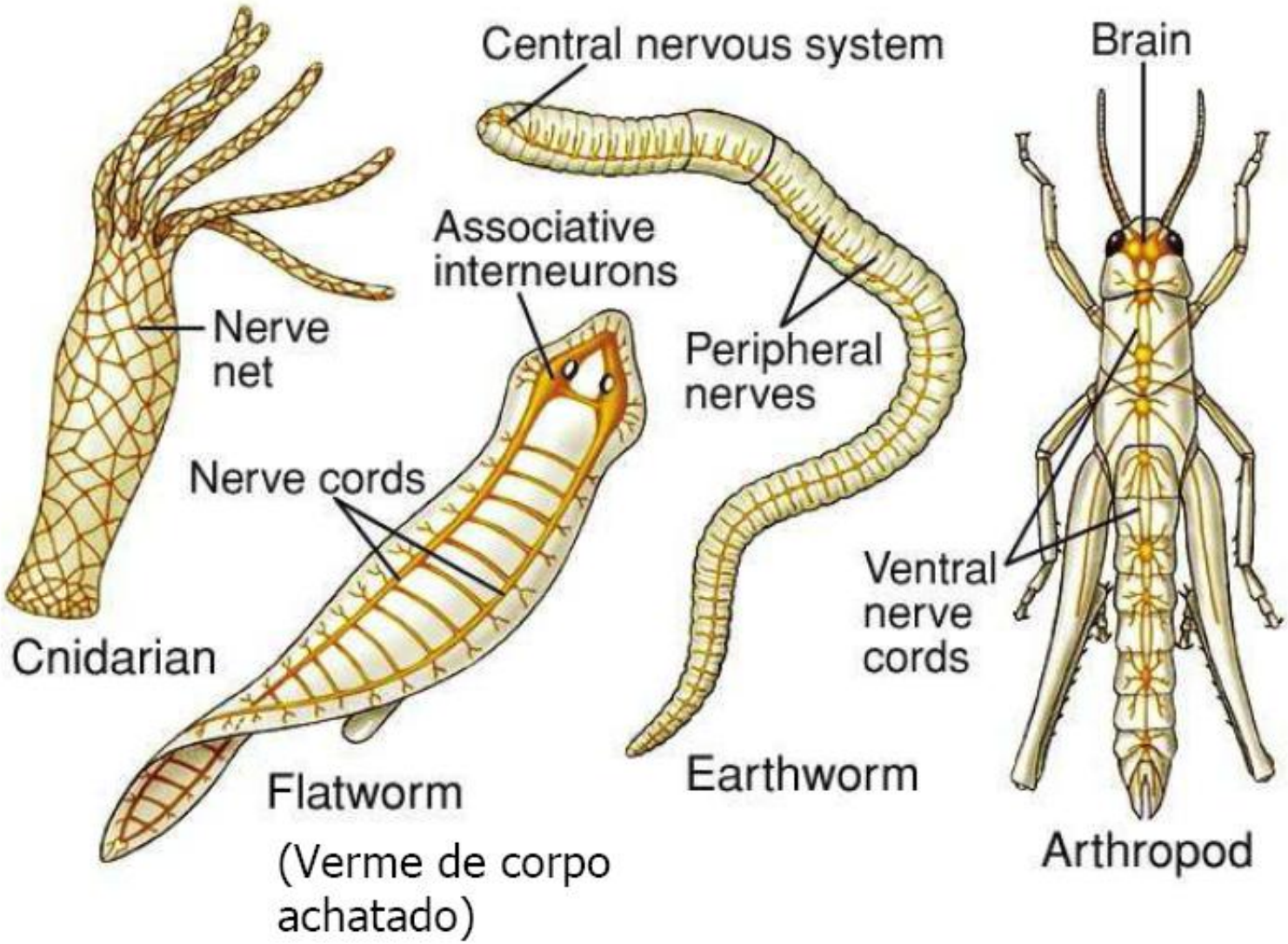
Introdução

- Sistema nervoso
  - Envia mensagens de natureza eletro-química
  - Mensagens são distribuídas pelo corpo por meio de estímulos nervosos (neurônios)
  - Neurônios
    - Mensagem se propaga com grande velocidade
      - Ação é executada rapidamente
      - Impulso nervoso pode percorrer todo o corpo em centésimos de segundos
    - Consumo elevado de energia
    - Finalizado o estímulo, termina a ação

Introdução

- Sistema nervoso
  - Conjunto complexo de células
  - Determina funcionamento e comportamento dos seres vivos
  - Unidade fundamental: célula nervosa (neurônio)
    - Distingue-se das outras células por apresentar excitabilidade
      - Possibilita transmissão de impulsos nervosos a outros neurônios e a células musculares e granulares
  - Presente em todos os vertebrados e na maioria dos invertebrados

Evolução


Central nervous system
Brain
Associative interneurons
Nerve net
Peripheral nerves
Nerve cords
Ventral nerve cords
Cnidarian
Flatworm
(Verme de corpo achatado)
Earthworm
Arthropod

Cnidarian (água viva)

Sistema Nervoso

- Responsável por passar ao organismo informações sobre o ambiente em que vive e se movimenta
  - Através dos sensores de entrada
  - Relaciona as informações com experiências passadas, e transforma-as em memórias ou ações apropriadas
- Formado pela interconexão de muitos neurônios
  - Cada neurônio no cérebro humano tem da ordem de centenas a milhares de conexões

Sistema Nervoso

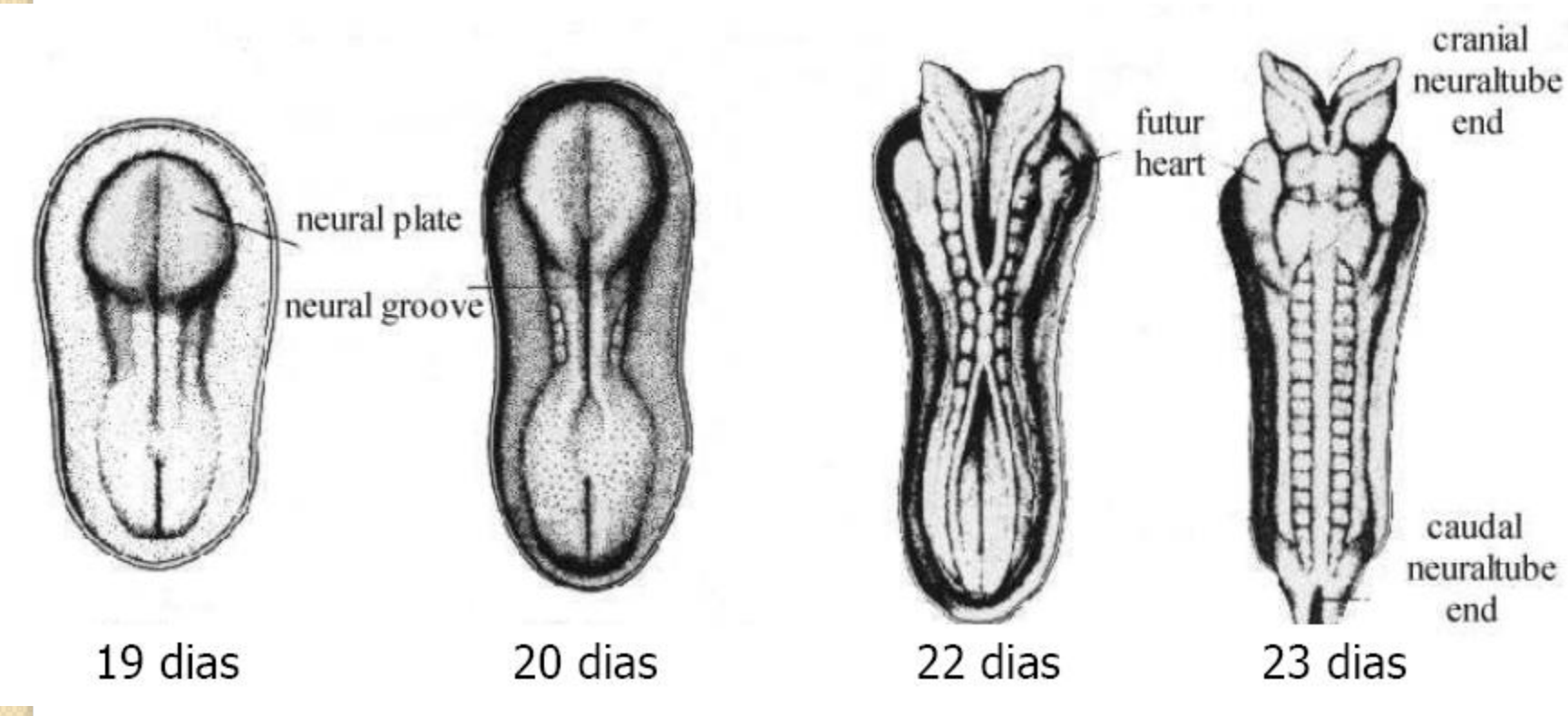
- Sistema nervoso divide-se em
  - Sistema nervoso periférico (SNP)
  - Sistema nervoso central (SNC)
- Sistema nervoso periférico (SNP)
  - Conecta o SNC a outras partes do corpo
  - Formado por:
    - Neurônios aferentes ou sensitivos transmitem ao SNC sinais vindos da periferia do corpo
    - Neurônios eferentes ou motores transmitem aos órgãos ordens dadas pelo SNC

Sistema Nervoso

- Sistema nervoso central (SNC)
  - Constituído por:
    - Medula espinhal
      - Neurônios de associação (interneurônios)
    - Encéfalo (massa de tecido nervoso contida na caixa craniana)
  - Forma-se nas primeiras fases da vida embrionária a partir de um tubo oco (tubo neural)
  - Durante desenvolvimento do feto, transforma-se em um conjunto de cinco vesículas

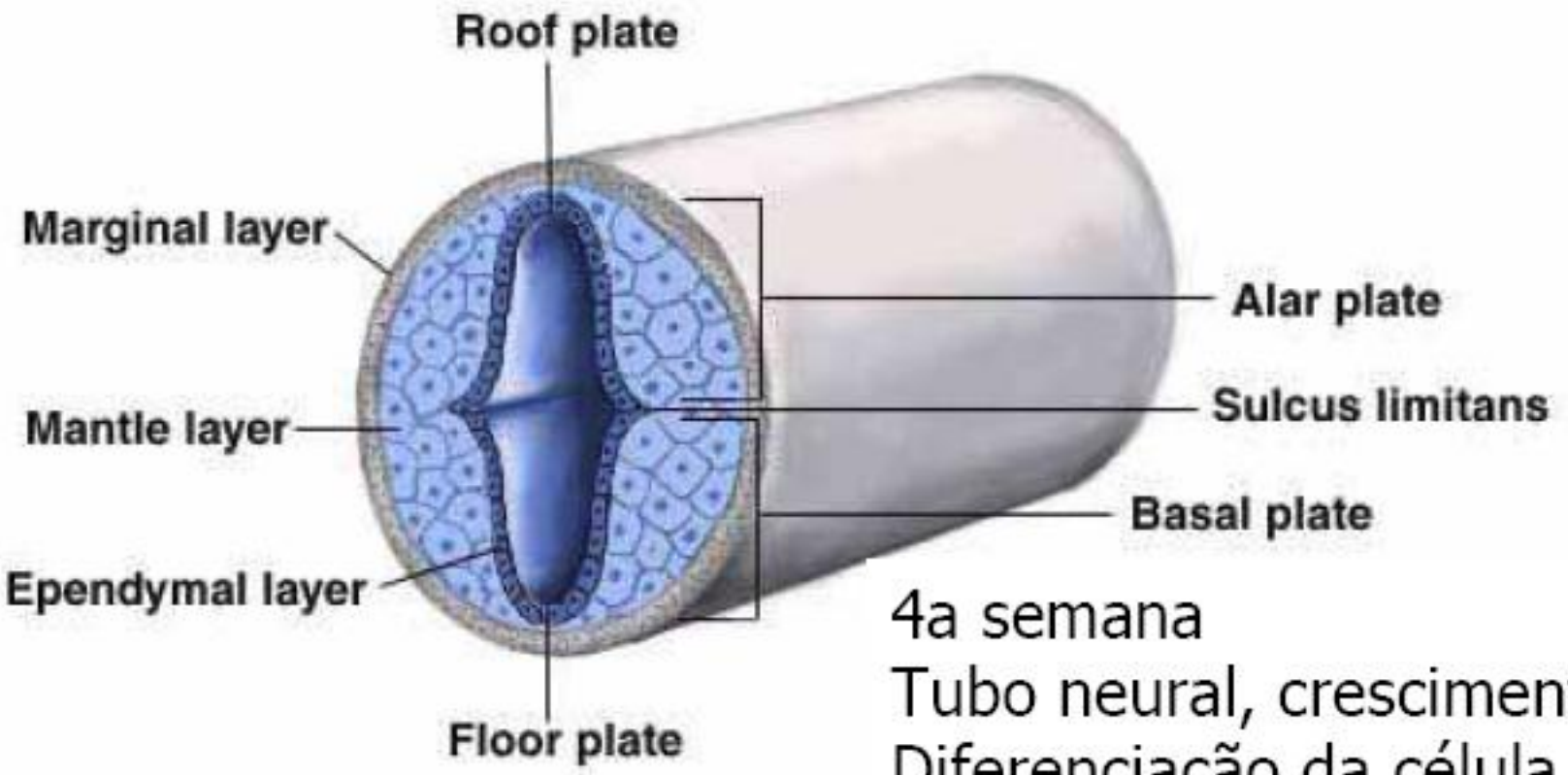
Sistema Nervoso

- Tubo neural



Sistema Nervoso

- Tubo Neural



4a semana
Tubo neural, crescimento e
Diferenciação da célula

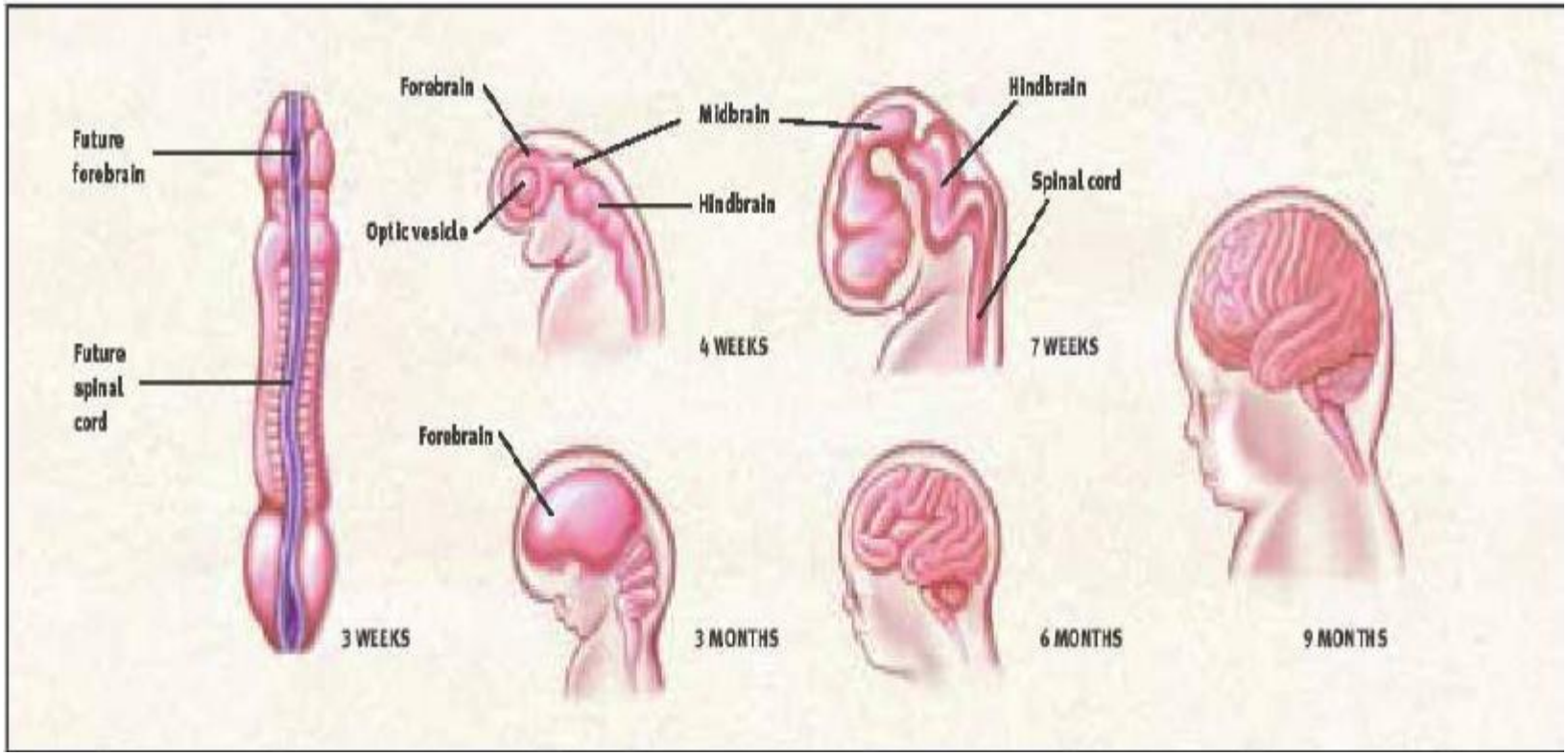
Sistema Nervoso

- Processo de desenvolvimento
  - Neurônios são inicialmente produzidos ao longo do canal central do tubo neural
  - Esses neurônios migram do local de nascimento até o destino final no cérebro
  - Neurônios se juntam para formar cada uma das estruturas do cérebro
    - E adquirir caminhos específicos para transmitir mensagens nervosas
  - Seus axônios se expandem por longas distâncias
    - Para encontrar e se conectar com os parceiros adequados
    - Formando circuitos específicos e elaborados

Sistema Nervoso

- Processo de Desenvolvimento
  - Ação de refinamento elimina conexões impróprias ou redundantes
    - Mantendo a especificidade dos circuitos
  - Resultado: rede adulta precisamente elaborada composta por 100 bilhões de neurônios capazes de:
    - Mover o corpo
    - Percepção
    - Emoção
    - Cognição

Sistema Nervoso



Sistema Nervoso

- Um dos principais temas de pesquisa atuais é a (neuro)plasticidade do sistema nervoso
  - Plasticidade é capacidade do sistema nervoso em se adaptar sua estrutura como resultado de:
    - Amadurecimento
      - Mudanças físicas no cérebro que parecem corresponder a aprendizado e memória
    - Lesões
      - Quando ocorre uma lesão no cérebro, células nervosas assumem as tarefas daquelas que foram destruídas
  - Adaptação ocorre no sentido anatômico e funcional

Sistema Nervoso

- Existem duas formas de plasticidade
  - Uma no qual todos os neurônios já foram criados
    - Mudanças ocorrem apenas no número e no tipo das conexões
  - Outra está relacionado à neurogênesis adulta
    - Neurogênesis = geração de novas células nervosas

Plasticidade

- Neurogênesis no sistema nervoso dos mamíferos
  - Final do século XIX
    - Cientistas concordavam que o cérebro adulto permanecia estruturalmente constante
      - Arquitetura do cérebro continuava aparentemente a mesma
      - Não havia evidência de mitose ou desenvolvimento de células
  - Primeira metade do século XX
    - Apareceram evidências de que nova células eram criadas logo após o nascimento

Plasticidade

- Até recentemente acreditava-se que estava restrita aos períodos:
  - Embrionário
  - Início do pós-natal
- Após ter sua estrutura completa, o cérebro não gerava novos neurônios
- Atualmente, já se sabe que novos neurônios são gerados continuamente nos mamíferos adultos

Plasticidade

- Início dos anos 1960
  - Joseph Altman, do MIT, relatou a existência de novos neurônios
    - Em várias estruturas de ratos jovens e adultos
    - Microneurônios
      - Neurônios granulares com axônio pequeno
    - Encontrados no neocórtex, bulbo olfativo, etc.
    - Foram considerados de grande importância no aprendizado e na memória

Plasticidade

- Trabalho de Altman não foi bem aceito
  - Fazia apenas pós-doutorado no departamento de psicologia do MIT
  - Trabalhava por conta própria
  - Seus resultados desafiaram um conceito universalmente aceito na neurociência

Plasticidade

- Estudos recentes:
  - Elizabeth Gould, da Universidade de Princeton
    - Relatou ter encontrado novos neurônios no córtex cerebral
    - Propôs que as memórias de um dado dia seriam registradas nos neurônios gerados naquele dia

Plasticidade

- Estudos recentes:
  - Jonas Frisen, do Instituto Karolinska, na Suécia
    - Estudou a idade das células (incluindo neurônios)
    - Até 2005, havia testado apenas células do córtex visual
      - Células desta região têm exatamente a mesma idade que o indivíduo
        - Não são gerados novos neurônios nesta região após o nascimento (não em número significativo)

Plasticidade

- As células do cerebelo são geralmente mais jovens que as do córtex
  - O que se encaixa na idéia de que o cerebelo continua se desenvolvendo após o nascimento

Sistema Nervoso

- Estrutura massivamente paralela (e conectada)
- Apresenta processamento hierárquico
  - Por causa da sofisticação da informação representada
  - Não significa que exista um fluxo de informação até o topo, sem envio de sinais para a base
    - Cerca de 45% das conexões do cérebro são conexões de feedback

Sistema Nervoso

- Retro-alimentação
  - Existe um retro-alimentação entre os sistemas sensorial e motor
    - Ao nos movemos, ajustamos nosso movimento de acordo com nossas sensações
  - Também existe uma retro-alimentação dentro de cada sistema
    - Sensações são ajustadas por retro-alimentação do cortex

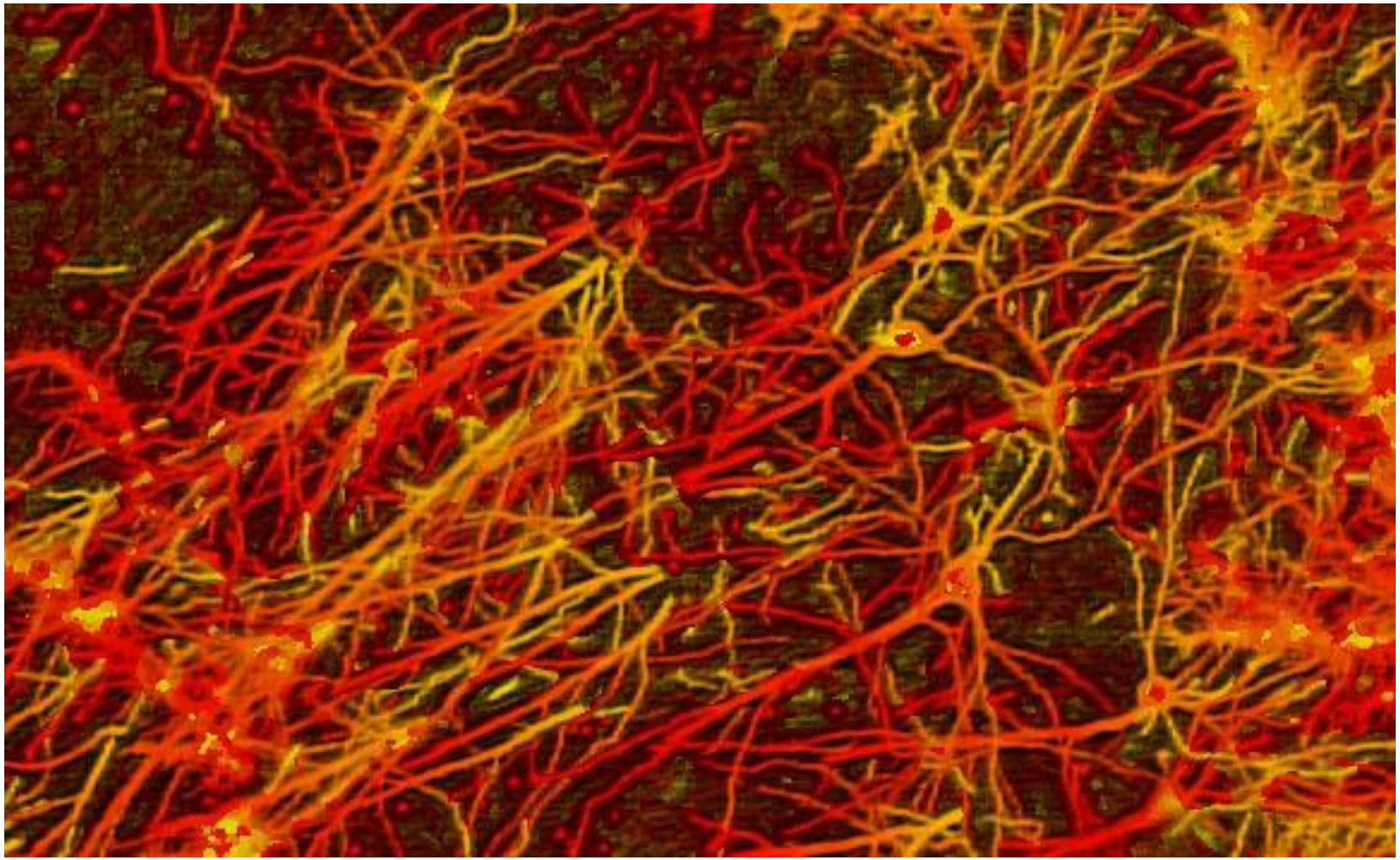
Sistema Nervoso

- Conexões top-down lidam com informações internas
  - O que sabemos e o que esperamos
- Conexões bottom-up lidam com informações externas
  - Informação que está sendo recebida do ambiente
    - E que deve ser interpretada pelo cérebro

Sistema Nervoso

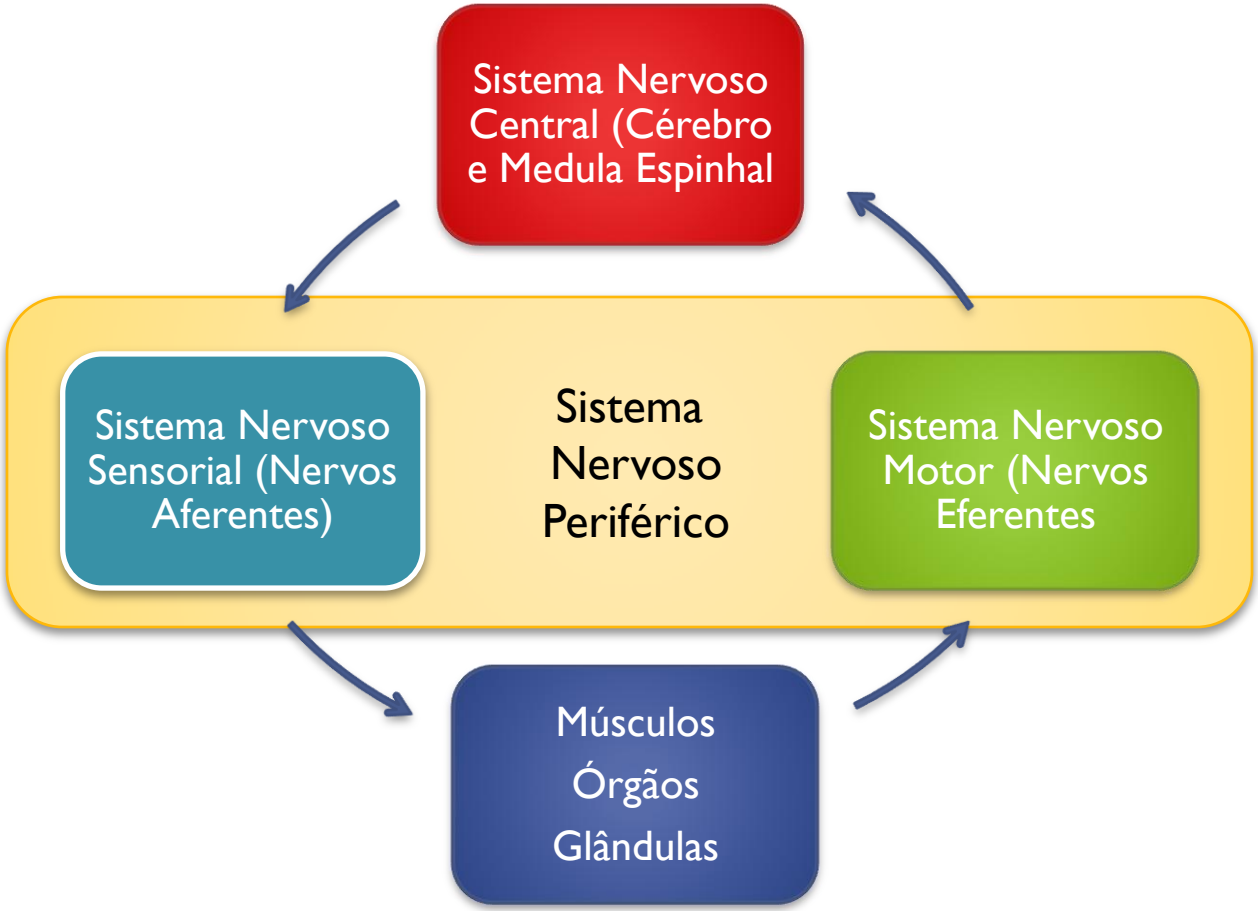
- Existência de um grande número de conexões de feedback sugere que:
  - Informação recebida pelo cérebro é alterada pelo processamento top-down desde o início
  - Deve haver uma razão para estas conexões
    - Possível razão:
      - Para que a percepção (informação recebida) seja influenciada pelo que sabe e se espera que aconteça em seguida

Sistema Nervoso



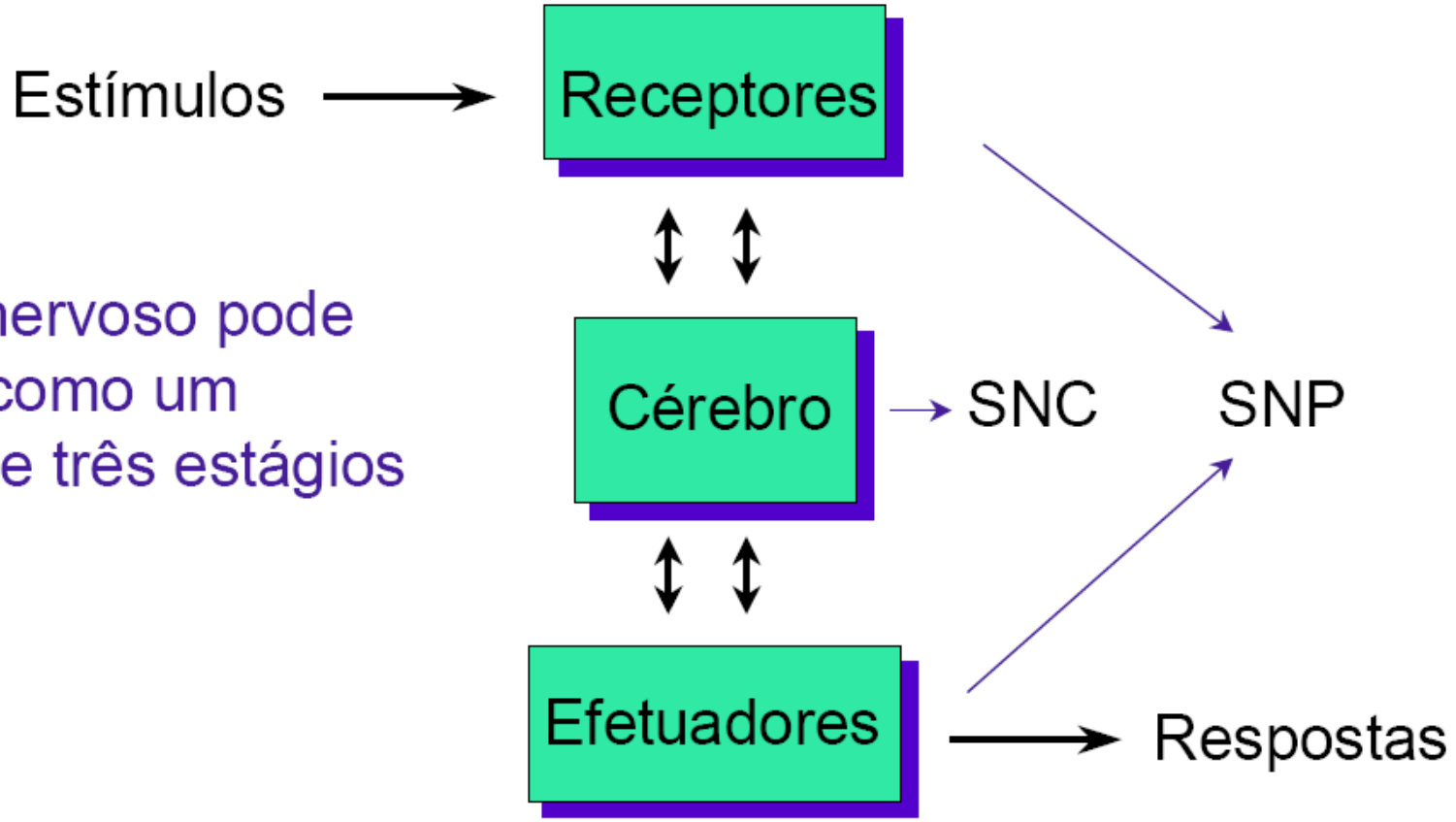
Sistema Nervoso

Organização do SN de vertebrados



Sistema Nervoso

Sistema nervoso pode ser visto como um sistema de três estágios



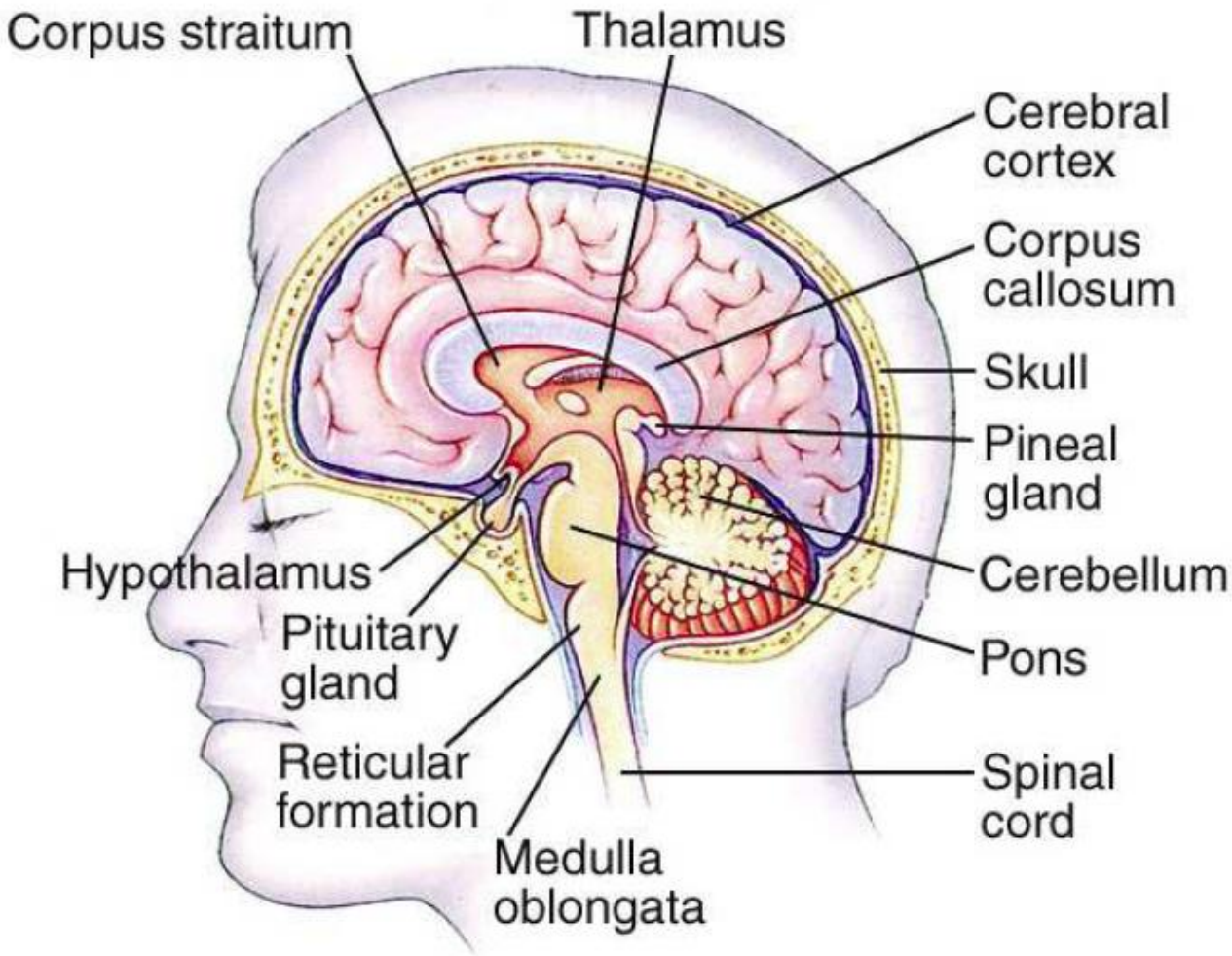
Cérebro

- Funciona de forma inteiramente diferente dos computadores convencionais
  - Nos anos 1980, neurônios eram de 100 mil a 1 milhão de vezes mais lentos que portas lógicas de silício
  - Lentidão compensada por grande número de neurônios maciçamente conectados
  - Para certas operações, muito mais rápido que computadores convencionais
    - Visão, audição, controle e previsão

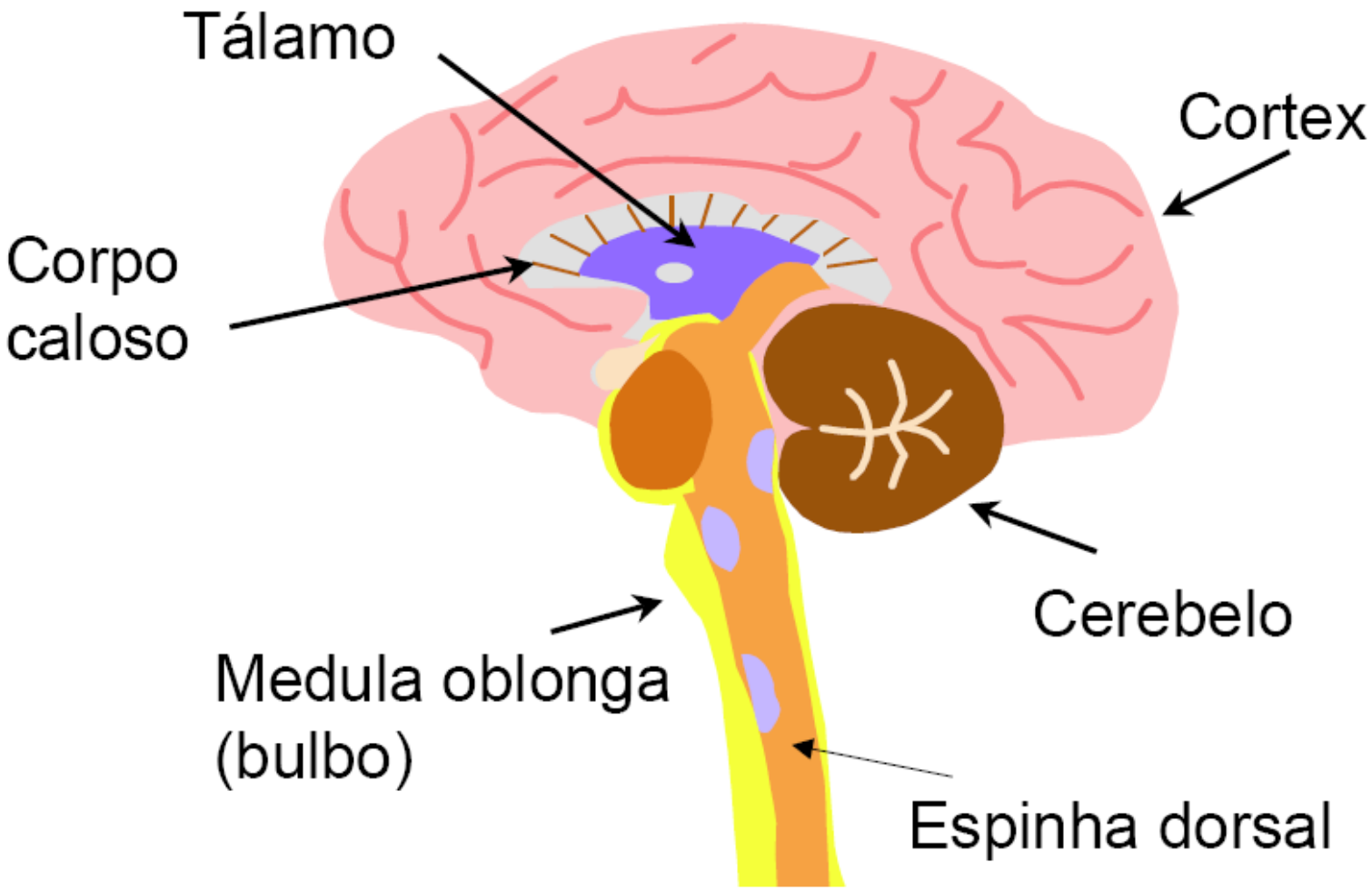
Cérebro

- Com sua estrutura, cérebro tem capacidade de construir suas próprias regras através da experiência
  - Cérebro humano
    - Um milhão de sinapses por segundo são desenvolvidas nos dois primeiros anos de vida
- Cérebro é composto por várias regiões especializadas

Cérebro


Corpus straitum
Thalamus
Cerebral cortex
Corpus callosum
Skull
Pineal gland
Cerebellum
Pons
Spinal cord
Hypothalamus
Pituitary gland
Reticular formation
Medulla oblongata

Cérebro


Tálamo
Cortex
Corpo caloso
Cerebelo
Medula oblonga (bulbo)
Espinha dorsal

Cérebro

- Tálamo
  - O centro de transmissão de vias sensoriais mais importante
  - Integra todas as entradas sensoriais (exceto olfato) antes de serem apresentados ao cortex
- Medula oblonga (bulbo)
  - Onde maioria dos nervos cranianos entra e sai do encéfalo
    - Também responsável por funções como respiração, batimento cardiáco, pressão arterial, visão e audição

Cérebro

- Córtex
  - Principal área de processamento
    - Áreas motoras: produzem respostas motoras quando estimuladas eletricamente
    - Áreas sensitivas: Quando estimuladas, provocam efeitos sensoriais
      - Visão, paladar, tato, olfato e audição
    - Também responsável por:
      - Pensamento
      - Movimentos voluntários
      - Linguagem
      - Raciocínio
      - Percepção

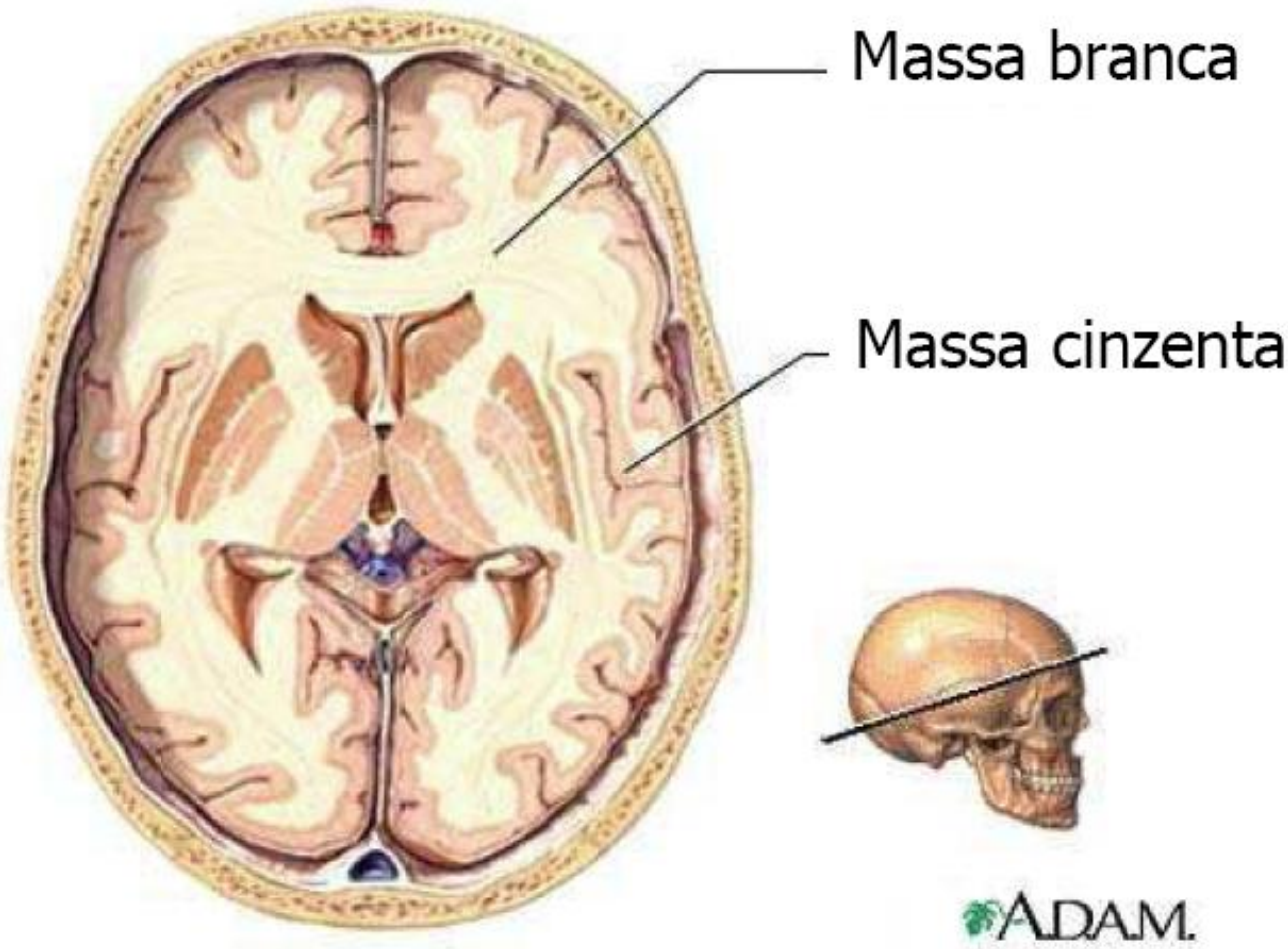
Cérebro

- Hipotálamo
  - Logo abaixo do Tálamo
  - Responsável por integrar padrões de comportamento básicos
    - Correlação Neural
    - Funções Endócrinas
  - Associado a emoções

Cérebro

- Cerebelo
  - Coordenação de atividades motoras e manutenção da postura
    - Dados vêm de duas fontes principais
      - Área auditiva do bulbo
      - Sistema de receptores existentes nos músculos e tendões
- Corpo caloso
  - permite a união dos recursos de memória e aprendizado dos dois hemisférios

Cérebro Humano



Cérebro Humano

- Massa cinzenta
  - Centros de processamento de informação
  - Maior volume em autistas
    - Principalmente no hemisfério esquerdo
  - Define QI
- Massa branca
  - Conexões entre os centros
  - Transmissão de informação
  - Comunicação entre a massa cinzenta e resto do corpo

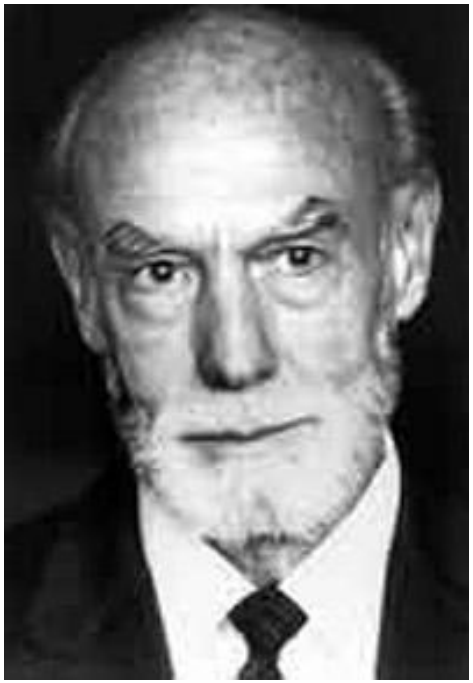
Cérebro Humano

- Pesquisa feita na Universidade do sudeste da Califórnia com 49 pessoas
  - Pacientes mentirosos patológicos tinham 22% a 26% a mais de massa branca no cérebro
    - Quantidades de matéria branca e cinzenta no córtex pré-frontal do cérebro
    - Determinadas por ressonância magnética
  - Conclusão: mais massa branca no córtex pré-frontal estimula a mentira

Córtex

- Dividido em dois hemisférios
  - Simétricos
  - Maioria das funções do lado direito do corpo são controladas pelo lado esquerdo e vice-versa

Córtex

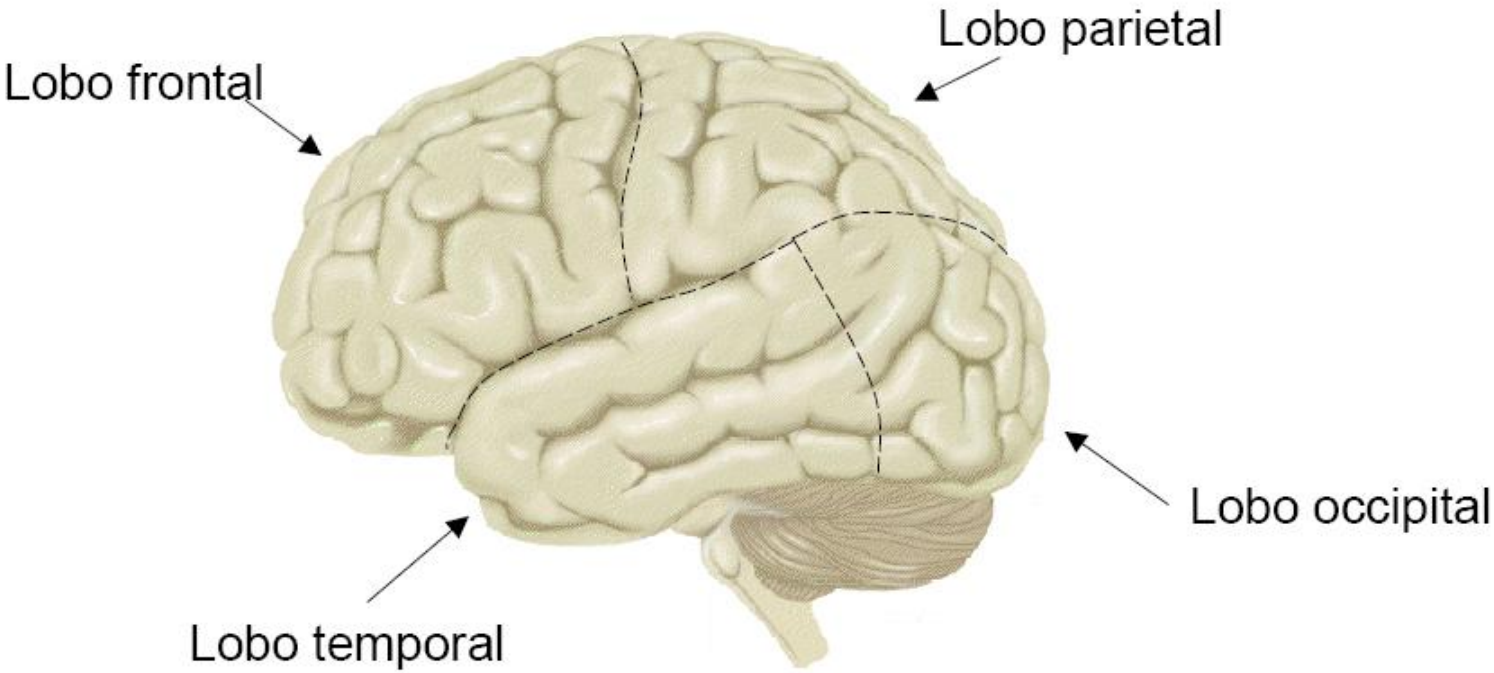


- Teoria de Sperry
  - Hemisfério esquerdo
    - Busca ordem, organização
    - Lógico, racional
    - Percepção visual, raciocínio espacial
  - Hemisfério direito
    - Percebe padrões, enfatiza intuição
    - Emoção
    - Linguagem
  - Prêmio Nobel em 1981

Córtex

- Dividido em quatro lobos:
  - Frontal
  - Parietal
  - Occipital
  - Temporal

Córtex



Córtex

- Lobo occipital
  - Recebe e analisa informação visual
- Lobo temporal
  - Relacionado à audição

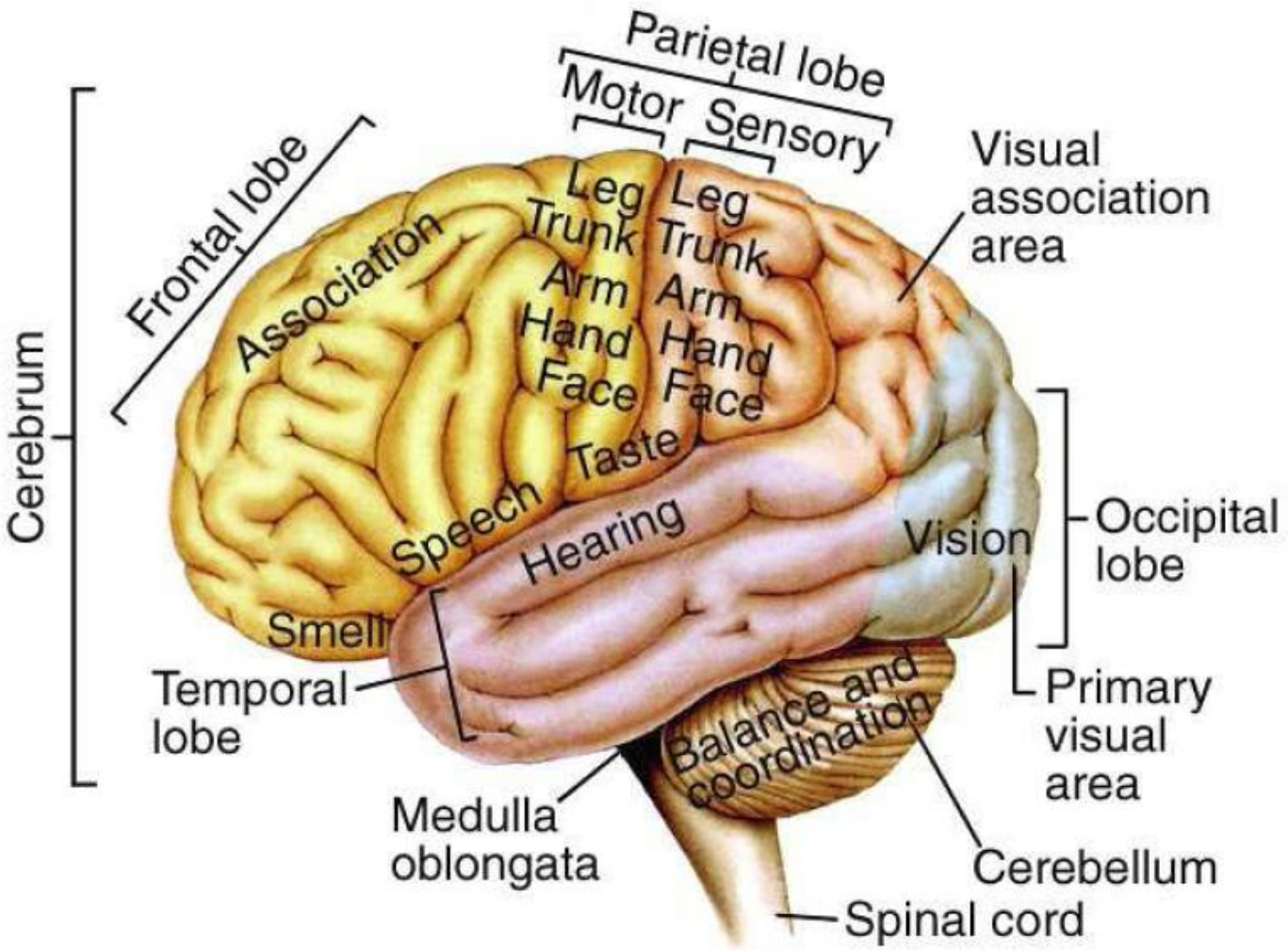
Córtex

- Lobo frontal
  - Regula controle motor
    - Incluindo movimentos envolvidos na fala
  - Porta de entrada para estímulos sensoriais
- Lobo parietal
  - Recebe estímulo dos órgãos sensoriais da pele
  - Informa a postura

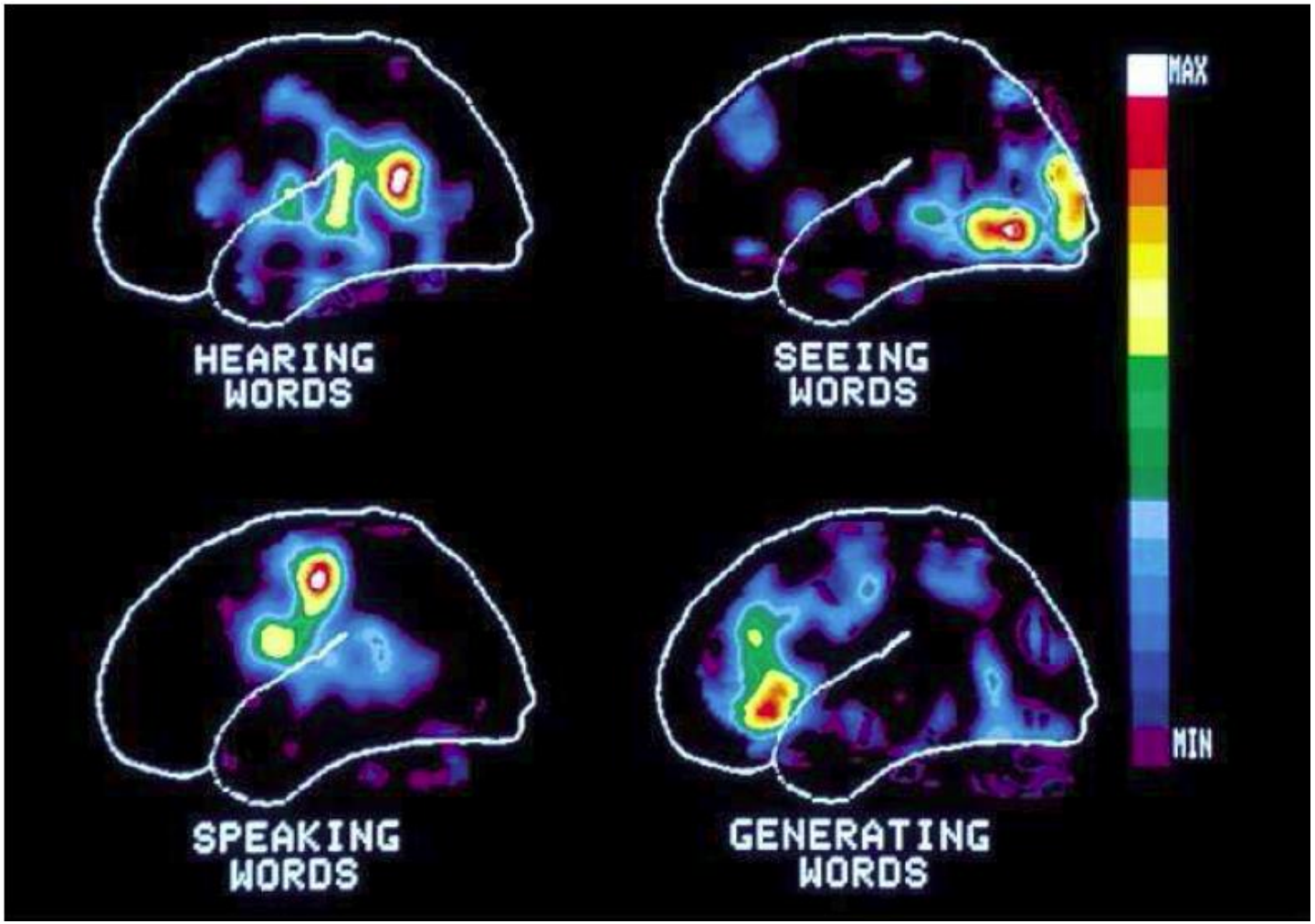
Cérebro Humano

- Funções particulares podem ser atribuídas a determinadas regiões do cérebro
  - Coleção de centros de processamento para tarefas específicas
    - Conectados por vias (feixes de fibras nervosas - nervos)
    - Neurônios com funções semelhantes são agrupados juntos
    - Neurônios são arranjados de forma hierárquica

Regiões Funcionais do Cérebro Humano



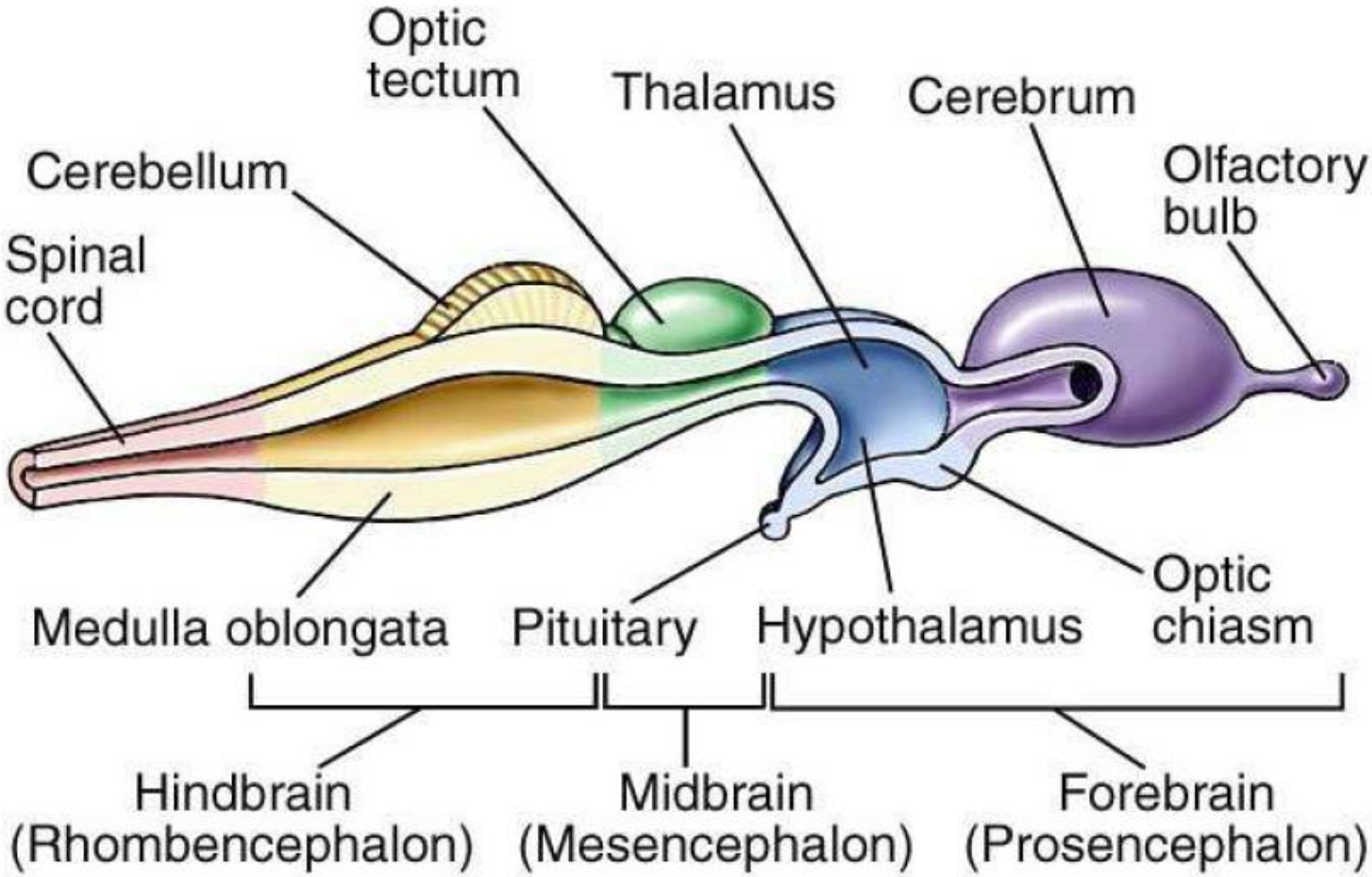
Imagens Tomográficas



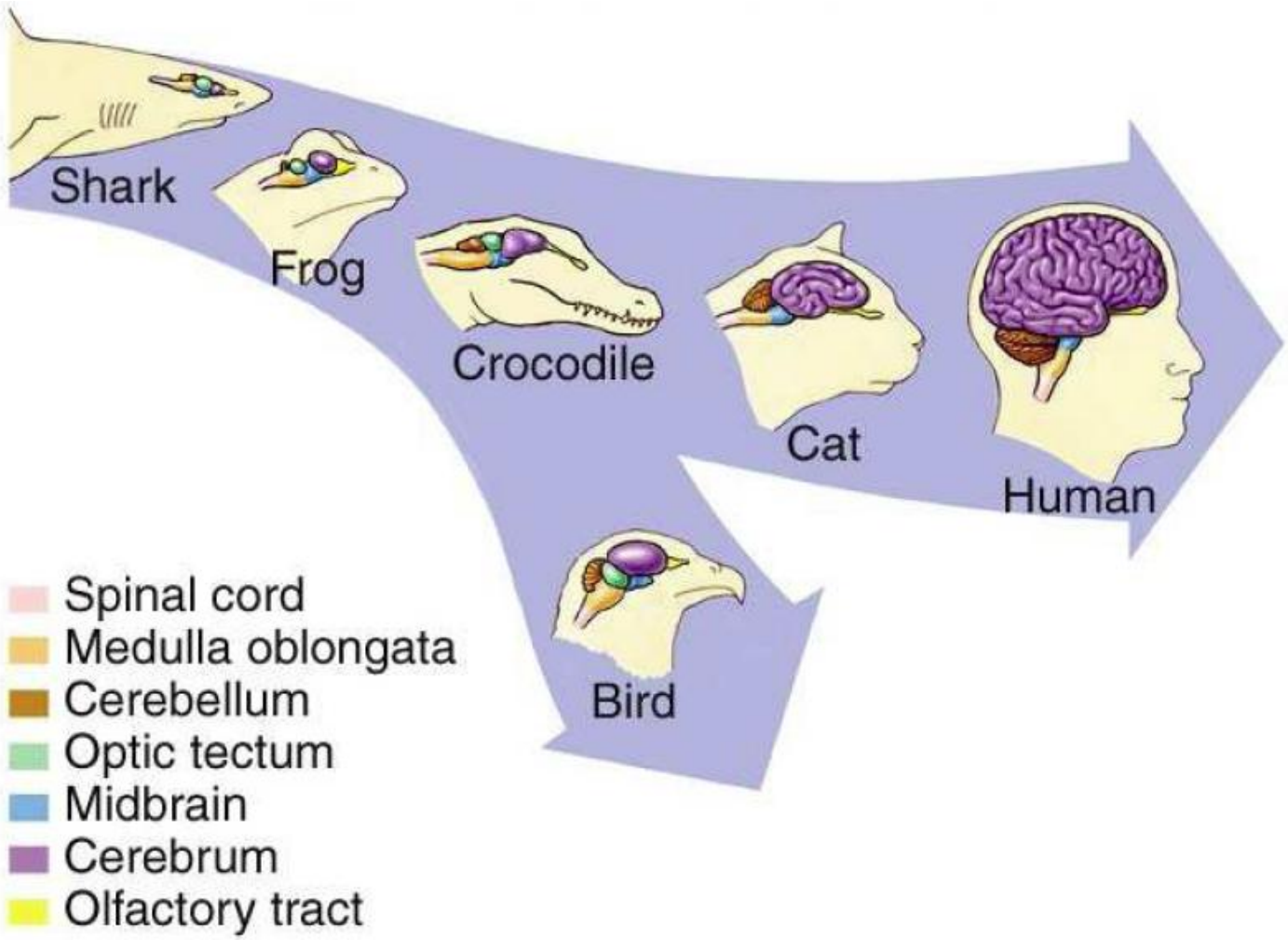
Cérebro Humano

- Principais características
  - Adaptável
  - Tolerante a falhas
    - Plasticidade
    - Redundância
  - 100 bilhões de neurônios, cada um conectado a até 10.000 outros neurônios
    - Estrutura básica dos seres humanos

Cérebro de peixe primitivo



Evolução do Cérebro dos Vertebrados



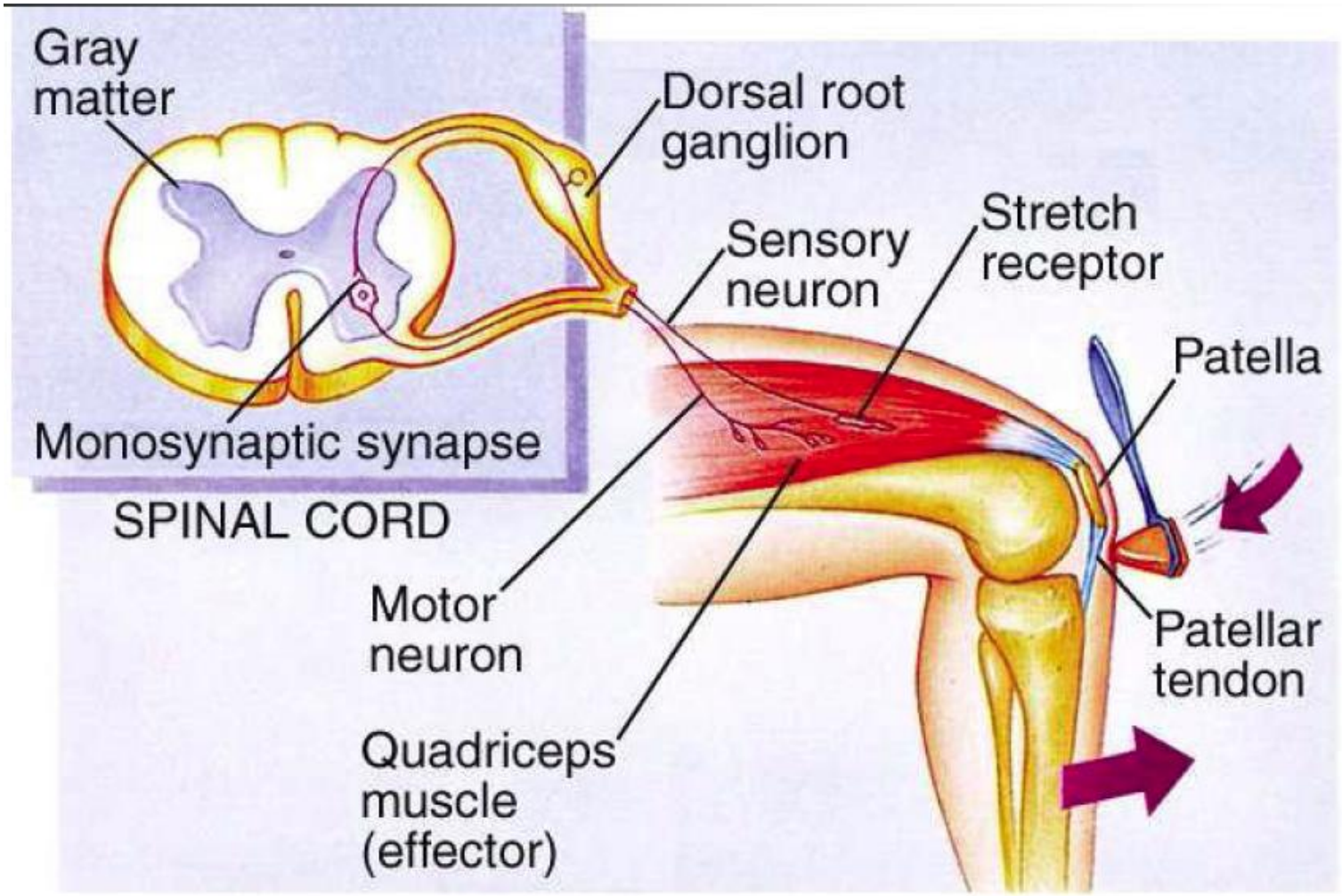
Sistema Nervoso Central

- Envolvido por um sistema de 3 membranas
  - Meninges
- Protegido por estrutura óssea
  - Cérebro: caixa craniana
  - Medula espinhal: coluna vertebral

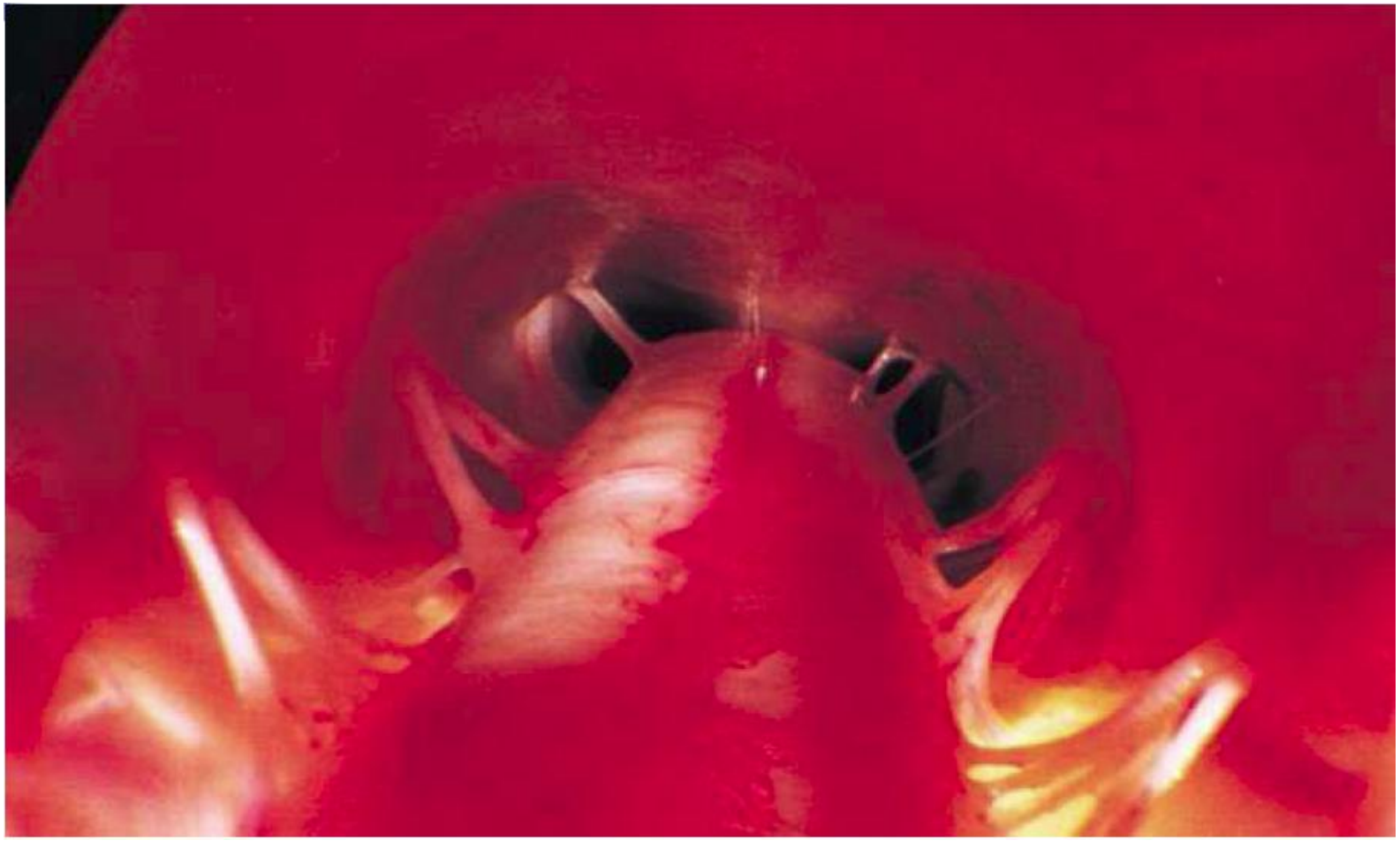
Medula Espinhal

- Via de passagem para
  - Impulsos aferentes dos receptores sensoriais para o encéfalo
  - Impulsos eferentes do encéfalo para os músculos ou glândulas
- Responsável por algumas atividades de reflexo

Reflexo do Joelho



Medula espinhal humana



Medula espinhal

- Fratura da coluna vertebral com lesão da medula espinhal
  - Desconecta dos níveis superiores do SNC às terminações nervosas abaixo da lesão
    - Perda da atividade voluntária e sensibilidade
  - Atividade de reflexo é preservada
    - Depende dos neurônios localizados na medula espinhal

Medula espinhal humana

- Poliomielite (paralisia infantil)
  - Causada por um vírus que destrói determinados grupos de neurônios motores
    - Localizados na medula espinhal
- Perda das atividades voluntária e de reflexo
  - Preserva sensibilidade

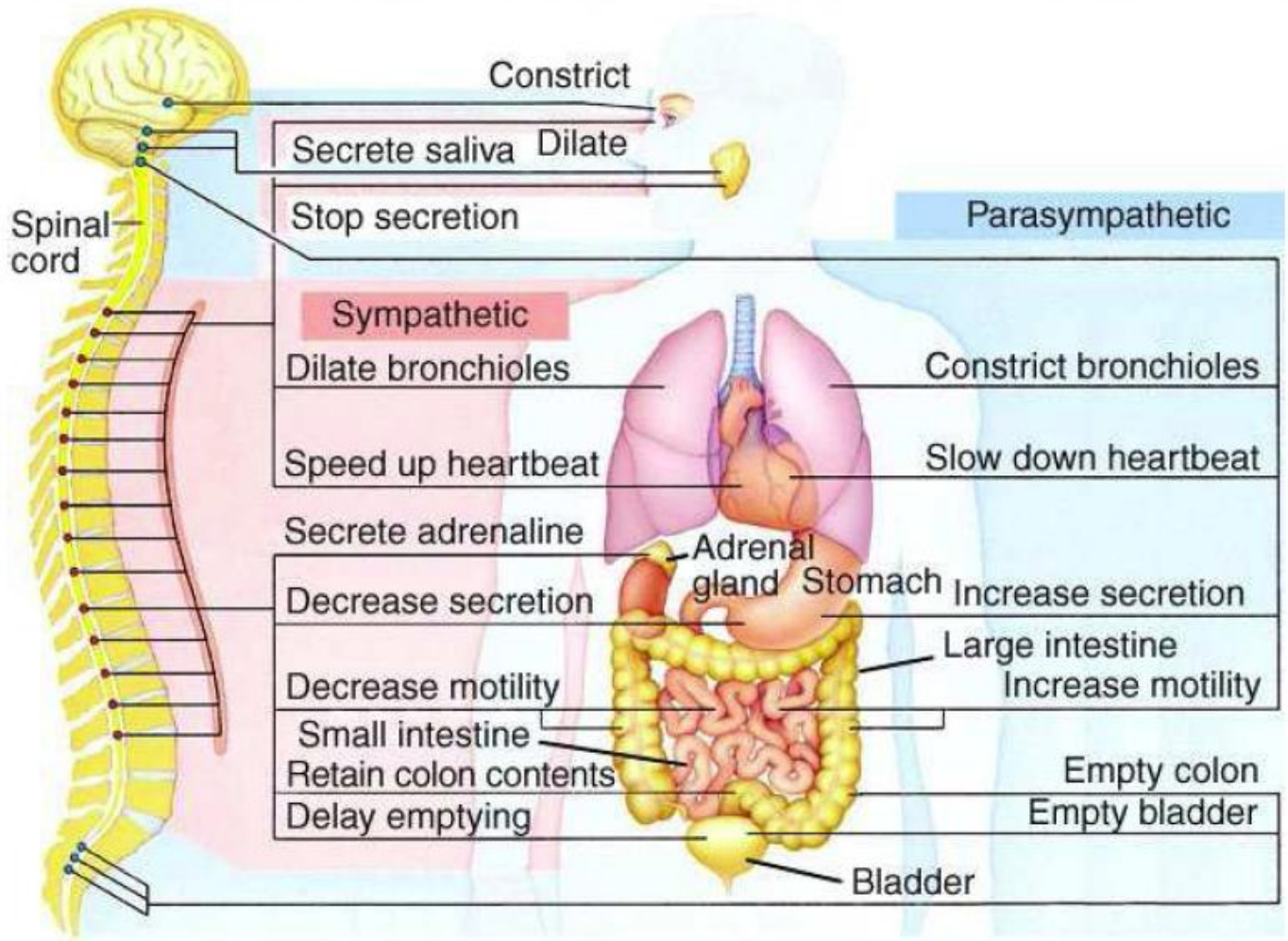
Sistema Nervoso

- Sistema nervoso periférico (SNP)
  - Sistema nervoso somático (voluntário)
    - Controla movimentos musculares voluntários
  - Sistema nervoso autônomo (involuntário)
    - Sistema simpático
    - Sistema parassimpático
    - Antagônicos

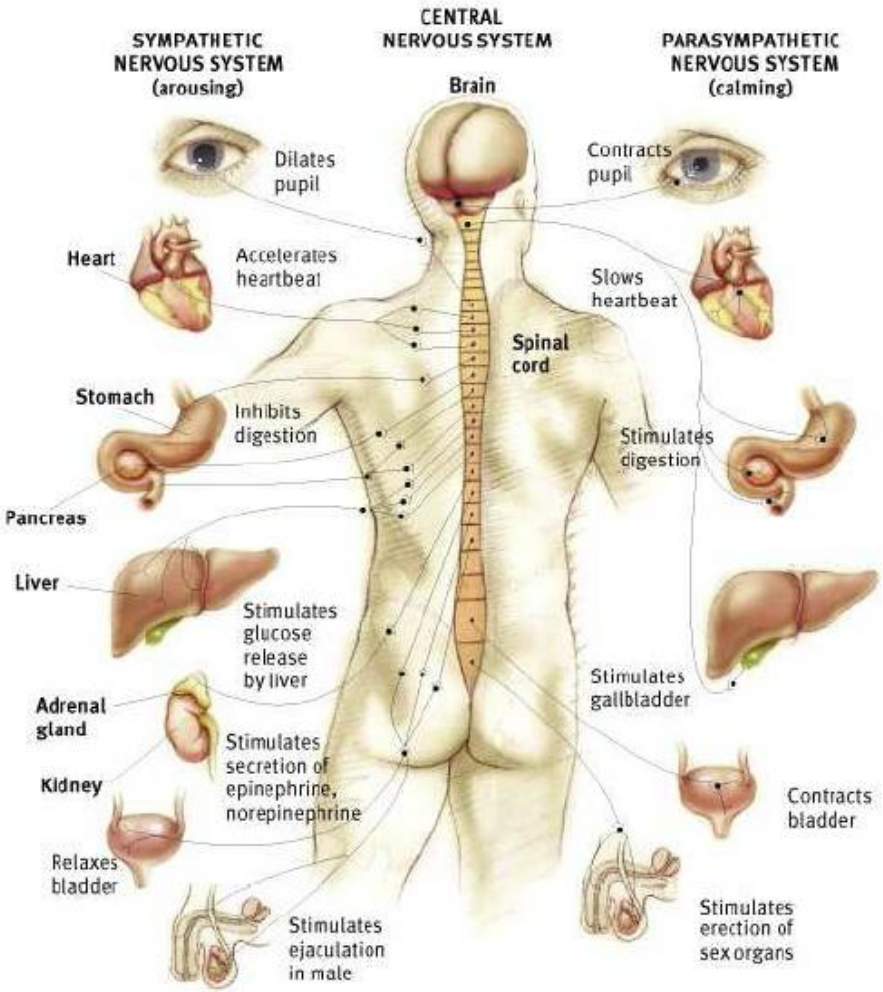
Sistema Nervoso Periférico

- Sistema simpático
  - Ação
    - Lutar, fugir
  - Prepara o corpo para situações de emergência
    - Acelera coração, aumenta pressão sanguínea, aumento de adrenalina
- Sistema parassimpático
  - Conservação
    - manutenção das funções vitais
  - Mantém funções realizadas em períodos de calma
    - Comer, urinar, atividade sexual

SNP Simpático X Parassimpático



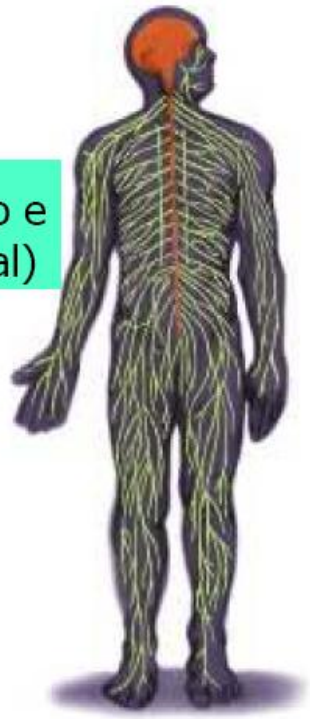
SNP Simpático X Parassimpático



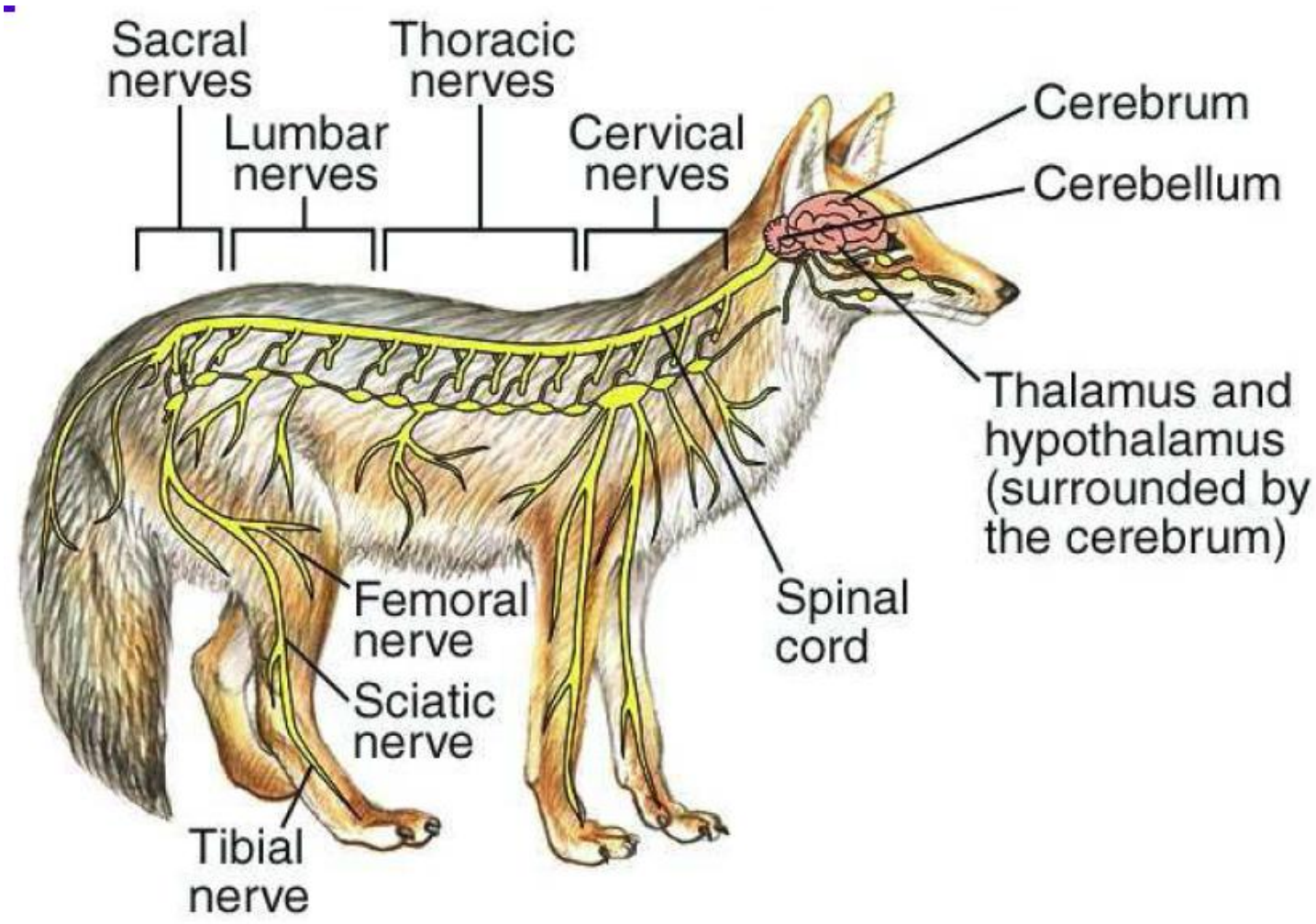
Sistema Nervoso

Sistema nervoso

- Periférico
  - Autônomo (auto regulação de órgãos internos e glândulas)
    - Simpático (ativa)
    - Parassimpático (acalma)
  - Somático (Movimentos Voluntários de músculos)
- Central (cérebro e medula espinhal)



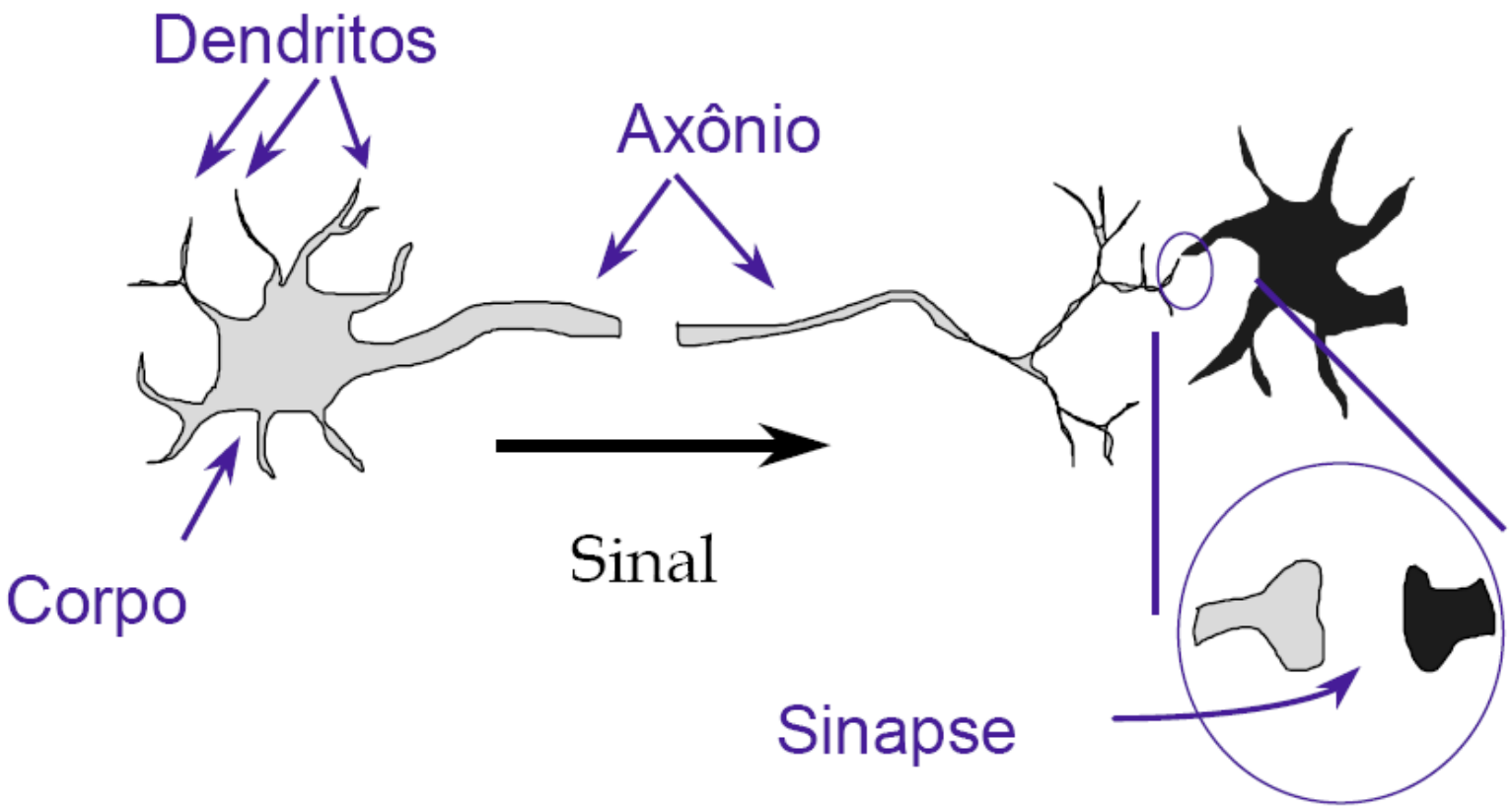
Sistema Nervoso dos Vertebrados



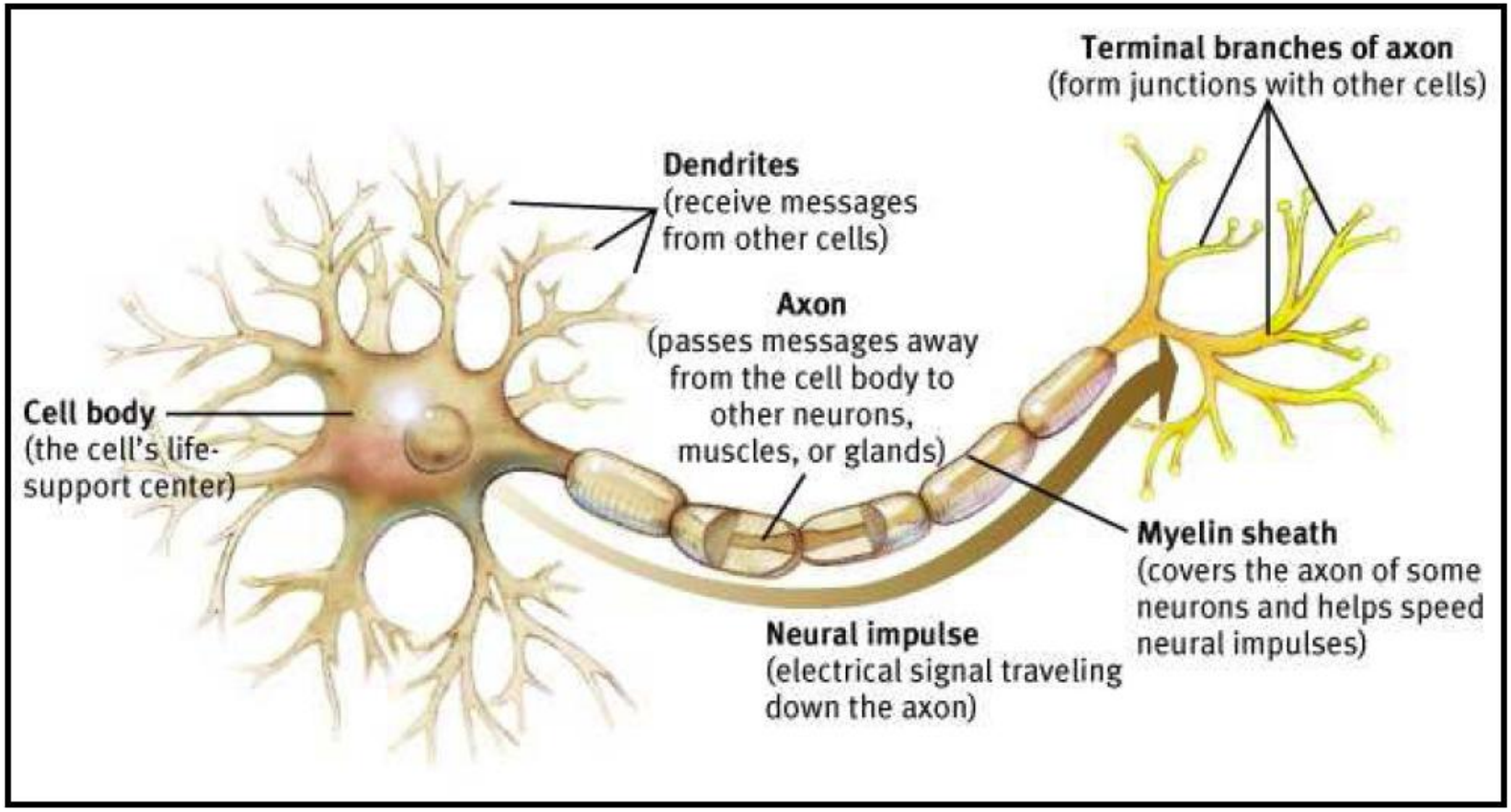
Neurônios (células nervosas)

- Principais componentes
  - Corpo celular
  - Dendritos
    - Recebem informações de outros neurônios
  - Axônio
    - Transmite informação para outros neurônios
    - Feixes de axônios = nervos
  - Neurônios recebem suporte nutricional de células neurogliais

Neurônio Natural

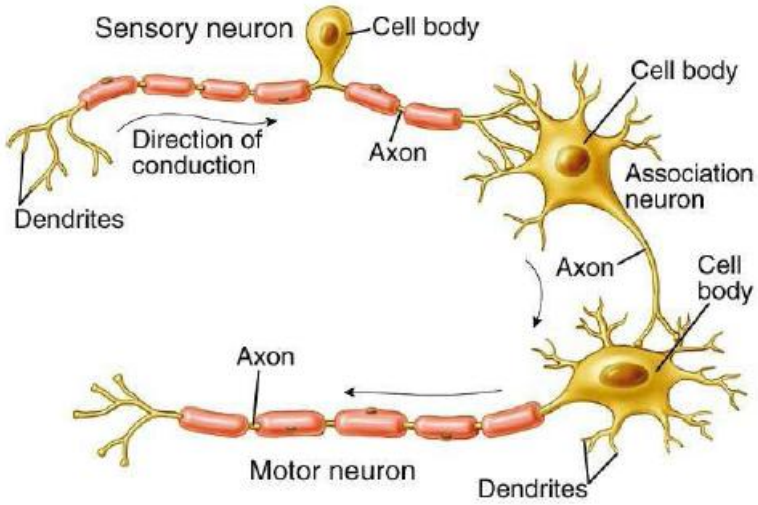


Neurônio Natural



Neurônio Natural

- Existem neurônios com vários formatos e tamanhos diferentes
- Responsáveis pela complexidade do cérebro
- Tipos de neurônios
  - Neurônios sensoriais
  - Neurônios motores
  - Neurônios associativos



Neurônio Natural

- Maior parte do corpo celular se encontra no:
  - Sistema nervoso central
    - Cérebro
    - Medula espinhal
  - Gânglios
    - Aglomerados de corpos celulares de neurônios localizados fora do sistema nervoso central
    - Aparecem como pequenas dilatações em certos nervos
- Prolongamentos se distribuem pelo corpo em feixes (nervos)

Processamento de Informações

- Processo eletro-químico
  - Transmissão de impulsos nervosos dentro do neurônio é um processo de natureza elétrica
    - Sinais viajam através dos axônios em forma de potenciais de ação (potenciais elétricos breves)
  - Transmissão sináptica se faz por um mecanismo de natureza química
    - Por meio da ação de neurotransmissores

Transmissão de Pulsos

- Dentro de um neurônio, as mensagens fluem dos dendritos para o axônio
  - Disparo do axônio depende da soma algébrica (freqüência) de pulsos recebidos
    - Saídas são Pulsos (potenciais de ação ou spikes)
    - Neurônio dispara quando a soma de pulsos recebidos em um dado período supera um valor
      - limiar de ação

Sinapses

- Região onde dois neurônios entram em contato
  - Onde os impulsos nervosos são transmitidos de neurônio para neurônio
- Axônio $\Rightarrow$ dendritos
- Efeito
  - Excitatório: estimulam ação do neurônio
  - Inibitório: efeito contrário

Sinapses

- Cada pulso que ocorre em uma sinapse inicia liberação de neurotransmissores
  - Substâncias químicas
  - Viajam através de fendas de sinapses
  - Recebidos nos locais receptores pós-sinápticos dos dendritos
    - Modificam o potencial da membrana dos dendritos (potencial pos-sináptico, PPS)

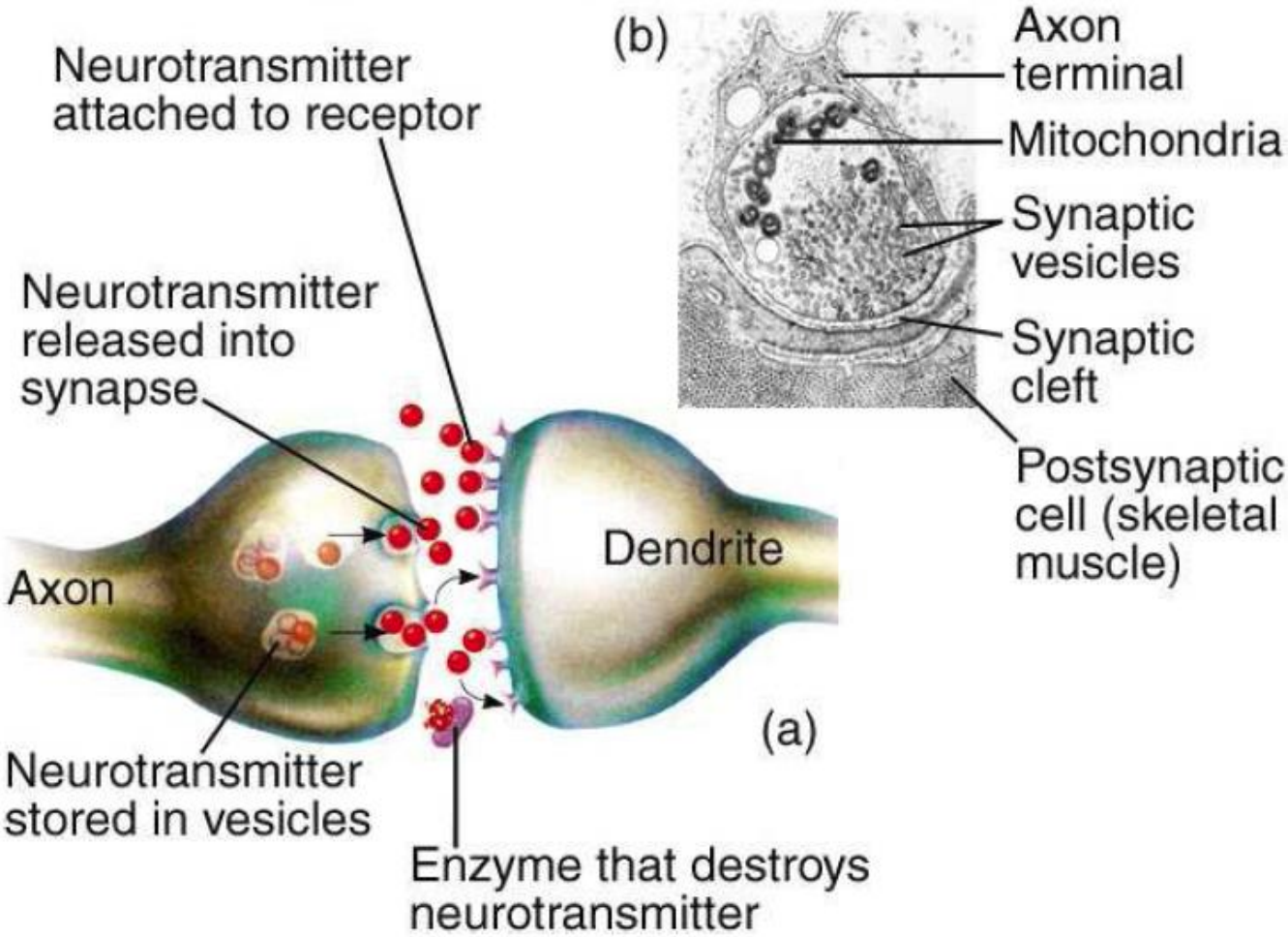
Sinapses

- Potencial pós sináptico
  - Aumenta polarização na membrana pós sináptica (hiperpolariza)
    - Inibe geração de pulsos pelo neurônios receptor
  - Reduz polarização na membrana pós sináptica (despolariza – polarização inversa)
    - Estimula geração de pulsos pelo neurônios receptor

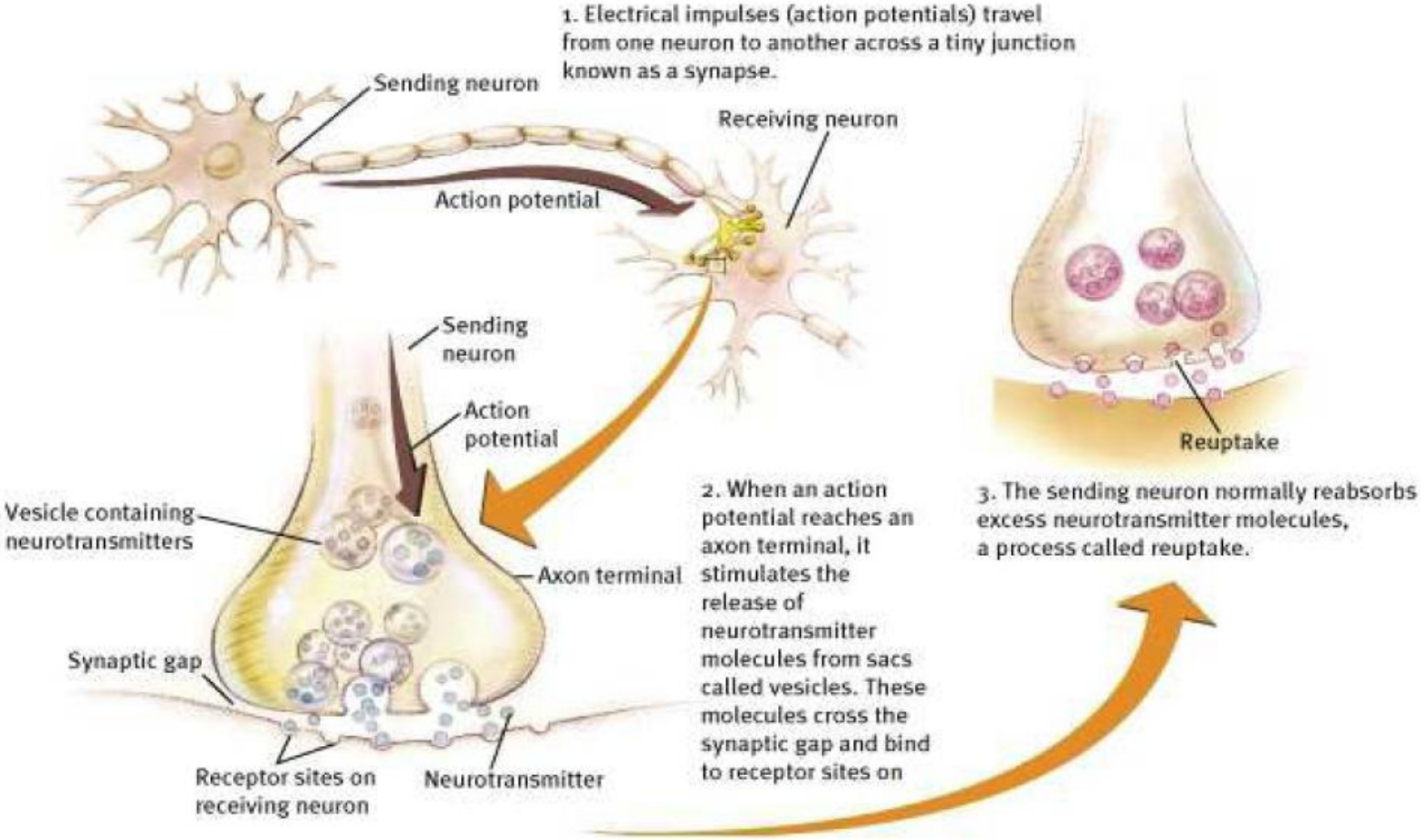
Sinapses

- Potencial pós-sináptico (continuação)
  - Tamanho e tipo de PSP produzido depende de:
    - Geometria da sinapse
    - Tipo de neurotransmissor
- Foram descobertos, até o início da década de 90, cerca de 50 eurotransmissores diferentes
  - Cada um produz um efeito diferente

Sinapses


Neurotransmitter attached to receptor
Neurotransmitter released into synapse
Axon
Dendrite
Neurotransmitter stored in vesicles
Enzyme that destroys neurotransmitter
(a)
(b)
Axon terminal
Mitochondria
Synaptic vesicles
Synaptic cleft
Postsynaptic cell (skeletal muscle)

Sinapses


1. Electrical impulses (action potentials) travel from one neuron to another across a tiny junction known as a synapse.
Sending neuron
Receiving neuron
Action potential
Sending neuron
Action potential
Vesicle containing neurotransmitters
Axon terminal
Synaptic gap
Receptor sites on receiving neuron
Neurotransmitter
2. When an action potential reaches an axon terminal, it stimulates the release of neurotransmitter molecules from sacs called vesicles. These molecules cross the synaptic gap and bind to receptor sites on
Reuptake
3. The sending neuron normally reabsorbs excess neurotransmitter molecules, a process called reuptake.

Sinapses

- Comunicação entre neurônios
  - Raramente é necessário ultrapassar três sinapses no interior do cérebro
    - Com quatro sinapses, praticamente qualquer neurônio em qualquer local pode se comunicar com qualquer outro
- Percepção, maioria das recuperações de memória, boa parte do processamento de linguagens e raciocínio intuitivo ocorrem em não mais que 100 passos seriais

Conexões do sistema nervoso

- Alto grau de precisão e especificidade
- Estabelecimento das conexões
  - Nativismo: conexões são definidas geneticamente
  - Empirismo: conexões são determinadas pela experiência
  - Combinação das duas correntes

Características

- Seres humanos desenvolvem células nervosas até os dezoito meses
  - Conexões são estabelecidas até os três anos
- Seres humanos perdem 10^3 células por dia
  - Aos 70 anos 2,5% de células a menos que aos 10 anos
  - Plasticidade no cérebro adulto
    - Criação de novas sinapses
    - Modificação das sinapses existentes
    - Criação de novos neurônios

Neurônio

- Pode ser visto como um dispositivo capaz de receber diversos estímulos de entrada de muitos outros neurônios e propagar sua saída única para muitos outros neurônios

Redes, Camadas e Mapas

- Neurônios tem conexões adiante (*forward*) e de realimentação (*feedback*)
- Um milimetro cúbico do tecido do córtex contém aproximidamente:
  - 10^5 neurônios
  - 10^9 sinapses
    - A maioria delas fazendo conexões entre neurônios do córtex
      - Interconectividade bastante alta

Redes, Camadas e Mapas

- Pequeno grupo de neurônios interligados pode apresentar comportamento complexo
  - Que não pode ser observado em um único neurônio
  - Características
    - Representação de informação (conhecimento) de maneira *distribuída*
    - *Processamento paralelo* dessas informações

Redes, Camadas e Mapas

- Muitas áreas do cérebro apresentam *organização em camadas*
  - Cada camada tem um padrão regular de
    - De onde recebe informações
    - Para onde envia essas informações
- Exemplo:
  - *Superior Colliculus*
    - Recebe entradas visuais nas camadas superficiais
    - Recebe entradas táteis e auditivas nas camadas mais profundas
    - Neurônios nas camadas intermediárias representam informações dos movimentos dos olhos

Redes, Camadas e Mapas

- Estudos mostram que áreas do Córtex tem diferentes funções

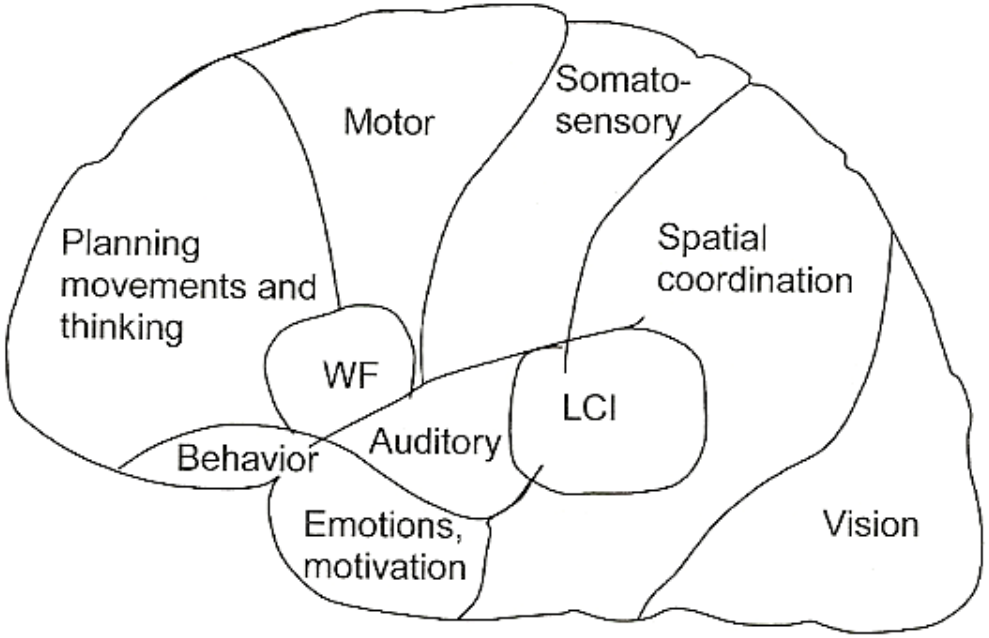


Figure 4.5: Map of specific functional areas in the cerebral cortex. WF: word formation; LCI: Language comprehension and intelligence.

Redes, Camadas e Mapas

- Em geral, é sabido que neurônios do córtex podem ser subdivididos em seis camadas distintas:
  - Camada de entrada
    - Recebe entrada sensorial
  - Camadas ocultas
    - Recebe entradas localmente de outras camadas do cérebro
      - Não recebem estímulo sensorial diretamente, nem produzem saída motora
  - Camada de saída
    - Envia comandos e saídas para outras partes do cérebro

Redes, Camadas e Mapas

- Mapa Topográfico
  - Princípio de organização de muitos sistemas sensoriais e motores
- Exemplo
  - Neurônios das áreas visuais do córtex
    - Arranjados de maneira que neurônios adjacentes tem campos de recepção visuais adjacentes e juntos constituem o mapa da retina
- Unidades sensoriais vizinhas se destinam a representações similares
  - Maneira do cérebro economizar em *cabeamento*

Bases Biológicas e Físicas de Aprendizado e Memória

- Sistema Nervoso está continuamente se modificando e se atualizando
  - Todas as funções (incluindo percepção, controle motor, termoregulação, raciocínio) são modificáveis por experiências
  - Observações de comportamento mostram graus de plasticidade do sistema nervoso:
    - Mudanças fáceis e rápidas
    - Modificações lentas e profundas
    - Mudanças mais permanentes, mas ainda modificáveis

Bases Biológicas e Físicas de Aprendizado e Memória

- Aprendizado Global
  - Resultado de mudanças locais nos neurônios
    - Crescimento de novos dendritos
    - Extensão dos ramos existentes
    - Mudanças nas sinapses existentes
    - Criação de novas sinapses
    - Poda de dendritos
    - Eliminação de sinapses
    - Mudanças nos axônios
    - Produção de novos neurotransmissores
    - E muitos outras...

Bases Biológicas e Físicas de Aprendizado e Memória

- Podemos resumir as mudanças estruturais como modificações nas sinapses
  - Estão envolvidas direta ou indiretamente em toda modificação
    - $\Rightarrow$ Aprendizado por modificações sinápticas
      - Muito importante nas redes neurais biológicas e artificiais
  - Conexões sinápticas podem ser reforçadas ou enfraquecidas
    - Modificação na força da sinapse (eficiência sináptica)

Bases Biológicas e Físicas de Aprendizado e Memória

- Memória
  - Também é um processo adaptativo de conexões sinápticas
  - Memórias podem ser classificadas em três tipos:
    - Memória de curto prazo
      - Dura de poucos segundos a poucos minutos
        - Exemplo: memória de um número de telefone
    - Memória de prazo intermediário
      - Dura de minutos a semanas
        - Exemplo: nome de alguém interessante que você conheceu em uma festa
    - Memória de longo prazo
      - Dura por tempo indeterminado
        - Exemplo: o endereço de sua casa

Bases Biológicas e Físicas de Aprendizado e Memória

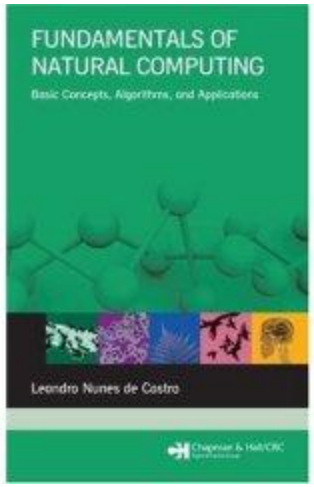
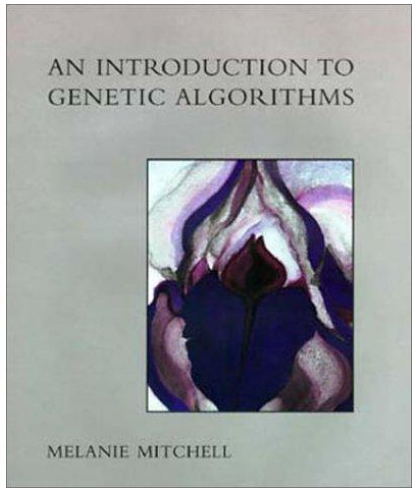
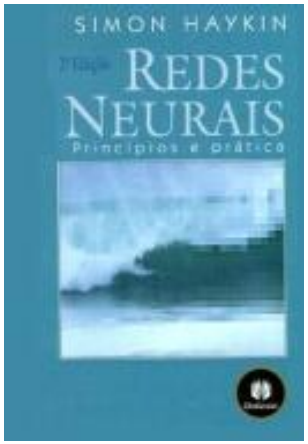
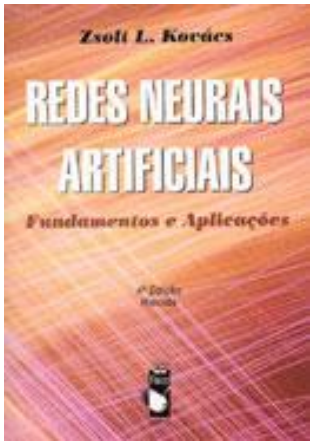
- Os dois primeiros tipos não requerem muitas mudanças nas sinapses
- Memória de longo prazo
  - Acredita-se que requer mudanças estruturais nas sinapses
- Diferença entre *aprendizado* e *memória* é apenas conceitual
  - Aprendizado: processo que resulta em mudança na eficiência sináptica
  - Memória: resultado (duradouro) deste processo adaptativo

Sumário

- Sistema Nervoso
  - Um dos maiores sistemas de controle nos organismos vivos
  - Responsável por receber um estímulo do ambiente, processá-lo e produzir uma resposta
  - Influenciou bastante no projeto de ferramentas computacionais para resolver problemas que usam elementos semelhantes a neurônios como unidades de processamento
    - Conforme veremos na próxima aula

Questões

- Classifique os tópicos abaixo como fato ou ficção (argumente em favor de sua classificação e cite trabalhos da literatura que suportem sua opinião):
  - Nós usamos apenas 10% do potencial de nossos cérebros
  - O número de neurônios com que nascemos será o número de neurônios com que morreremos
  - Neurônios não podem se reproduzir
  - Homens tem mais neurônios que mulheres
  - Mulheres tem uma visão periférica mais ampla que homens

Referências Bibliográficas

- CASTRO, Leandro Nunes. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, And Applications*. CRC Press, 2006.
- CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. *Notas de Aula*, 2007.
- HAYKIN, Simon. *Redes Neurais: Princípio e Prática*. Bookman, 2001.
- KOVACS, Zsolt L. *Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações*. Livraria da Física, 2006.
- MITCHELL, Melanie. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, 1998.