

ESTRUTURA BIOLÓGICA DO SISTEMA NERVOSO

12
aula

Ana Maria Rabelo Ramalho

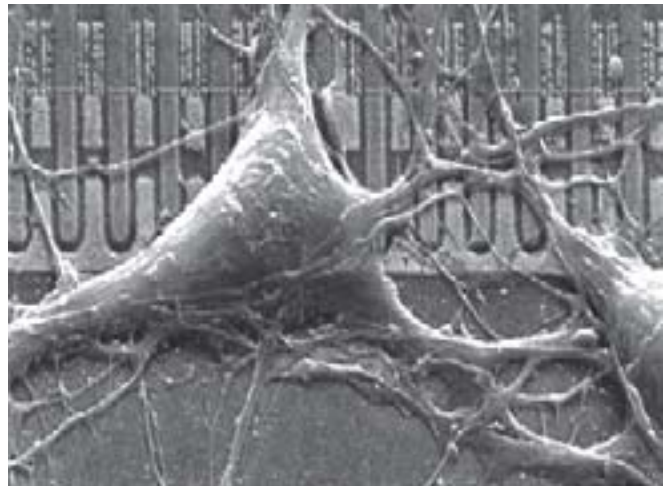
META

Passar os conhecimentos teóricos acerca dos aspectos morfológicos e funcionais da estrutura celular geral do sistema nervoso dos animais, em especial dos seres humanos.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá ser capaz de:

identificar os tipos de células do tecido nervoso dos animais vertebrados (morfologia de *neurônios* e *células da glia*) e suas funções básicas;
classificar anatômica e funcionalmente, no ser humano, o sistema nervoso;
identificar a disposição das células do tecido nervoso dentro do sistema nervoso central e periférico, somático e visceral;
compreender a organização e funcionamento em rede do sistema nervoso, a sua formação embrionária e os processos de desenvolvimento durante a vida intra e extra-uterina.



Neurônios (Fonte: <http://cnaturais9.files.wordpress.com>). Neurônios.

PRÉ-REQUISITOS

Aspectos do sistema nervoso contidos na Aula 11.

As células do SN (sistema nervoso) são muito pequenas, encontram-se aglomeradas e apresentam consistência gelatinosa. Para visualizá-las usam-se instrumentos de aumento – os microscópios.

INTRODUÇÃO

No final do século XIX e início do século XX, o italiano Camillo Golgi e o espanhol Santiago Ramón y Cajal (Prêmio Nobel 1906 da Medicina) afirmaram “estar *os neurônios* compondo uma rede de fibras interconectadas”. Cajal estudou o tecido em embriões de galinha e concluiu que estas células são distintas, têm redes simples que vão se tornando mais complexas com o tempo (plasticidade, crescimento e desenvolvimento). Elas seriam as unidades funcionais do SN (neurônios) – *hipótese neuronal*, hoje universalmente aceita.

O neurônio possui três partes básicas: um *corpo celular*, prolongamentos ramificados (*dendritos*), e uma raiz principal (*o axônio*). Os dendritos são múltiplos e o axônio único.

O segundo tipo celular do SN é um tipo de célula chamada *neuroglia* (*glia*, do grego, cola). Ela oferece sustentação, união, proteção e suporte aos neurônios.

O SN humano tem cerca de *100 bilhões de neurônios* e um número 10 vezes maior de células *gliais* (número estimado).

Explicar como 100 bilhões de células trabalham em conjunto, estabelecem conexões e organizam comportamentos não é uma tarefa fácil. As generalizações são importantes nesta compreensão.

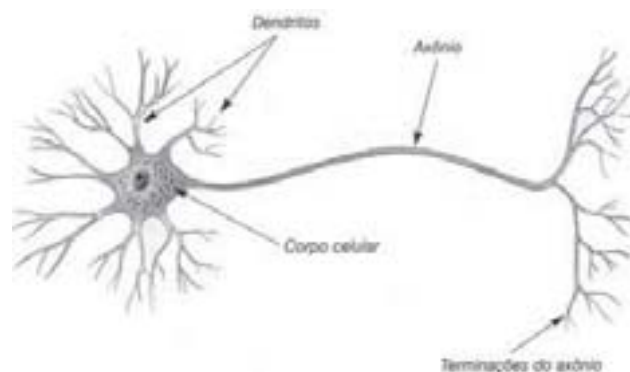


Figura 08. Esquema de um neurônio tipo multipolar motor (Fonte:<http://images.google.com.br>).

Na *filogênese* pode-se ver a relação evolucionária dos 15 filos animais com a evolução do SN a partir de uma REDE NERVOSA muito simples e dispersa, sem cérebro, encontrada na *anêmona-do-mar*.

Depois é visto um TRONCO NERVOSO SEGMENTADO ou uma organização bilateral e simétrica nos *platelmintos* (SN Segmentado) e GÂNGLIOS – estruturas que lembram o funcionamento do cérebro, em *lulas*.

Finalmente, após passar por anelídeos, insetos, ostras e estrelas do mar, chega-se à estrutura do cérebro (nos agnathas), onde existe encéfalo e medula espinal. Ainda muito pequeno, vai aumentando proporcionalmente o tamanho nas lampreias, tubarões, raias, peixes ósseos, anfíbios, répteis, até aves/mamíferos (na classe dos cordados), com o desenvolvimento dos membros nos anfíbios e grandes cérebros em aves e mamíferos.

FILOGÊNESE

EMBRIOGÊNESE

No momento em que um óvulo é fertilizado por um espermatozóide (gametas feminino e masculino), o *zigoto* humano é feito uma única célula com o material gênico de ambos.

Mas logo ela começa a se dividir e no 15º dia o embrião se assemelha a um ovo frito, constituído de várias camadas de células com uma área saliente central – o disco embrionário. A saliência é o corpo primitivo.

Com 3 semanas da fecundação existe um tecido nervoso conhecido como PLACA NEURAL que é parte da camada mais externa de células embrionárias (ectoderma). Esta placa se dobra para formar um sulco (sulco neural), da porção mais central para as extremidades.

Forma-se um *tubo neural* com o fechamento das bordas do sulco. Numa das extremidades formam-se as vesículas primordiais que irão formar o encéfalo, enquanto o tubo neural primitivo formará a medula espinal.

E da cavidade interna do tubo neural surgirão os ventrículos cerebrais no encéfalo e o canal central espinal. O corpo e o SN se alteram muito com mais três semanas. Na 7ª semana, 49 dias, o embrião se assemelha a uma pessoa em miniatura.

No desenvolvimento pré-natal, o encéfalo passa por uma série de estágios embrionários (até três meses) e fetais. Com 25 dias temos as vesículas primordiais se curvando; aos 40, as vesículas

telencefálica e diencefálica definidas, com a primeira se dividindo em hemisférios cerebrais. Com 50 dias os hemisférios já cobrem o diencefalo (tálamo) e todo o encéfalo, está pronto em sua forma básica, com 100 dias. A superfície ainda é lisa e o cerebelo já começou sua formação no 50º dia.

Com cinco meses aparece o sulco lateral, com 8 meses o sulco central e início de outros em todo o hemisfério; a *ínsula* é uma área frontal inferior. Neste último mês ela vai ser encoberta pelo crescimento dos lobos frontal, parietal e temporal e há um crescimento dos giros e sulcos no córtex

cerebral e dos sulcos no cerebelo (pronuncia “lóbuz”).

Por volta dos 60 dias, a *testosterona* dos embriões masculinos começa a desenvolver uma estrutura masculina, na diferenciação embrionária. Na ausência deste hormônio testicular a estrutura feminina se desenvolve. Alterações paralelas ocorrem no SNC em resposta à presença ou não desta substância química – o *dimorfismo sexual*.

Das células indiferenciadas das paredes do tubo neural surgem dois tipos celulares: *neuroblastos* e *glioblastos*, que se especializarão com a diferenciação em neurônios e neuroglia (e em seus vários tipos).

Nascem cerca de 250 mil neurônios por minuto no pico do desenvolvimento neural central (NEUROGÊNESE E GLIOGÊNESE).

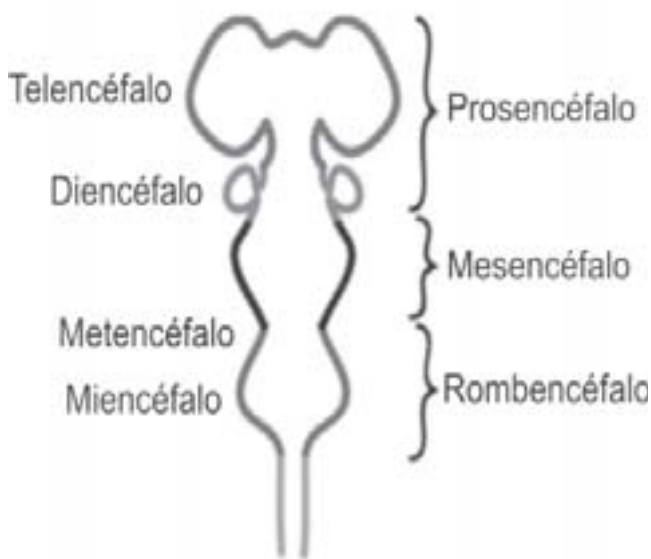


Figura 09 - Encéfalo primitivo humano.

Nas etapas seguintes há um processo de MIGRAÇÃO dos neurônios para posições específicas e a DIFERENCIAÇÃO celular (tipo).

A MATURAÇÃO vem em seguida, com crescimento de dendritos e axônios, para formar sinapses (SINAPTOGÊNESE). Aqueles neurônios que não *engajam* (competição ou darwinismo neural) no sistema sofrem uma MORTE CELULAR (apoptose) e as sinapses desnecessárias desaparecem.

Por fim, ocorre a MIELINOGENESE (formação de MIELINA nos axônios, bainha que aumenta a velocidade do impulso, ou eficiência da célula).

A eliminação da sinapse é bastante extensa, cerca de 42%. Este é um processo também de eliminação de excessos, do desnecessário. Os sinais são genéticos, a experiência, os hormônios da reprodução e o estresse.

A *mielinização* também progride no córtex humano, iniciando-se logo após o parto, e prosseguindo até os 18 anos de idade. As áreas de maturação precoce controlam movimentos mais simples e análises sensoriais, enquanto as tardias controlam as funções mentais mais complexas – área pré-frontal, temporoparietal e temporal inferior (sistema límbico).

Segundo os estágios do Desenvolvimento Cognitivo do suíço Jean Piaget, que no século XX estudou crianças pela forma como elas viam o mundo: do nascimento a 18 – 24 meses, o *estágio é sensório-motor* (sensações e ações). De 2 a 6 anos, é o *Pré-operacional*, com o desenvolvimento da linguagem, palavras e imagens, mas sem o raciocínio lógico. Entre 7 e 11 anos, o *Estágio operacional concreto* – quando pensam de maneira lógica sobre eventos concretos, compreendem estas analogias e executam operações matemáticas. E o último, o *operacional formal*, de 12 anos em diante, quando raciocina de modo abstrato, potencial para a moral amadurecido.

TIPOS DE NEURÔNIOS

O neurônio funciona como um dispositivo que coleta informações e toma decisões, levando-as ao seu axônio (resposta média

ou sintetizada). Ele também armazena dados, podendo mudar sua resposta. O *botão terminal* e uma *espinha dendrítica* adjacente fazem a conexão. O espaço entre eles chama-se *sinapse*.

São vários os tipos, com diferentes formatos e tamanhos. O mais simples é o *bipolar*. O sensorial é o mais complexo, *pseudounipolar* (dendrito se continua diretamente ao axônio). Os *interneurônios de associação* podem ser *estrelados* ou *piramidais*. O motor é *multipolar*.

A estrutura fala pela sua função. Se o corpo celular é grande, seus prolongamentos são longos e vice-versa (fornecimento de nutrientes a axônios e dendritos).

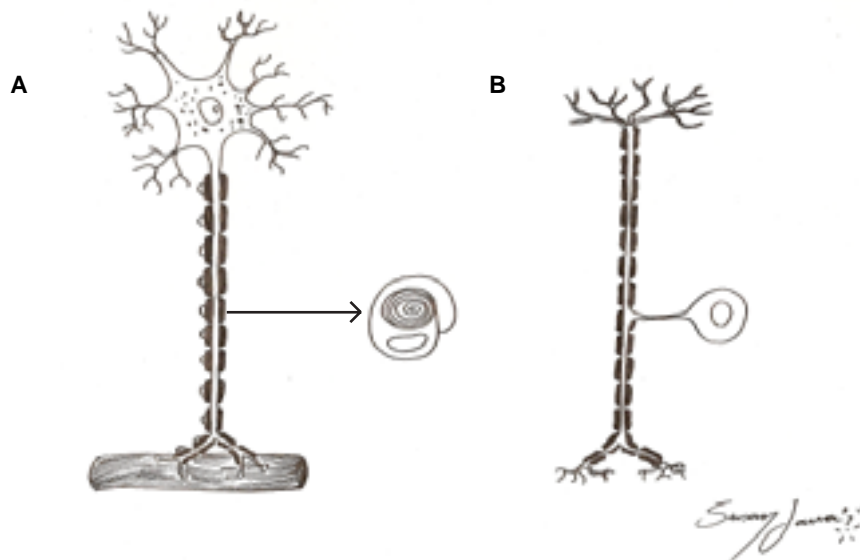


Figura 10. Tipos de neurônios: A - Neurônio motor; B - Neurônio sensitivo.

De acordo com as funções básicas os neurônios são classificados em 3 grupos: *sensoriais*, *interneurônios* (associação de atividades sensorial e motora) e *motores*. O crescimento do cérebro se dá pelo número de encefalização, ou de neurônios do SN Central (encéfalo e medula espinal). Um axônio longo pode estar ligado a um dendrito longo – estrada de longas distâncias (pseudounipolar).

Os neurônios precisam se comunicar uns com os outros, para que as informações possam ser transmitidas. As *sinapses* foram vistas na microscopia eletrônica na década de 1950. Além da fenda, substâncias químicas foram encontradas nos botões terminais dos

neurônios o que sugeriu uma mensagem química, um *neurotransmissor* (sinapses químicas).

As *espinhas dendríticas* são os pontos de sinapses, que podem variar de centenas a milhares, dependendo do tipo. Pode haver colaterais recorrentes.

A linguagem dos neurônios: excitação e inibição de outros neurônios: sinais de *sim* ou *não*, em geral estimulada por neurotransmissores químicos que encontram seus correspondentes *receptores* protéicos na membrana pós-sináptica. Eles somam as entradas e serão estimulados a agir (gerar um *potencial de ação* de membrana celular) se os *sins* (excitações) excederem os *nãos* (inibições).

TIPOS DE CÉLULAS DA GLIA

Elas auxiliam os neurônios na realização de suas tarefas. Estão sempre sendo substituídas – se descontrolado, seu crescimento forma tumores chamados gliomas.

São seis os principais tipos e cada um apresenta características especiais morfofuncionais:

1. *Célula ependimária* – pequena e ovóide, ela secreta o líquido cefalorraquiano (LCR ou Líquor);
2. *Astrócito* – formato de estrela, simétrica; funções: nutrição e sustentação; pés vasculares;
3. *Micróglia* – pequena, de origem mesodérmica; função: defesa;
4. *Oligodendroglia* – assimétrica, forma mielina nos axônios do SNC (encéfalo e medula espinhal);
5. *Célula de Schwann* – assimétrica, ela envolve nervos periféricos para formar bainha de mielina (isolamento que aumenta a velocidade do impulso nervoso). A bainha falta na maioria das fibras pós-ganglionares do sistema visceral. Reparo de lesões – recuperação do axônio;
6. *Anfícitos* ou células satélites em gânglios, no SNP (periférico).

O *potencial de ação* é uma alteração breve, mas extremamente grande, na polaridade da membrana celular de um axônio, com du-

ração de milissegundos – ocorre quando o estímulo elétrico chega a determinado limiar de excitabilidade.

A atividade de cargas iônicas através da membrana a torna polarizada e sua despolarização pode chegar ao potencial de ação para a transmissão do impulso nervoso através da membrana do axônio, somente medido na metade do século XX.

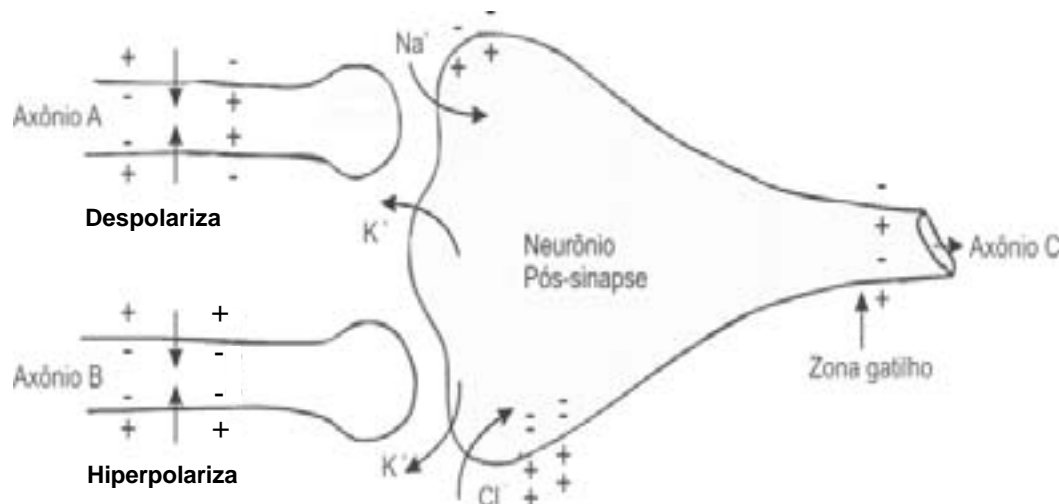


Figura 11. Esquema de potenciais de ação desencadeados por sinapse excitatória (A) e inibitória (B).

No neurônio em repouso, a membrana está polarizada com carga negativa intracelular (média de -70milivolts). Canais e bombas iônicas são estruturas moleculares protéicas das membranas celulares. O potencial de ação é propagado na membrana de um axônio e se este é *mielinizado* (possui bainha de mielina), a condução é saltatória (mais veloz), salta de um nódulo de Ranvier (área desnuda de mielina) para outro.

A forma como um estímulo sensorial inicia um impulso nervoso no neurônio sensorial (receptores) é *semelhante em todos os sistemas sensoriais*. A membrana da célula receptora contém um mecanismo para transformar a energia sensorial em alterações dos *canais iônicos* – permitem o fluxo de íons e alteram a voltagem da membrana, até que canais sensíveis se abram, iniciando o impulso nervoso.

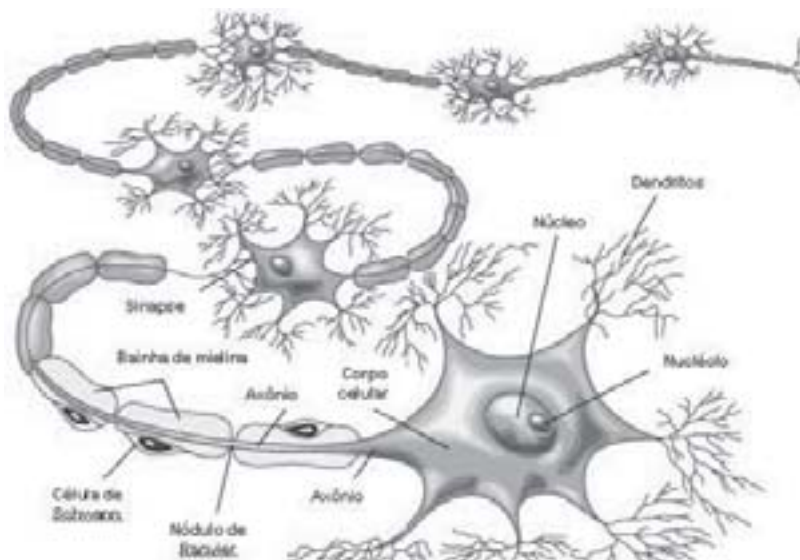
A contração muscular também depende de canais iônicos. A terminação axônica de um neurônio motor libera um transmissor químico, a *acetilcolina*, na placa terminal da membrana de uma célula

la muscular. Os canais sensíveis ao transmissor na placa se abrem em resposta e o fluxo de íons despolariza a membrana do músculo até o limiar de seu potencial de ação. Esta despolarização ativa canais vizinhos sensíveis à voltagem, produzindo potencial de ação na fibra muscular que gera a contração do músculo (processos intracelulares).

A atividade elétrica do cérebro pode ser registrada colocando-se eletrodos no crânio para obter um *eletroencefalograma*. Essa atividade nunca cessa, mesmo sob anestesia e padrões diferentes identificam diferentes comportamentos, mediante estímulos distintos (som – luz) com localização de áreas de maior atividade.

Mais de 100 neurotransmissores são utilizados no SN, associados a receptores na membrana pós-sináptica excitatórios (*ionotrópicos*) e inibitórios (*metabotrópicos*).

Cada terminação axônica pode conter mais de um tipo de neurotransmissor e é identificada pelo principal. Pequena molécula: acetilcolina, aminas e aminoácidos; peptídeos: encefalinas (opióides), neurohipofisários, secretinas, insulinas, gastrinas, somatostatinas (pancreática); e gases: óxido nítrico (NO) e monóxido de carbono (CO).



(Fonte: <http://www.santalucia.com.br>).

Os seres vivos devem continuamente se ajustar ao meio ambiente para sobreviver. Para isso desenvolveram a irritabilidade, a condutibilidade e a contratibilidade em suas células.

CONCLUSÃO

A irritabilidade é a capacidade de detectar mudanças do meio, reagindo a ele para se adaptar (conduz a informação para os elementos da reação). Nos seres pluricelulares estas características foram sendo tomadas por células diferenciadas (os neurônios) para a irritabilidade e condutibilidade; os músculos e glândulas para a contratibilidade e secreção de substâncias. Estes músculos começaram a ocupar posição mais profunda, surgindo células intermediárias para esta ligação - os primeiros neurônios, nos celenterados, chamados de sensitivos. Depois eles se multiplicaram para atender a comportamentos mais complexos: surgiram os motores e os de associação. Estes últimos se centralizaram e formaram o sistema nervoso central, aumentando o número de sinapses e a complexidade da resposta. Este aumento foi maior numa das extremidades - especializada para a exploração do ambiente - o encéfalo, que atingiu seu máximo de desenvolvimento na espécie humana (Machado, 1998).

RESUMO



O SN humano tem cerca de *100 bilhões de neurônios* e um número 10 vezes maior de *células gliais* (número estimado).

Explicar como 100 bilhões de células trabalham em conjunto, estabelecem conexões e organizam comportamentos não é uma tarefa fácil. As generalizações são importantes nesta compreensão, porém nem sempre condizem com a realidade.

Como unidades de informação do cérebro, *os neurônios* precisam desempenhar muitas *tarefas*:

- devem adquirir informações a partir de receptores sensoriais (SENSITIVOS);
- passá-las adiante para outros neurônios (DE ASSOCIAÇÃO);

- até desencadear uma resposta – um movimento ou uma secreção de músculos/glândulas de um comportamento expresso (MOTORES);
- cabe a eles também guardar as instruções do nosso comportamento – codificar as memórias - e originar nossos pensamentos e emoções (funções psíquicas superiores, no cérebro, neurônios DE ASSOCIAÇÃO);
- ao mesmo tempo é necessário regular todos os vários processos do organismo – como respiração, batimentos cardíacos, temperatura corporal e ciclo sono-vigília (no encéfalo, DE ASSOCIAÇÃO).

A maioria dos cientistas acredita que os neurônios trabalham juntos em grupos de centenas a milhares para produzir determinada função. Os neurônios trabalham em redes. Não têm uma estrutura estática e sim dinâmica, crescimento contínuo, encolhendo e mudando seu formato (resultam da codificação e armazenamento de nossas experiências e memórias) de acordo com sua estimulação.

Esta propriedade chama-se PLASTICIDADE.

Outra característica é a LONGEVIDADE. A maioria deles nunca é substituída. A capacidade de substituição numa lesão é muito pequena e restrita a algumas áreas (pesquisas ao final do século XX), na espécie humana.

Durante seu desenvolvimento o SN sofre *influências ambientais, lesões, alterações hormonais*, além das *genéticas*; possui, portanto, plasticidade – sendo moldado *pelas experiências*. Existem períodos críticos quando diferentes partes do SN são sensíveis a experiências diversas. Os dois primeiros anos são essenciais. Se estes fatores forem anormais, o desenvolvimento também o será, levando a distúrbios mentais como retardo ou doenças como a esquizofrenia.

REFERÊNCIAS

- BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO Michael A., **Neurociências, desvendando o Sistema Nervoso**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- CROSSMAN, A. R.; NEARY, D. **Neuroanatomia – Um texto ilustrado em cores**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- KIERNAN, John A. **Neuroanatomia Humana de Barr**. 7 ed. Rio de Janeiro: Manole, 2003.
- KOLB Bryan; WHISHAW, Ian Q. **Neurociência do comportamento**. Rio de Janeiro: Manole, 2002.
- MACHADO, Angelo. **Neuroanatomia Funcional**. 2 ed. São Paulo: Ed Atheneu, 1998.
- MARTIN, John H. **Neuroanatomia – Texto e Atlas**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- MENESES, M. S. **Neuroanatomia Aplicada**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
- NETTER, Frank H. **Atlas de Anatomia Humana**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.