

5. O sistema nervoso

Introdução

O SN é dividido estruturalmente em componentes periféricos e centrais, denominados, respectivamente, Sistema Nervoso Periférico (SNP) e Sistema Nervoso Central (SNC). O SNC é composto por todos os elementos nervosos no interior do crânio (encéfalo) e da coluna vertebral (medula espinhal). Assim, podemos dizer que as peças-chave do funcionamento do nosso corpo são protegidas por estruturas mais resistentes aos impactos, como acontece com o motor de um carro (Figura 5.1). No encéfalo e na medula está localizada a maioria dos neurônios e das células da glia, bem como os prolongamentos neuronais – dendritos e axônios. Já o SNP consiste de **gânglios e nervos** situados fora destas estruturas ósseas (Figuras 5.1 e 5.2).

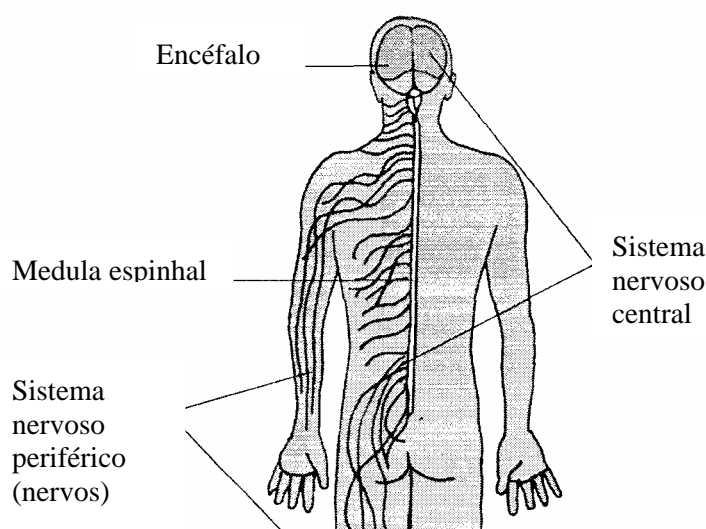


Figura 5.1: A maioria das células neurais do SNC do homem está contida no interior da caixa craniana (o encéfalo) e da coluna vertebral (a medula espinhal). O SNP é constituído por uma extensa rede de fibras neuronais amplamente distribuída pelos órgãos e tecidos, bem como por corpos celulares dispostos em gânglios.

Embora separados anatomicamente, esses dois sistemas nunca trabalham sozinhos. Através dos receptores sensoriais, o SNP capta os estímulos sensoriais, como a luz e os sons, ou mesmo sinais provenientes de nossos órgãos internos, e os conduz através dos nervos até o SNC, onde a informação será processada e decodificada em áreas e **núcleos** específicos. A resposta desencadeada ao nível central será conduzida por vias específicas (por exemplo; **tratos e feixes**) até os motoneurônios e depois pelos nervos até os músculos ou glândulas, para se gerar reações do organismo.

Os elementos do sistema nervoso periférico

Os dois principais elementos do SNP são os gânglios e os nervos. Nos gânglios estão alojados os corpos celulares dos neurônios, cujos axônios vão compor os nervos que se distribuem pelo nosso corpo. Observe, na Figura 5.2, que esses gânglios aparecem aos pares e se dispõem ao lado da coluna vertebral ou, em alguns casos, bem próximos às vísceras. Os nervos são como rodovias que permitem o fluxo de informação entre o SNC e os tecidos periféricos e vice-versa.

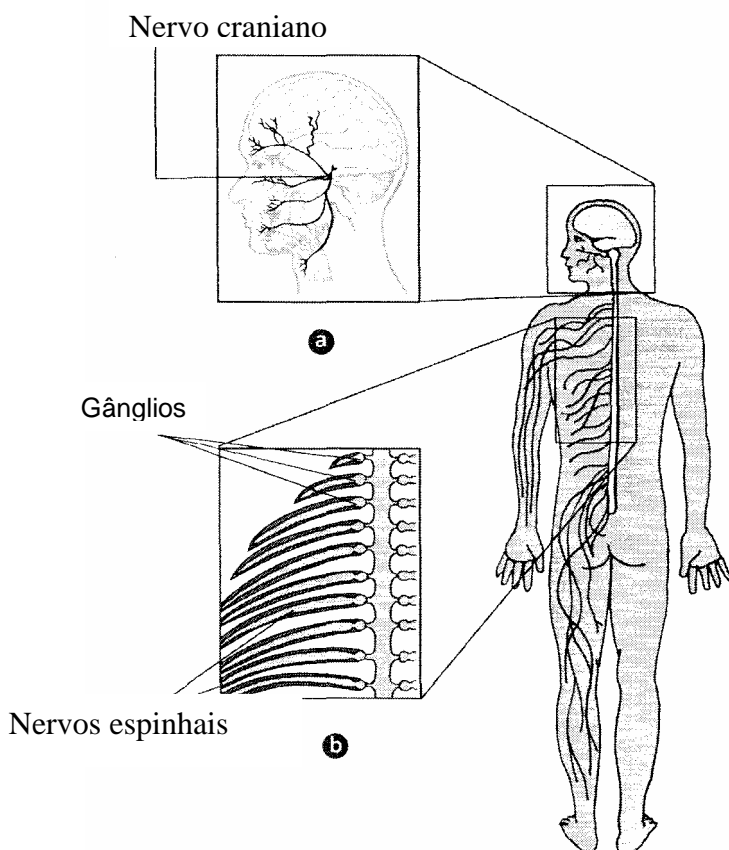


Figura 5.2: Visão geral da organização do SNP. Os nervos podem ter sua origem no encéfalo (como os nervos cranianos, ilustrados na Figura 5.2a), cuja função é inervar estruturas localizadas na cabeça, pescoço ou vísceras, ou na medula espinhal (os nervos espinhais, indicados na Figura 5.2b) e que irão formar os nervos periféricos distribuídos pelo corpo.

Os nervos são formados por axônios sensitivos (ou aferentes) e motores (ou eferentes). Os sensitivos são aqueles cujos corpos celulares estão dentro de gânglios, e na extremidade do seu axônio situam-se receptores capazes de captar estímulos, como toque, dor ou calor. Os nervos motores têm sua origem em corpos celulares de motoneurônios, que estão situados dentro do SNC e de onde partem as ordens motoras. Existem ainda neurônios motores viscerais, cujos corpos celulares estão localizados em gânglios. Observe a Figura 5.3 e veja a disposição dos gânglios sensitivos, que aparecem na região mais anterior, lateralmente à medula (mas fora das vértebras, preste atenção!) e as raízes motoras, dispostas na porção posterior (dorsalmente) da medula. Assim, como uma verdadeira rodovia, os nervos podem ser encontrados em quase todas as partes do nosso corpo, veiculando informações sensoriais e motoras.

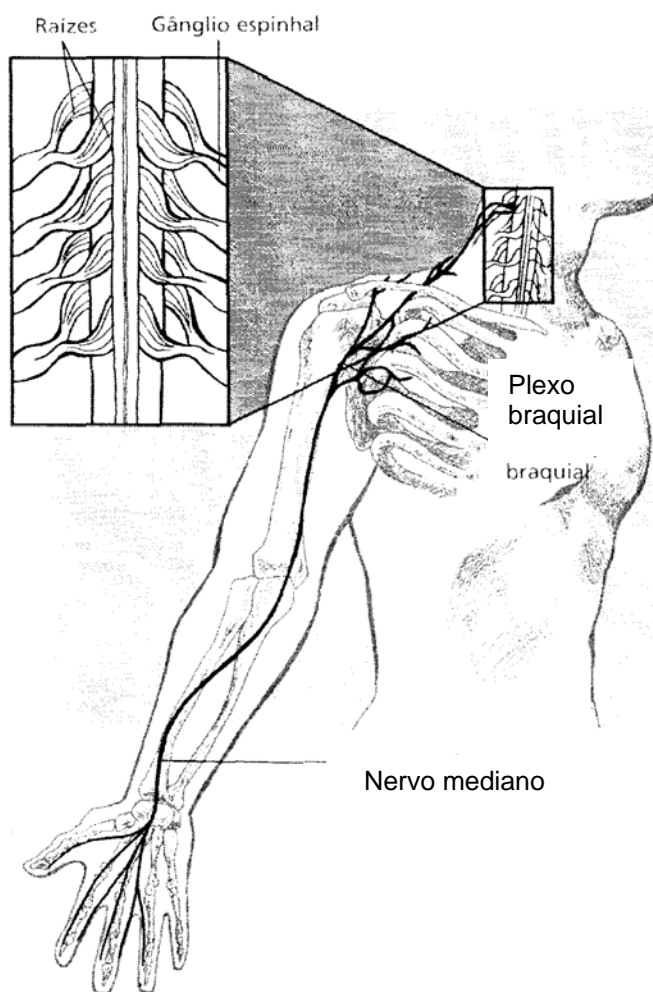


Figura 5.3: Os nervos espinais, formados por várias fibras neuronais, têm sua origem na medula espinhal, onde estão arranjados em raízes (como indicado em (a)). Os feixes de fibras que dão origem aos nervos se ramificam em vários pontos, formando **fascículos** e **plexos** nervosos (por exemplo, o plexo braquial).

Podemos dividi-los em nervos espinhais e em nervos cranianos. Os nervos espinhais se unem ao SNC ao nível da medula, e os nervos cranianos se unem ao SNC ao nível do encéfalo. Os nervos espinhais são organizados de forma topográfica, ou seja, os que aparecem mais próximos ao crânio se dirigem à região de tronco e braços, ao passo que os que aparecem mais afastados do crânio (ou caudalmente, como podemos dizer também) vão se dirigir ao abdômen, pelve e pernas.

Dois componentes periféricos: voluntário e involuntário

Podemos dividir o que sentimos e a maneira como agimos de dois modos: um voluntário e outro involuntário. Mas o que significa isso para você? Muito cuidado quando tentar responder a essa pergunta. Pense bem... Baseie-se em exemplos de sua vida. Agora responda: você consegue controlar voluntariamente o ritmo do seu coração? O arrepiar da pele? Aquele suor nas mãos quando fica ansioso? Ou, ainda: você sabe quando sua pressão variou um pouco? Quando a sua temperatura se elevou? Quando o pH do seu sangue se alterou? Acreditamos que a resposta tenha sido “não” para todas estas perguntas. Ou seja, o controle do músculo cardíaco, das glândulas e da musculatura lisa será sempre involuntário (visceral). O mesmo serve para detectar os estímulos sensoriais vindos do nosso meio interno. Andar, correr, sorrir, mastigar e ler este texto são atos voluntários (somáticos), que dependem do controle da musculatura esquelética.

Os componentes somáticos (referentes ao corpo) do SN incluem neurônios sensoriais, cujos corpos celulares estão localizados nos gânglios e são responsáveis pela inervação da pele, dos músculos, das articulações e dos órgãos internos, trazendo informações do meio externo e interno para o SNC. Já a divisão autonômica (involuntária) do SN compreende os neurônios e axônios motores que inervam vísceras, músculos lisos e cardíacos, e glândulas do corpo, ou seja, seguimentos sobre os quais nós não temos controle voluntário. O sistema nervoso autônomo (SNA) é, por sua vez, subdividido em parassimpático, simpático e entérico, cujos componentes se encontram distribuídos ao longo do corpo. Estas divisões motoras apresentam um

arcabouço semelhante, mas diferem em detalhes anatômicos, tipos de neurotransmissores e funções, como se pode observar na Figura 5.4. Resumidamente, o SN simpático participa das respostas do corpo ao estresse (fuga e luta), ao passo que o parassimpático atua para a conservação dos recursos do corpo (repouso e digestão) e para a manutenção da homeostase. O sistema entérico controla o funcionamento dos músculos e das glândulas intestinais

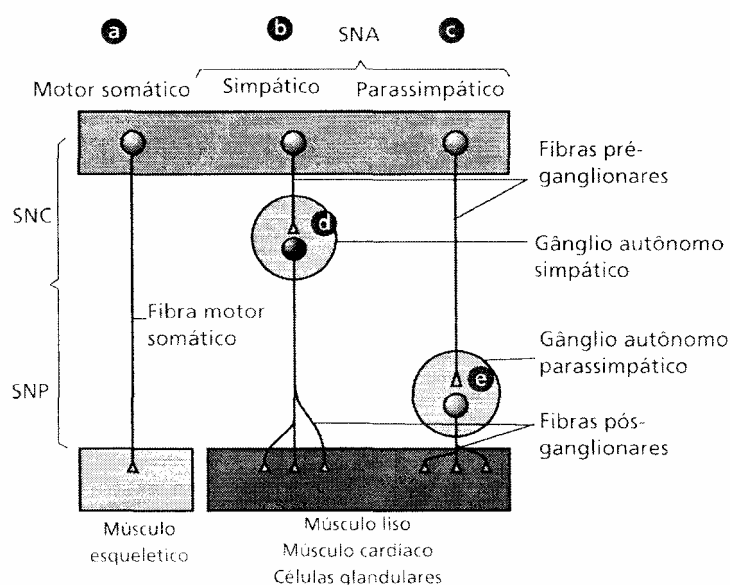


Figura 5.4: Organização celular das três divisões motoras periféricas. Os estímulos motores somáticos convergem para o motoneurônio (a) localizado na região ventral da medula espinal e no tronco encefálico. Nesta via, a informação carregada pelo motoneurônio segue diretamente para os efetores (músculos). Já as respostas motoras viscerais dependem das subdivisões simpática e parassimpática do SNA. Neste caso, os neurônios localizados no tronco encefálico e na medula (b, c) se conectam a motoneurônios localizados fora do SNC (d, e), nos diferentes gânglios autônomos. Dessa forma, a via somática apresenta um único elemento motor (a), enquanto a via autonômica apresenta um componente pré-ganglionar (b, c) e outro pós-ganglionar (d, e).

As divisões do sistema nervoso central

As divisões anatômicas do SNC adulto são baseadas no seu desenvolvimento em vesículas durante a vida embrionária, o que proporciona uma separação inicial em encéfalo e medula. Podemos novamente dividir o

encéfalo em sete porções (medula espinhal, bulbo, ponte, mesencéfalo, diencéfalo, estruturas subcorticais e córtex), algumas das quais ilustradas na Figura 5.5.

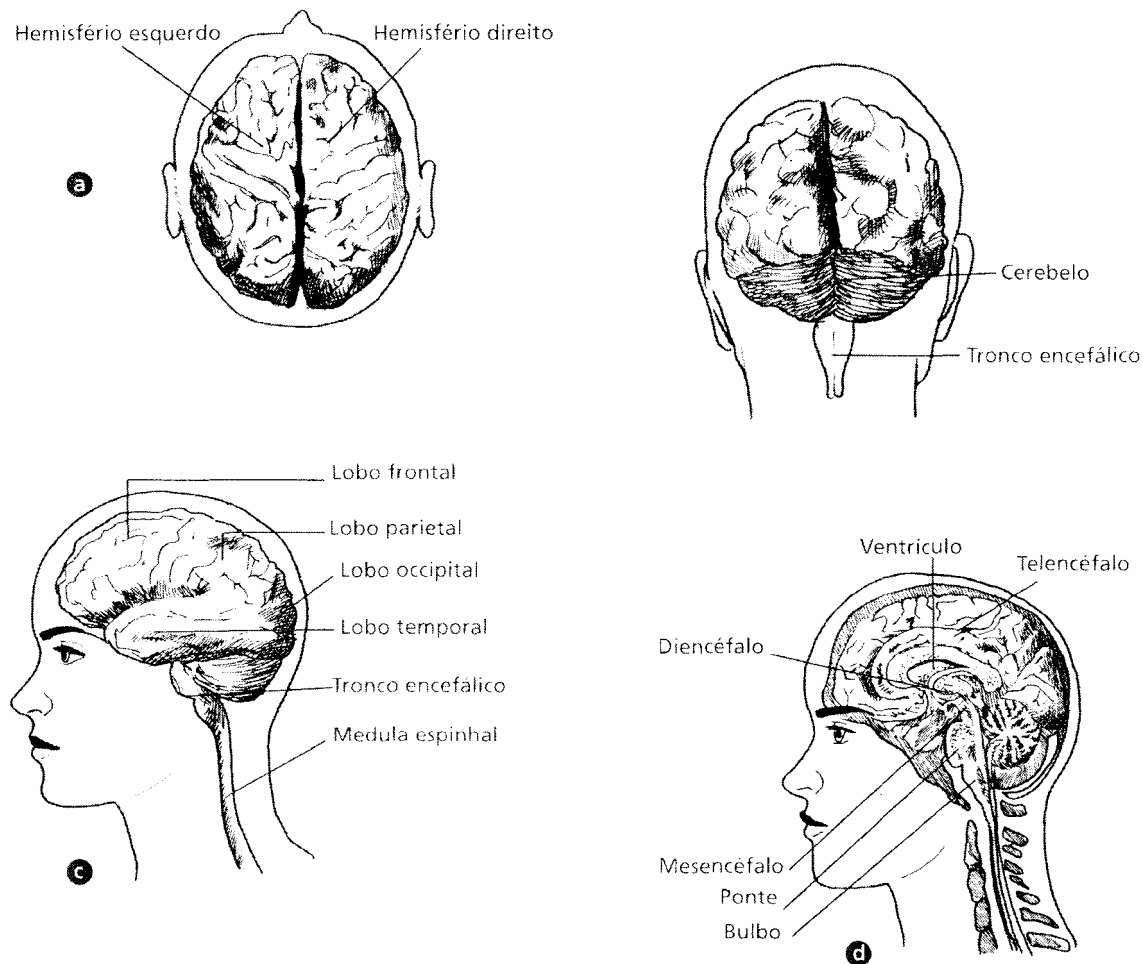


Figura 5.5: Divisões anatômicas do SNC. Em (a) temos uma visão de cima dos hemisférios cerebrais; (b) ilustra por trás os hemisférios cerebrais, cerebelo e o tronco encefálico. Em (c) temos uma visão externa lateral do encéfalo e da medula espinhal, onde estão indicados quatro dos lobos cerebrais. Um corte dividindo o encéfalo ao meio (plano sagital) possibilita em (d) a visualização de estruturas internas, tais como os ventrículos, o mesencéfalo e a porção interna da ponte, cerebelo e bulbo.

A medula espinhal

A medula espinhal é a porção menos complexa do SNC, estendendo-se da primeira vértebra lombar até a base do osso occipital (base do crânio). Lá, ao nível do forâmen magno, junta-se com o encéfalo. Fica alojada no canal medular, que pode ser visualizado em cada uma de nossas vértebras, como ilustrado na Figura 5.6a. Se olharmos a medula em seu eixo crâniosacral (da região mais superior, próxima ao crânio, até sua porção mais inferior, no final da coluna vertebral), poderemos perceber que a medula espinhal tem uma clara segmentação em humanos, podendo ser dividida em 31 segmentos (Figura 5.6b), de onde partem e chegam os axônios que vão compor os pares de nervos espinhais. Assim, cada segmento medular recebe um nome correspondente às vértebras: cervicais, torácicas, lombares e sacrais. Como se observa na Figura 5.6, temos ao todo 8 segmentos cervicais, 12 torácicos, 5 lombares e 5 sacrais e 1 coccígeo.

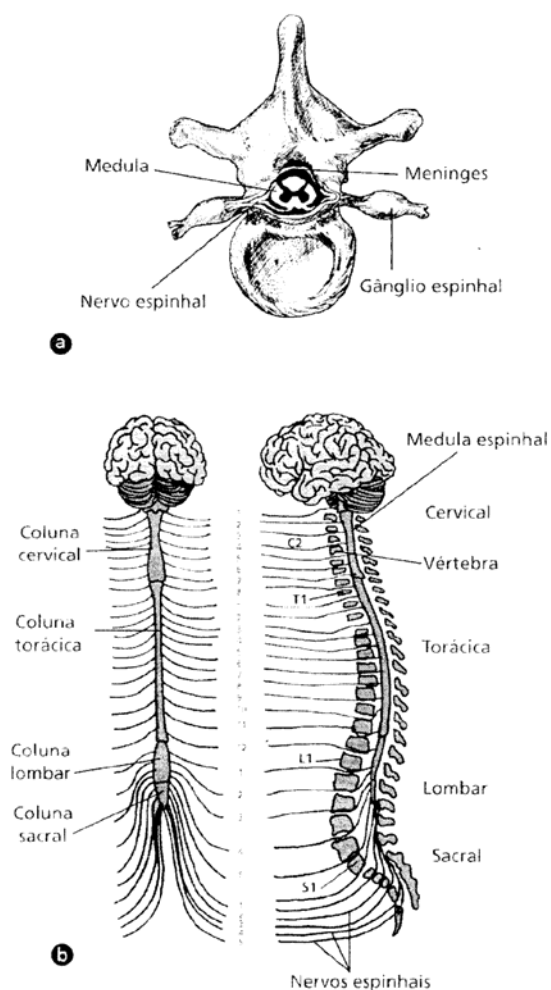


Figura 5.6: Em (a) temos um corte transversal da medula espinhal dentro de uma vértebra, mostrando sua localização na coluna vertebral e as meninges que a envolvem. Em (b) vemos a organização segmentar da medula espinhal. À direita temos a medula espinhal encerrada dentro do canal vertebral. Os nervos espinhais são nomeados pelo nível da medula espinhal do qual eles partem e numerados segundo a ordem das vértebras cervicais, torácicas, lombares e sacrais (do nível mais rostral para o caudal).

Como estações de recebimento e de emissão de informações, os segmentos medulares serão formados por neurônios que recebem informações sensoriais da pele, das articulações e dos músculos do tronco e dos membros, bem como informações sensoriais dos órgãos internos. A medula também contém os corpos celulares dos motoneurônios, as células cujos axônios se projetam para os grupamentos musculares levando informações de movimentos voluntários e reflexos, bem como os axônios que atingem as vísceras, controlando seu funcionamento.

Se olharmos um corte transversal da medula (Figura 5.6a), percebemos que ela apresenta um “H” central mais acinzentado (**substância cinzenta**), onde se encontram os corpos celulares dos neurônios, e uma região periférica mais esbranquiçada (**substância branca**), por onde passam feixes de axônios. Em outras regiões do SN encontramos áreas onde corpos celulares estão mesclados com axônios e que apresentam um aspecto reticular (**substância reticular**).

Os neurônios e axônios que veiculam as informações sensitivas ficam alojados na parte posterior da medula; os neurônios motores e a maioria das fibras motoras ficam alojados na região mais anterior da medula (Figura 5.7). Dessa forma, falamos que as raízes dorsais trazem para o SNC as informações sensoriais dos músculos, pele e vísceras, ao passo que nas raízes ventrais encontramos os axônios que inervam os músculos esqueléticos e axônios pré-ganglionares simpáticos e parassimpáticos. Observamos também que a medula apresenta um canal em seu centro, denominado canal medular, preenchido por líquido.

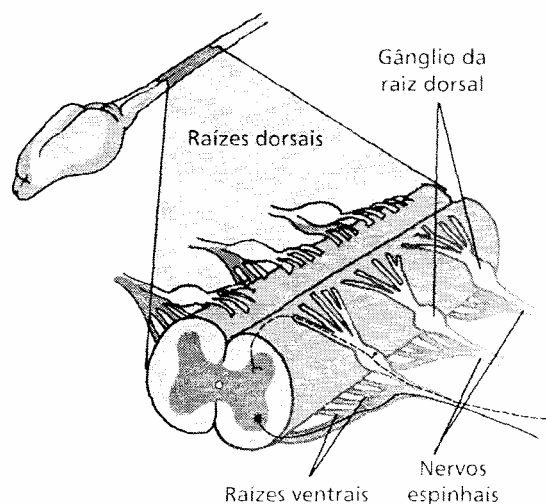


Figura 5.7: Raízes dorsal e ventral da medula espinhal. O “H” medular, localizado na região mais central, é onde ficam dispostos os corpos celulares de neurônios medulares. Estas células emitem axônios que saem da medula pela raiz ventral, ou recebem conexões que chegam a ela pela raiz dorsal, cujas células estão localizadas nos gânglios da raiz dorsal. Note que as raízes dorsal (sensitiva) e ventral (motora) se unem para formar os nervos espinhais, que apresentam sempre composição mista.

A medula carrega sensações oriundas do tronco, membros superiores, inferiores e controla os seus músculos. Já o tronco cerebral, que aparece logo acima dela, está relacionado com as sensações oriundas da pele, músculos e articulações da cabeça e pescoço, e com os sentidos da visão, audição, olfato, paladar e com o equilíbrio corporal.

O tronco encefálico: bulbo, ponte, mesencéfalo

O tronco encefálico aparece logo acima da medula. Tem relevos e depressões em sua estrutura externa. Estes acidentes anatômicos recebem nomes específicos e nos permitem delimitar o bulbo, a ponte e o mesencéfalo, como visto na Figura 5.5. Os neurônios que formam o tronco encefálico se agrupam em núcleos (agrupamento de neurônios de forma organizada) enquanto seus axônios se agrupam em feixes denominados tratos, fascículos ou lemniscos (assim como denominamos “nervos” os agrupamentos de axônios do SNP). Esses grupos de neurônios recebem informações de regiões mais inferiores, como a medula, e de regiões mais superiores, como o córtex cerebral, podendo ser encarados como subestações de processamento de informação. Em geral, os neurônios localizados no tronco apresentam três funções principais:

1. Recebem informações sensitivas de todo o corpo e as repassam para outros neurônios localizados em estruturas mais superiores.
2. Transmitem informações motoras do encéfalo para a medula espinhal.
3. Regulam nosso estado atencional, uma função ainda não completamente compreendida.

Muitas outras funções específicas podem ser destacadas para cada um dos segmentos que constituem o tronco encefálico.

O bulbo encefálico é uma estrutura com organização funcional muito semelhante à da medula espinhal, com agregados de células que constituem núcleos, e feixes de axônios (Figura 5.8a). Acima do bulbo encontra-se a ponte, composta por um grande número de neurônios que retransmitem as informações vindas dos hemisférios cerebrais para o cerebelo (mais detalhes a

seguir). Existem núcleos que se estendem do bulbo até a ponte e atuam para regular a pressão arterial e a respiração (Figura 5.8b).

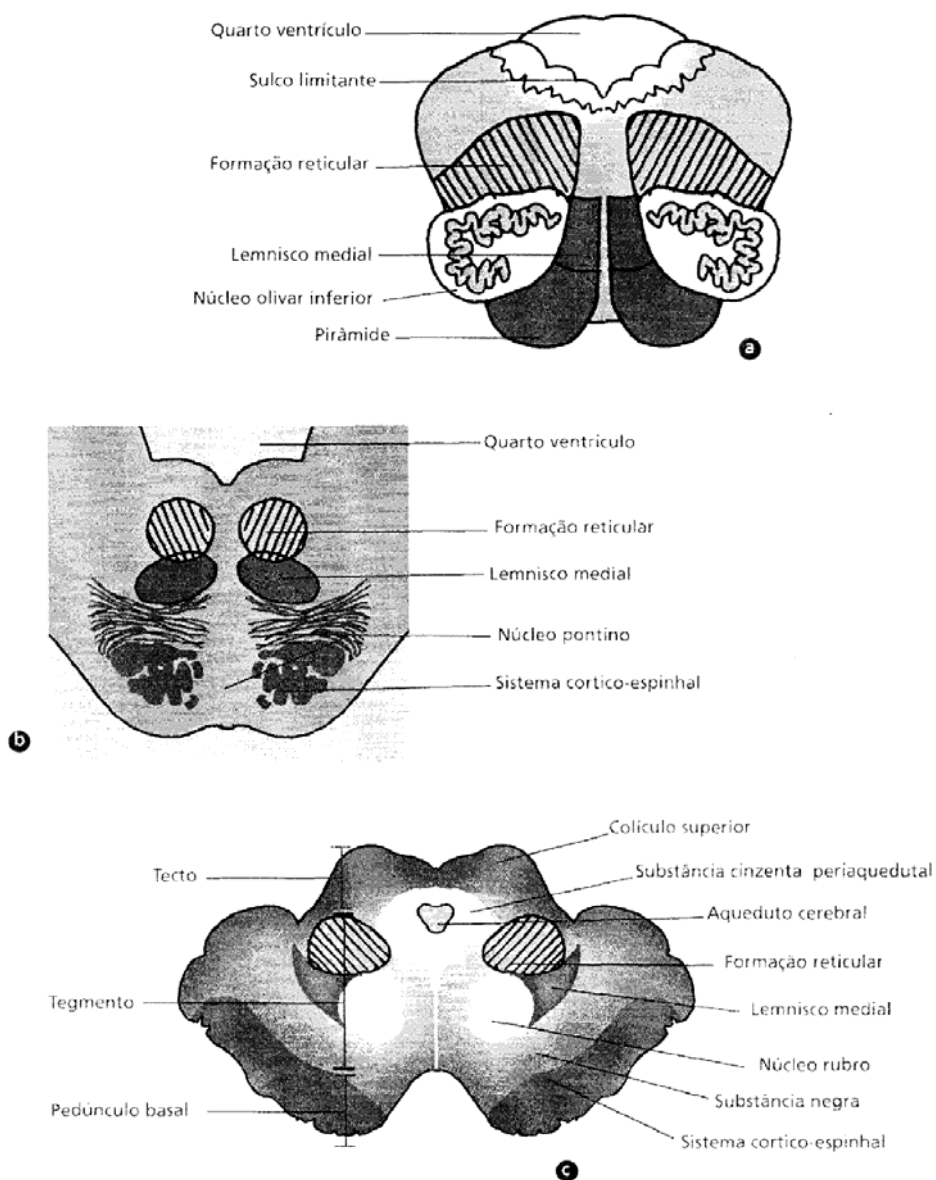


Figura 5.8: Corte transversal no nível do bulbo (a), da ponte (b) e do mesencéfalo (c) mostrando as diferenças morfológicas nos diferentes níveis do tronco encefálico.

O mesencéfalo é a menor parte do tronco cerebral e fica situado acima da ponte. Nele encontraremos vários núcleos, dentre os quais podemos destacar aqueles responsáveis pelo controle dos movimentos dos olhos (Figura 5.9c). Na parte posterior do mesencéfalo, observam-se quatro protuberâncias chamadas corpos quadrigêmeos ou colículos (dois superiores e dois inferiores), que são estruturas características do mesencéfalo cujos neurônios participam no processamento visual e auditivo.

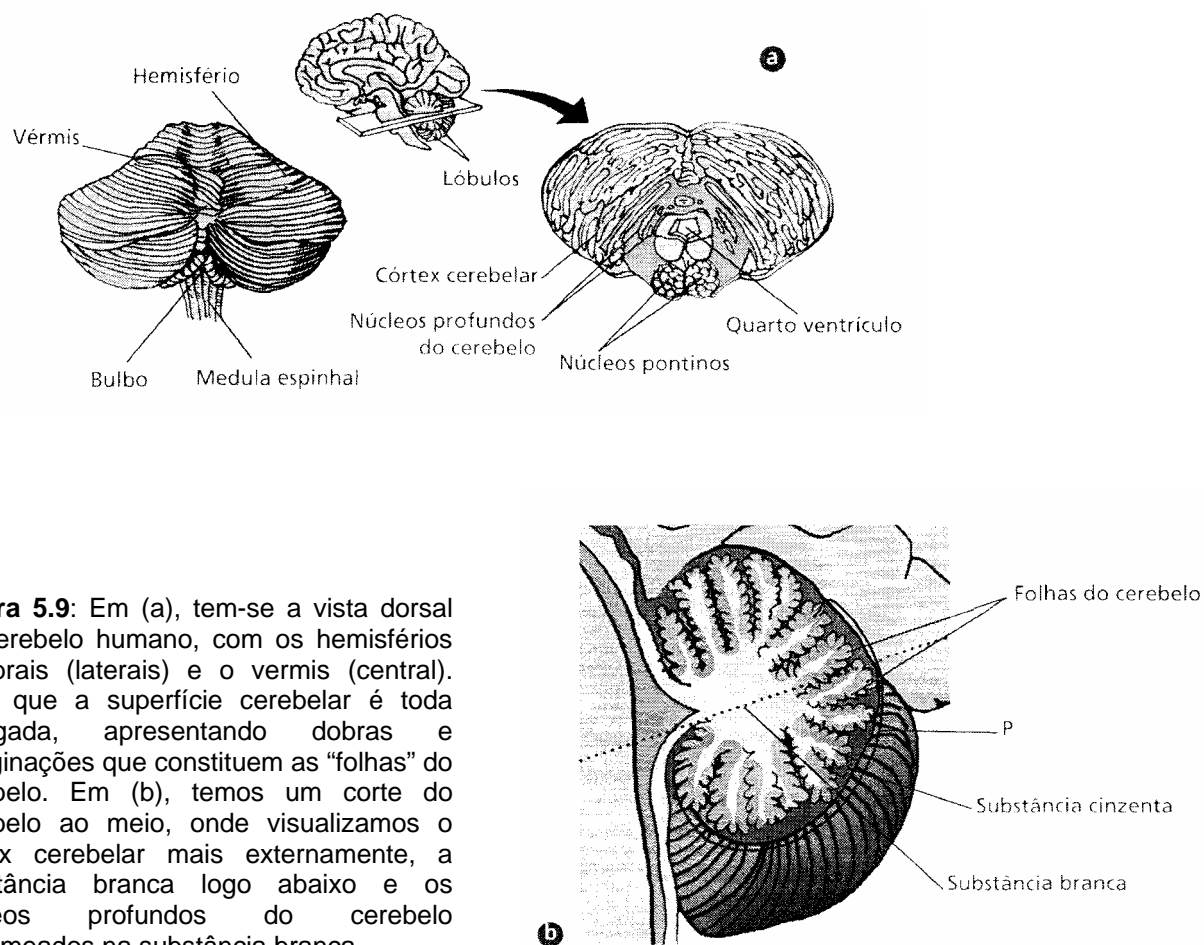


Figura 5.9: Em (a), tem-se a vista dorsal do cerebelo humano, com os hemisférios cerebrais (laterais) e o vermis (central). Note que a superfície cerebelar é toda enrugada, apresentando dobras e invaginações que constituem as “folhas” do cerebelo. Em (b), temos um corte do cerebelo ao meio, onde visualizamos o córtex cerebelar mais externamente, a substância branca logo abaixo e os núcleos profundos do cerebelo entremeados na substância branca.

Cerebelo: o responsável pelo equilíbrio

Atrás da ponte, constituindo o teto do quarto ventrículo (veja adiante os ventrículos cerebrais e a circulação liquórica), está o cerebelo, que, de maneira semelhante ao cérebro, tem dois hemisférios, com pequenas dobras em sua superfície, as folhas (Figuras 5.5 e 5.9). Se cortarmos o cerebelo em duas

partes, veremos uma porção acinzentada mais periférica, uma porção esbranquiçada mais interna e, no meio desta, umas pequenas “ilhas” acinzentadas. Estas estruturas correspondem, respectivamente, ao córtex cerebelar, à substância branca e aos núcleos profundos do cerebelo (Figura 5.9b). O cerebelo possui um intrincado circuito intrínseco e extrínseco: recebe axônios provenientes da medula, do bulbo, dos órgãos vestibulares e do córtex cerebral, e dele partem axônios em direção a essas mesmas estruturas. Dessa forma, o cerebelo participa da coordenação dos movimentos dos músculos esqueléticos, no equilíbrio e manutenção da postura, pois integra as informações que chegam das vias sensoriais da medula, das vias motoras do córtex cerebral e dos órgãos vestibulares do ouvido interno.

O diencefalo e a homeostase: tálamo, hipotálamo e epítalamo

Quase todas as informações sensoriais que se dirigem para o córtex cerebral são processadas (organizadas) e distribuídas pelo tálamo, que fica situado logo acima do mesencéfalo. É uma segunda estação de processamento, para onde convergem informações visuais, auditivas, gustativas, táteis e dolorosas. Estas informações chegam ao tálamo por feixes de fibras independentes e permanecem separadas até chegarem ao córtex cerebral, a última estação de processamento do sistema nervoso (Figura 5.10). O tálamo é uma estrutura globosa que pode ser separada em núcleos funcionais, mas a separação anatômica não é muito clara.

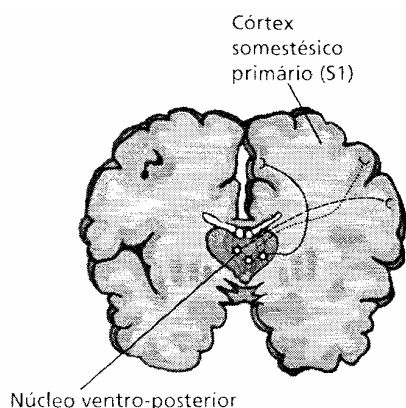


Figura 5.10: Via de processamento somestésico (tato). As informações táteis captadas em um lado do corpo seguem pela medula e cruzam para o lado oposto ao nível do bulbo encefálico. De lá, a informação segue para o tálamo, e finalmente para o córtex somestésico primário.

O hipotálamo, situado ventralmente ao tálamo, regula as funções do SNA e as sensações hormonais através da glândula hipófise. Recebe e envia

informações via tálamo, mesencéfalo e algumas áreas corticais que participam da função do SNA. O conhecimento a respeito da organização hipotalâmica é bem maior do que o descrito para o epitélamo, sendo este núcleo o menor componente diencefálico. Ele está relacionado principalmente com a produção de melatonina pela glândula pineal.

Os hemisférios cerebrais

Nos seres humanos, os dois hemisférios cerebrais constituem a parte mais volumosa do encéfalo, normalmente chamado cérebro. Esses hemisférios são formados pelo córtex cerebral, a substância branca subjacente, a formação hipocampal, a amígdala, e por três núcleos profundos, os quais juntos formam os chamados núcleos (ou gânglios) da base. Os hemisférios cerebrais são separados por uma depressão profunda, a fissura inter-hemisférica. Essas estruturas estão funcionalmente relacionados com a percepção, cognição, memória, emoções e funções motoras elaboradas.

O córtex cerebral

Os hemisférios cerebrais têm um aspecto enrugado, formando o que se chama de circunvoluções. Suas superfícies são recobertas por uma fina camada celular de 2mm de espessura, chamada córtex cerebral. As circunvoluções são formadas por depressões denominadas sulcos, que separam regiões mais elevadas chamadas giros.

Como a posição de certos sulcos é a mesma em todos os seres humanos, podemos dividir o córtex em cinco porções, denominadas lobos cerebrais (Figuras 5.5a e 5.5c). Os nomes de quatro deles correspondem aos ossos do crânio suprajacentes: frontal, parietal, temporal e occipital (Figura 5.11). O quinto lobo recebe o nome de lobo da insula e está localizado mais internamente, só podendo ser visualizado afastando-se o lobo temporal (Figura 5.11).

Cada um dos lobos está relacionado a funções específicas:

- O lobo parietal está mais relacionado ao processamento de funções táteis;
- O lobo temporal processa informações auditivas e de linguagem;
- O lobo occipital é o encarregado de processar todas as informações visuais.
- O lobo frontal controla nossas funções motoras e ali também se localizam áreas importantes de processamento de memória.
- O lobo da insula está envolvido com as nossas emoções e nossos comportamentos.

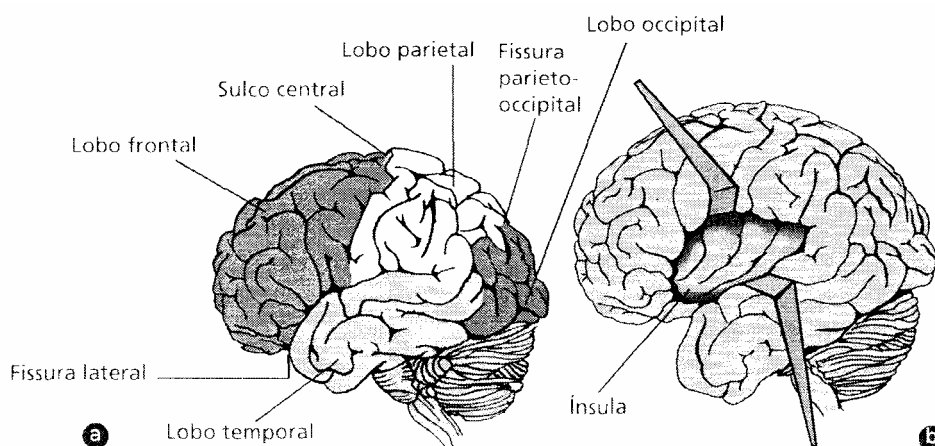


Figura 5.11: Em (a), podemos visualizar quatro dos cinco lobos no hemisfério cerebral esquerdo (frontal, parietal, occipital e temporal). O limite entre o frontal e o parietal é o sulco central; entre o parietal e o temporal é a fissura lateral, e entre o parietal e o occipital é a fissura parieto-occipital. Em (b), visualizamos o lobo da insula, após o afastamento dos lobos frontal e temporal.

Existem ainda áreas corticais chamadas áreas de associação, distribuídas nos diferentes lobos corticais. A função destas áreas é integrar e processar informações de outras áreas corticais, envolvendo as três principais funções do cérebro: percepção, motivação e movimento.

De uma forma resumida, podemos dizer que as áreas sensoriais corticais recebem as informações sensoriais vindas da periferia com poucas

sinapses intermediárias. Essas informações são, então, processadas nessas áreas e repassadas para as áreas de associação que promovem um elo entre sensação e ação, fazendo conexões com as áreas motoras. As áreas motoras, por sua vez, exercem controle sobre neurônios motores (produtores de nossas ações). O córtex cerebral é a região de processamento mais complexo em nosso cérebro, e dele partem nossos atos voluntários motores e nossas reações afetivas. Ele também armazena grande parte de nossas memórias, de modo muito semelhante ao processador de um computador.

Meninges: proteção extra para o sistema nervoso

Entre os ossos do crânio e o sistema nervoso existe um sistema de proteção extra, formado por três envoltórios, as meninges (Figura 5.12).

A meninge mais externa é a dura-máter, também chamada paquimeninge. A mais rígida das meninges, a dura-máter, é formada de tecido conjuntivo rico em fibroblastos que produzem uma grande quantidade de colágeno. A dura-máter medular acompanha a forma da medula, mas permite a saída dos nervos espinhais, fundindo-se com a camada mais externa dos nervos, o epineuro.

Abaixo da dura-máter aparece a meninge aracnóide, mais delgada, porém separada dela por uma fina camada de líquido cefalorraquidiano. Esse estreito espaço entre a dura-máter e a aracnóide é conhecido como espaço subdural. As trabéculas da aracnóide são completamente preenchidas pelo líquido cefalorraquidiano, formando um espaço subaracnóideo, onde também há vasos sanguíneos (Figura 5.12).

A terceira das meninges é a pia-máter, situada diretamente na superfície do sistema nervoso. É a mais fina e delicada de todas e recobre completamente as estruturas do SNC, defletindo-se para acompanhar os giros e sulcos dos hemisférios cerebrais. Por serem mais delgadas, a aracnóide e a pia-máter são também chamadas leptomeninges.

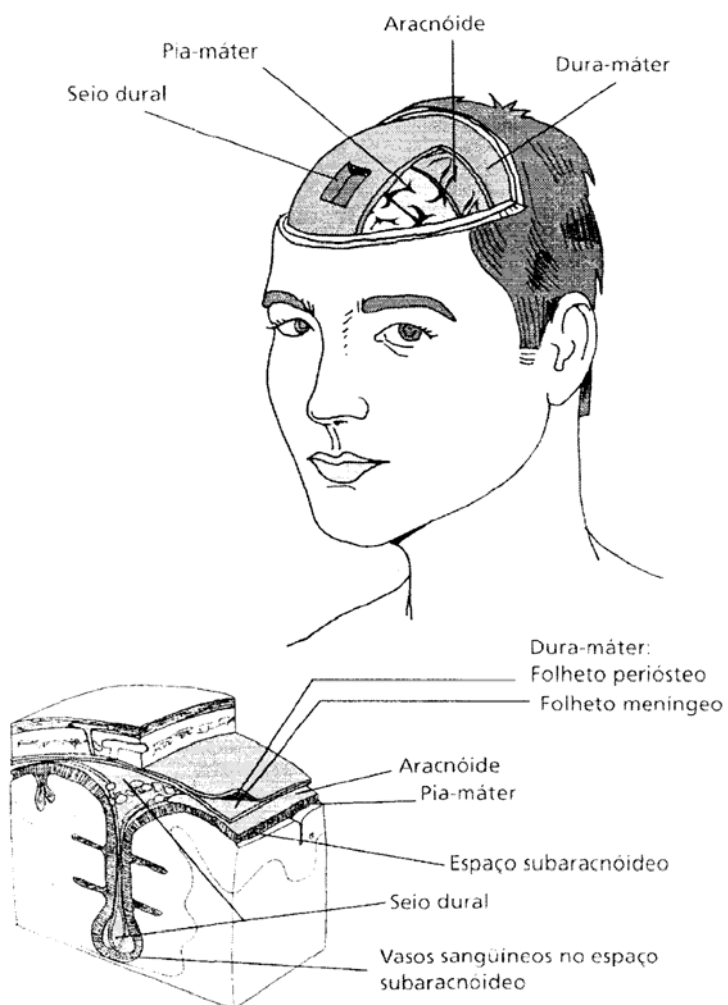


Figura 5.12: Retirando-se a pele e a calota craniana, é possível observar as meninges que revestem o encéfalo: dura-máter, aracnóide e pia-máter. A dura-máter apresenta dois folhetos, um periosteio e outro meníngeo.

Conclusão

O Sistema Nervoso (SN) é certamente o mais complexo dentre os sistemas orgânicos. Podemos descrevê-lo como um grupo de vários subsistemas que operaram de maneira interligada. Entre os resultados deste trabalho em conjunto, estão as capacidades de obter informações do meio externo, decodificá-las, compreendê-las e reagir apropriadamente ao que percebemos. Para compreendermos seu funcionamento, estudamos sua organização anatômica, que, apesar de complexa, obedece alguns princípios básicos. Além disso, podemos dizer que, para funcionar bem, o SN precisa ser bem nutrido (por meio de uma irrigação sanguínea), sem contudo entrar em contato direto com o sangue, o que poderia comprometer a integridade deste sistema.

Texto de:

Alfred Sholl-Franco

Daniela Uziel

Adaptado por:

Roberta F. Ribeiro Rolando