

1 – INTRODUÇÃO

O tecido nervoso encontra-se distribuído pelo organismo, mas está interligado, resultando no sistema nervoso. Forma órgãos como o encéfalo e a medula espinhal, que compõem o *sistema nervoso central* (SNC), e o tecido nervoso localizado além do sistema nervoso central é denominado *sistema nervoso periférico* (SNP). Este é constituído por aglomerados de neurônios, os gânglios nervosos, e por feixes de prolongamentos dos neurônios, os nervos.

2 – FUNÇÕES

O tecido nervoso recebe informações do meio ambiente através dos sentidos (visão, audição, olfato, gosto e tato) e do meio interno, como temperatura, estiramento e níveis de substâncias. Processa essas informações e elabora uma resposta que pode resultar em ações, como a contração muscular e a secreção de glândulas, em sensações, como dor e prazer, ou em informações cognitivas, como o pensamento, o aprendizado e a criatividade. Ele é ainda capaz de armazenar essas informações para uso posterior: é a memória.

3 – COMPONENTES

O tecido nervoso apresenta abundância e variedade de células, mas é pobre em matriz extracelular.

Os *neurônios* são responsáveis pela transmissão da informação através da diferença de potencial

elétrico na sua membrana, enquanto as demais células, as *células da neuróglia* (ou *glia*), sustentam-nos e podem participar da atividade neural ou da defesa. No SNC, essas células são os astrócitos, os oligodendrócitos, as células da micróglia e as células endométricas. No SNP, são as células-satélites e as células de Schwann.

3.1 – Neurônios

3.1.1 – Estrutura e ultraestrutura

Os neurônios estão entre as menores e as maiores células do organismo, com diâmetro entre 5 e 150 μm . São formados por um corpo celular, que contém o núcleo e outras organelas e do qual partem os prolongamentos, que são os dendritos e o axônio.

A *forma do corpo celular* varia conforme o tipo e a localização do neurônio, podendo ser *piramidal* (Figura 4.1), *piriforme* (Figura 4.2) ou *esférica* (Figura 4.3).

O núcleo é grande, esférico ou ovoide e claro, por causa da cromatina frouxa, e tem um nucléolo proeminente. O retículo endoplasmático rugoso é bem desenvolvido e há abundância de ribossomos livres (Figura 4.4), o que confere basofilia ao citoplasma, inclusive na forma de grânulos. Antes do advento da microscopia eletrônica e, portanto, da compreensão do que significavam, esses grânulos basófilos foram denominados *substância de Nissl* (Figura 4.3). Essas características estão relacionadas com a intensa atividade na síntese proteica. Além das proteínas necessárias para manter a sua estrutura e o seu metabolismo, produzem os *neurotransmissores*, que são importantes na transmissão das informações.

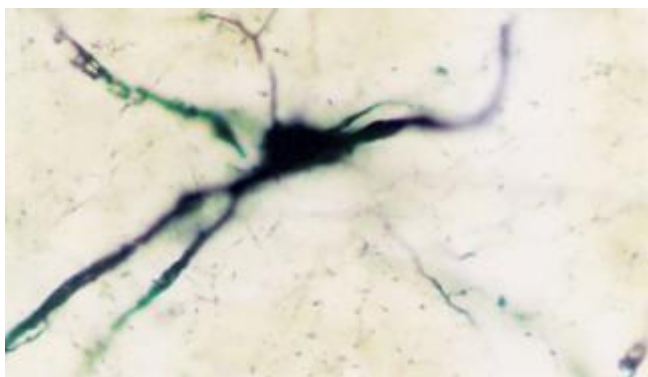


Figura 4.1 - Neurônio piramidal do cérebro. Impregnação pela prata pelo método de Golgi. 1.373x.

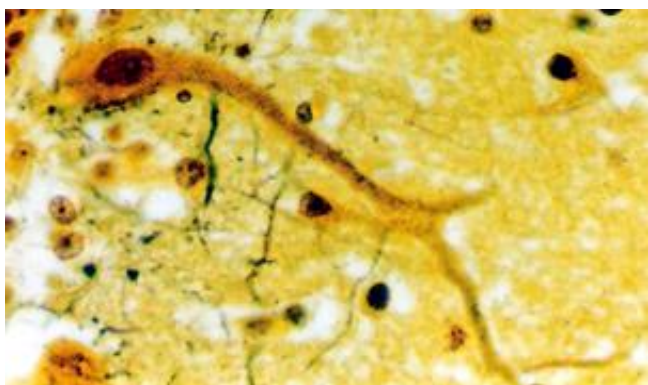


Figura 4.2 - Célula de Purkinje do cerebelo. Método de Cajal-Castro. 550x.

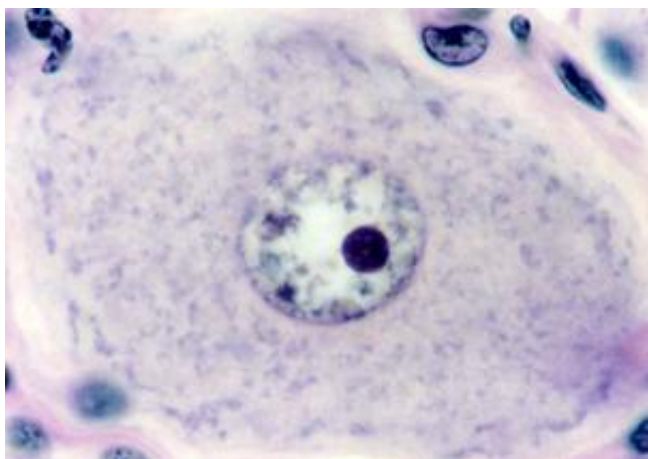


Figura 4.3 - Neurônio pseudounipolar do gânglio sensitivo. HE. 851x.

O Golgi, também implicado na síntese dessas substâncias, é volumoso e localiza-se em torno do núcleo (Figura 4.4). As mitocôndrias, presentes por todo o neurônio, estão relacionadas com a elevada necessidade energética, especialmente para os gradientes eletroquímicos do impulso nervoso.

Os lisossomos são numerosos devido à intensa renovação da membrana plasmática e de outros componentes celulares (Figura 4.4). Com o envelhecimento, corpúsculos residuais contendo lipofuscina, um pigmento pardacento, concentram-se, o que pode comprimir as organelas e o núcleo, afetando as suas atividades.

Pigmentos contendo ferro podem ser observados em certos neurônios do SNC e também se acumulam com a idade. Grânulos de melanina de coloração marrom-escuro a negra estão presentes em certos neurônios do SNC e do SNP. Gotículas lipídicas podem ser encontradas, e elas representam uma reserva de energia ou, em grande número, podem ser decorrentes de uma falha no metabolismo lipídico.

O citoesqueleto (Figura 4.4), constituído por filamentos de actina, filamentos intermediários (*neurofilamentos*), microtúbulos e proteínas motoras, como a dineína e a cinesina, é bastante organizado e mantém o formato da célula, sustenta os prolongamentos e permite o transporte de organelas e substâncias.

Como as moléculas de cinesina migram em direção à extremidade + dos microtúbulos, elas possibilitam o movimento de vesículas e organelas do corpo celular para a extremidade do axônio (movimento anterógrado), enquanto as dineínas, que migram para a extremidade - dos microtúbulos, realizam o transporte da extremidade do axônio para o corpo celular (movimento retrógrado).

Partículas estranhas, como os vírus da raiva e do herpes simples, são levadas do axônio para o corpo do neurônio associadas aos microtúbulos.

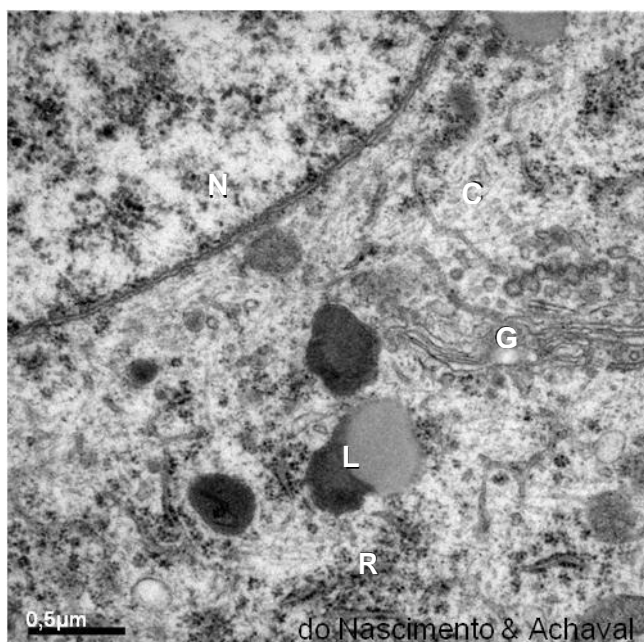


Figura 4.4 - Eletromicrografia de neurônio pseudounipolar, onde se observam parte do núcleo (N) e do citoplasma, com RER (R), Golgi (G), lisossomos (L) e citoesqueleto (C) bem desenvolvidos.

Os *dendritos* são as terminações aferentes, isto é, recebem os estímulos do meio ambiente, de células epiteliais sensoriais ou de outros neurônios. Eles se ramificam, afinando até as extremidades e exibem pequenas expansões bulbosas, os espinhos dendríticos, onde ocorre o contato com outros neurônios (Figura 4.5).

Há uma perda de *espinhos dendríticos* com a idade e com a deficiência nutricional.

O *axônio* é um prolongamento eferente do neurônio. Ele conduz os impulsos a outro neurônio, a células musculares ou glandulares. Ele é bem mais longo que os dendritos, podendo ter mais de 1m de comprimento, e seu diâmetro é constante, sendo que a espessura está diretamente relacionada à velocidade de condução.

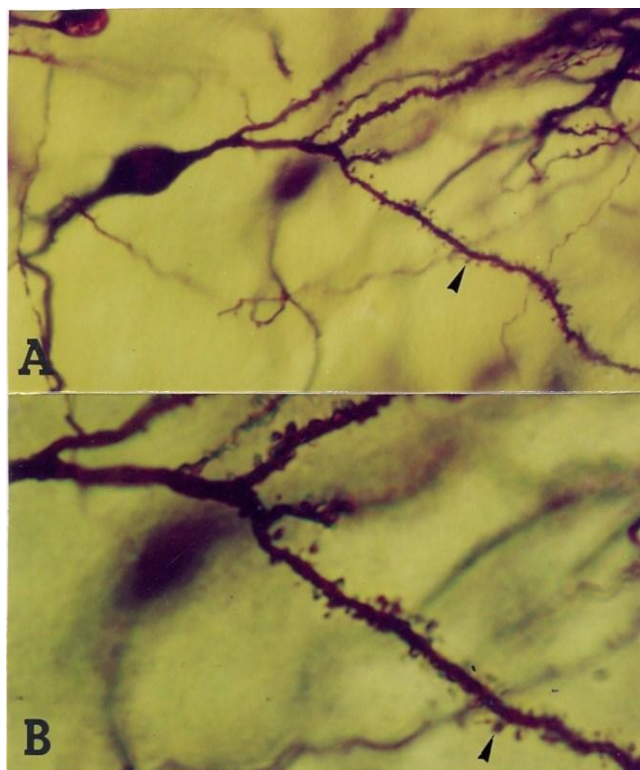


Figura 4.5 - Espinhos dendríticos. Método de Golgi. A – 416x; B – 1040x. Cortesia de Simone Marcuzzo e Matilde Elena Achaval.

Ele é distinguido dos dendritos por não possuir retículo endoplasmático rugoso e, portanto, não ter os grânulos basófilos. A região do corpo celular onde nasce o axônio é o cone de implantação (Figura 4.6).

A porção final do axônio é o telodendro. Ele se ramifica e se dilata nas extremidades, onde há o contato com a célula seguinte (botões sinápticos).

Em alguns neurônios, o corpo celular e a extremidade proximal do axônio podem possuir uma capacidade sensorial, e, em outros, os dendritos podem transmitir impulsos.

No SNC, há uma segregação entre os corpos celulares dos neurônios e os seus prolongamentos, de modo que duas porções distintas sejam reconhecidas macroscopicamente: a *substância cinzenta*, onde se situam os corpos celulares dos neurônios e parte dos

seus prolongamentos e as células da glia, e a *substância branca*, que contém somente os prolongamentos dos neurônios e as células da glia (Figuras 4.7 a 4.11). A presença da mielina, um material lipídico esbranquiçado que envolve o axônio, é responsável pela coloração branca.

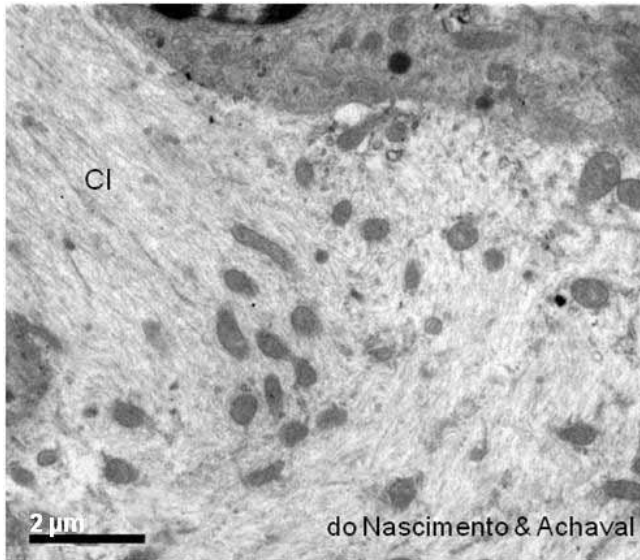


Figura 4.6 - Eletromicrografia do cone de implantação (CI) de neurônio pseudounipolar, onde é possível notar a ausência do RER e a abundância de neurofilamentos.

3.1.2 – Classificação

De acordo com o número de prolongamentos, os neurônios podem ser classificados em:

- *neurônios bipolares*, que apresentam dois prolongamentos, um dendrito e um axônio. Ocorrem, por exemplo, na retina, na mucosa olfatória e nos gânglios da cóclea e do vestibulo na orelha;
- *neurônios pseudounipolares*, os quais surgem na vida embrionária como neurônios bipolares, mas os dois prolongamentos fundem-se próximo ao corpo celular. As arborizações terminais do ramo periférico recebem estímulos, funcionando como dendritos, e estes estímulos, sem passar pelo corpo celular,

transitam para o axônio, que se dirige para o SNC. Ocorrem nos gânglios sensitivos (Figura 4.3);

– *neurônios multipolares*, que apresentam mais de dois prolongamentos celulares. É a maioria dos neurônios. Estão presentes no cérebro (Figuras 4.1 e 4.7), no cerebelo (Figuras 4.2 e 4.9) e na medula espinhal (Figuras 4.10 e 4.11).

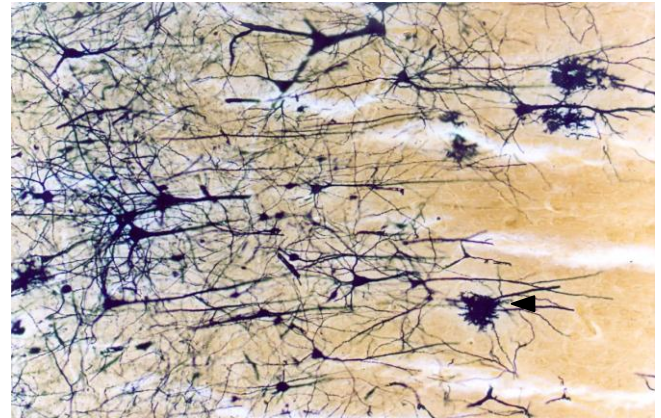


Figura 4.7 - O córtex do cérebro é de substância cinzenta, ou seja, nessa região, estão presentes os corpos dos neurônios, além das células da glia, como os astrócitos protoplasmáticos (►). 137x.

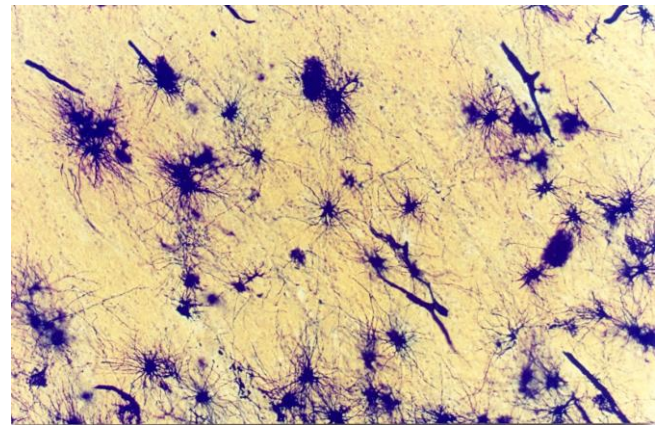


Figura 4.8 - A substância branca está posicionada internamente no cérebro. Ela não contém corpos dos neurônios e contém, entre as células da glia, os astrócitos fibrosos. 137x.

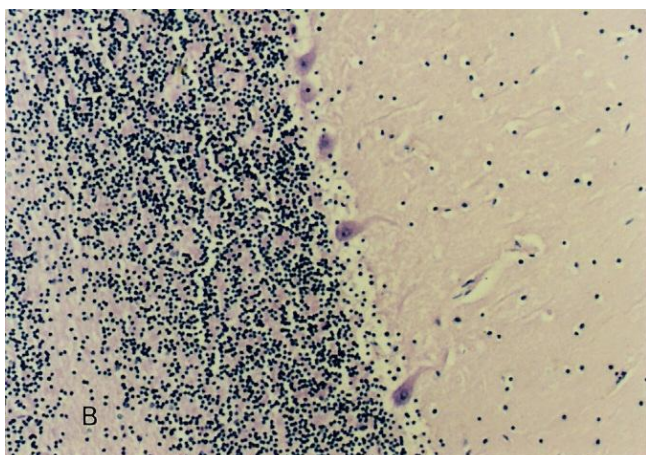


Figura 4.9 - O córtex do cerebelo é de substância cinzenta e tem três camadas: camada molecular (mais externa e com poucos neurônios), camada de células de Purkinje (neurônios multipolares, cujos dendritos se projetam para a camada molecular) e camada granulosa (com neurônios multipolares, os menores neurônios do corpo). B - substância branca. HE. 137x.

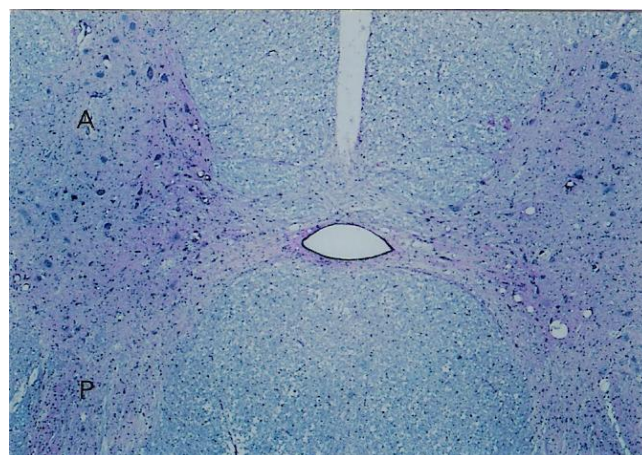


Figura 4.10 - Na medula espinhal, a substância cinzenta localiza-se internamente e forma os cornos ventrais ou anteriores (A), que contêm neurônios multipolares, cujos axônios conduzem os impulsos para os músculos, e os cornos dorsais ou posteriores (P), onde entram os axônios dos neurônios situados nos gânglios sensitivos, que captam estímulos do ambiente externo ou interno. No centro, há o canal medular (ou endimário). HE. 34x.

Segundo a sua função, os neurônios são classificados em:

- *neurônios sensoriais* (aférentes), que recebem estímulos sensoriais do meio ambiente e do próprio organismo e os conduzem ao SNC para o processamento. São neurônios pseudounipolares;
- *interneurônios*, que estabelecem conexões entre outros neurônios. Estão localizados no SNC. Muitos são neurônios bipolares;
- *neurônios motores* (eferentes), que se originam no SNC e conduzem os impulsos para outros neurônios, glândulas ou músculos. São neurônios multipolares.

3.1.3 – Funções

Os neurônios formam uma rede de conexões capaz de captar informações dos receptores sensoriais, de processar essas informações, de originar uma memória e de gerar os sinais apropriados para as células eferentes.

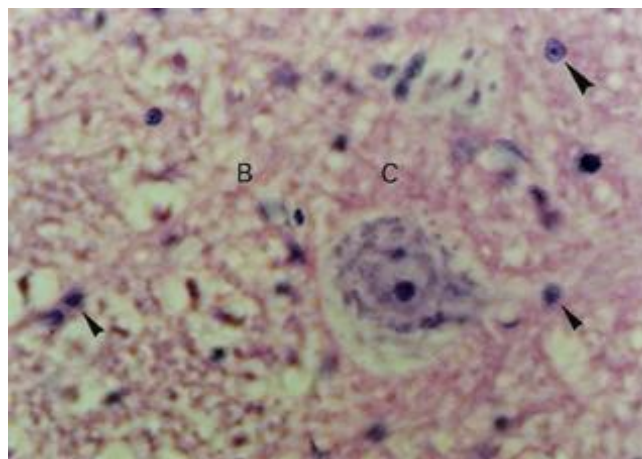


Figura 4.11 - Substância cinzenta (C) e substância branca (B) da medula espinhal. O neurônio é volumoso para manter o longo axônio. Além do nucléolo proeminente, é possível visualizar a cromatina sexual no núcleo. O citoplasma é rico na substância de Nissl. Núcleos de astrócito (▶) e oligodendrócitos (▶) são indicados. A substância branca contém os axônios envolvidos pela bainha de mielina produzida pelos oligodendrócitos, resultando nas fibras nervosas. HE. 550x.

3.1.4 – Transmissão do impulso nervoso

Nos mamíferos, a concentração de K^+ é maior no interior da célula, enquanto a de Na^+ e de Cl^- é maior no exterior. O íon Na^+ , por ser osmoticamente ativo, não deve se acumular na célula, e bombas de Na^+K^+ realizam o transporte ativo de três íons Na^+ para fora da célula, enquanto dois íons K^+ são levados para dentro. Os íons K^+ saem da célula pelos canais vazantes de K^+ , mas há poucos canais de Na^+ e Cl^- abertos para o retorno desses íons. Então o exterior da célula é mais positivo do que o interior. Essa diferença de carga elétrica entre as faces interna e externa da membrana plasmática faz com que as células sejam polarizadas eletricamente em -70 mV (*potencial de repouso*).

Esse potencial através da membrana é geralmente constante na maioria das células, mas, nos neurônios e nas células musculares, ele pode sofrer modificações, fazendo com que essas células sejam capazes de conduzir um sinal elétrico.

A estimulação de um neurônio causa a abertura de canais de Na^+ em uma pequena região da membrana, levando a um influxo de Na^+ que despolariza a membrana, isto é, o interior torna-se mais positivo ($+30$ mV) do que o exterior (*potencial de ação*). Os canais de Na^+ fecham-se durante 1 a 2mseg e, neste período, não podem abrir: é o período refratário. Os canais de K^+ controlados pela voltagem abrem-se, e, com a saída desses íons, o potencial de repouso da membrana é recuperado. Eles então se fecham, e o período refratário termina.

A despolarização da membrana, que ocorre graças à abertura dos canais de Na^+ , difunde-se passivamente por uma curta distância e dispara a abertura de canais adjacentes. Dessa forma, a onda de despolarização (o *impulso nervoso*) é conduzida ao longo do axônio. Quando alcança a porção terminal, promove a saída de íons ou a exocitose de mediadores químicos, os neurotransmissores.

Os locais de contato entre dois neurônios ou entre um neurônio e a célula efetora, como uma célula glandular ou uma célula muscular, são as *sinapses* (do grego *synapses*, união). Quando o axônio de um

neurônio faz contato com o dendrito de outro neurônio, tem-se a sinapse axodendrítica; quando o axônio contacta o corpo celular, a sinapse axossomática, e, quando o contato é entre axônios, a sinapse axoaxônica. A sinapse entre um neurônio e uma célula muscular é a *junção neuromuscular* (ou *placa motora*) (Figura 4.12).

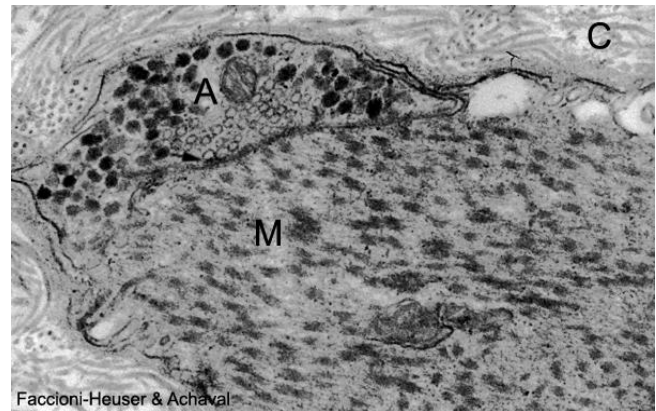


Figura 4.12 - Eletromicrografia de junção neuromuscular: as vesículas do axônio (A) fusionam-se na fenda sináptica (\rightarrow), liberando os neurotransmissores para modular a contração da célula muscular (M). C- tecido conjuntivo. 32.000x.

As sinapses que envolvem a passagem de íons são ditas elétricas, e aquelas com a liberação de mediadores químicos, químicas.

Nas *sinapses elétricas*, os íons são transmitidos de uma célula à outra por junções comunicantes. Essas sinapses não são comuns nos mamíferos. Elas estão presentes no córtex e no tronco cerebrais e na retina.

Nas *sinapses químicas*, quando a despolarização da membrana alcança a porção terminal do axônio, o *botão sináptico*, canais de Ca^{2+} abrem-se, e a entrada desses íons provoca a fusão das vesículas sinápticas à membrana celular (membrana pré-sináptica) e a consequente exocitose dos neurotransmissores em um pequeno espaço (de 20 a 30nm) entre as duas células, a *fenda sináptica*.

Eles se difundem e se aderem a receptores associados a canais iônicos na membrana da outra célula (membrana pós-sináptica). Há a abertura dos

canais, e a passagem de certos íons despolariza a membrana dessa célula. As moléculas sinalizadoras podem ainda se ligar a receptores associados a proteínas G, que ativam um segundo mensageiro.

As duas membranas da sinapse permanecem unidas através de moléculas de adesão das células neurais (N-CAM) e integrinas. A vesícula sináptica une-se à membrana pré-sináptica através de proteínas de ancoragem (sinaptobrevina na vesícula e sintaxina na membrana) e de um complexo de proteínas de ligação (NSF, α SNAP, β SNAP e SNAP25; NSF de *N-ethylmaleimide-sensitive fusion*, fusão sensível à N-etilmaleimida, e SNAP de *soluble NSF attachment proteins*, proteínas de fixação à NSF solúvel). Proteínas fusogênicas promovem a fusão das membranas e a consequente exocitose.

Os neurotransmissores podem ser aminas, como acetilcolina, noradrenalina, dopamina, serotonina e histamina; aminoácidos, como glutamato, aspartato, ácido γ -aminobutírico (GABA) e glicina; peptídeos, como encefalina, β -endorfina, dinorfina, neuropeptídeo Y, substância P e neurotensina; purinas, como o ATP, e compostos gasosos, como NO (e possivelmente CO). Os peptídeos são sintetizados no RER do corpo celular e chegam ao botão sináptico por transporte anterógrado. Os demais neurotransmissores são sintetizados no terminal axônico.

Conforme o tipo de neurotransmissor liberado, diferentes respostas ocorrem na célula-alvo. Por exemplo, a acetilcolina e o glutamato despolarizam a célula efetora ao se ligarem aos receptores e desencadearem a abertura dos canais de Na^+ (efeito excitatório). O GABA e a glicina permitem a entrada de pequenos íons negativos, levando à hiperpolarização, que inibe a despolarização (efeito inibitório). As monoaminas, como a dopamina e a 5-hidroxitriptamina, e pequenos neuropeptídeos geram mensageiros secundários, como o AMPc, que modificam a sensibilidade da célula à despolarização (neuromodulação).

Como os axônios podem ser excitadores, inibidores ou moduladores, o neurônio-alvo integra os estímulos para gerar a resposta. Após exercer sua

função, os neurotransmissores são degradados por enzimas.

A dopamina é responsável pela coordenação e fluidez de movimentos. A destruição dos neurônios com essa substância (neurônios que contêm melanina e constituem a substância negra) resulta na *doença de Parkinson*, a qual se caracteriza por movimentos rígidos e lentos e por tremores.

3.2 – Astrócitos

São as maiores células da glia. Possuem um núcleo grande, ovoides ou ligeiramente irregular, com cromatina frouxa e nucléolo central (Figura 4.11). Apresentam lâmina basal e prolongamentos, os quais contêm a *proteína ácida fibrilar glial* (GFAP de *glial fibrillary acidic protein*), um filamento intermediário específico dos astrócitos. Os astrócitos comunicam-se uns com os outros por junções *gap*.

A morfologia estrelada dessas células não é evidente nos cortes corados por HE, sendo necessário o uso de métodos especiais de coloração, como a impregnação por prata pelo método de Golgi ou a imunoperoxidase, que se liga à GFAP.

Os astrócitos são classificados morfológicamente em *protoplasmáticos* ou *fibrosos* segundo a abundância e o comprimento de seus prolongamentos. Os primeiros apresentam muitos prolongamentos, mas curtos e espessos, com poucos feixes de GFAP; os segundos, menos prolongamentos e mais longos, ricos em GFAP. Trata-se de um único tipo de célula, com variações morfológicas determinadas pela localização: os astrócitos protoplasmáticos são encontrados na substância cinzenta, e os astrócitos fibrosos, na substância branca (Figuras 4.7, 4.8, 4.13 e 4.14).

Os astrócitos secretam interleucinas e fatores de crescimento, como o fator de crescimento de fibroblastos (FGF), o fator de crescimento epidérmico (EGF) e o fator de necrose tumoral (TNF- β), que são importantes para a morfogênese dos neurônios vizinhos, para a diferenciação dos astrócitos e para a

resposta dessas células a eventos traumáticos ou patológicos.

Durante o desenvolvimento, a trama de astrócitos guia a migração dos neurônios, contribuindo para o estabelecimento de sinapses adequadas. No cérebro desenvolvido, pela presença em torno dos neurônios, os astrócitos servem de isolante e impedem a propagação desordenada dos impulsos nervosos.

Na superfície do cérebro, os prolongamentos dos astrócitos protoplasmáticos formam uma camada, a *glia limitante*.

As extremidades dos prolongamentos dos astrócitos circundam os vasos sanguíneos como placas achatadas, os *pés vasculares* (Figura 4.14). Através deles, nutrientes são levados para os neurônios e neurotransmissores e íons em excesso, como o K^+ decorrente da intensa atividade neuronal, são retirados do fluido extracelular.

Os pés vasculares modificam a estrutura do endotélio, tornando-o bastante impermeável: praticamente não ocorre pinocitose, não há poros e estabelecem-se zônulas de oclusão e uma lâmina basal contínua.

O O_2 , o CO_2 , a H_2O e pequenas substâncias lipossolúveis, incluindo algumas drogas, passam por difusão pelas células endoteliais ou entre elas. A glicose, os aminoácidos e os íons necessitam de proteínas transportadoras. Macromoléculas presentes no sangue, no entanto, são impedidas de entrar no tecido nervoso pelos capilares envolvidos pelos prolongamentos dos astrócitos (*barreira hematoencefálica*), protegendo os neurônios de substâncias tóxicas.

3.3 – Oligodendrócitos

Com HE, são reconhecidos pelo núcleo esférico, com um halo claro ao redor (Figura 4.11), fruto da sua fragilidade pelos poucos elementos do citoesqueleto.

Com a impregnação pela prata, percebe-se que são menores do que os astrócitos e possuem prolongamentos curtos e finos (Figura 4.13).

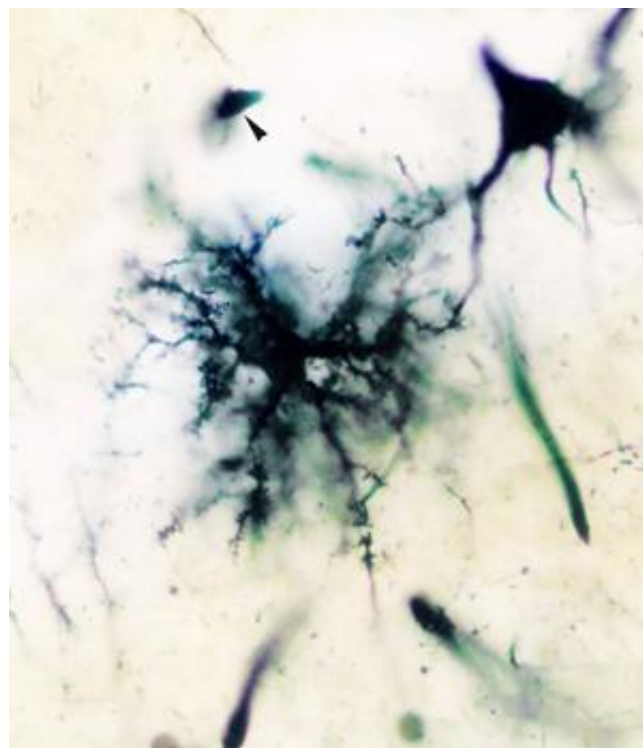


Figura 4.13 - Astrócito protoplasmático fazendo contato com os dendritos de um neurônio. Um oligodendrócito é apontado. Método de Golgi. 1.373x.

Para sua identificação precisa, pode ser realizada uma coloração imunocitoquímica para as proteínas relacionadas com a mielina, como a proteína básica da mielina.

São encontrados tanto na substância cinzenta, como na branca do SNC. Na substância cinzenta, estão próximos aos corpos celulares dos neurônios. Há uma interdependência no metabolismo destas células: quando um estímulo provoca alteração química em um neurônio, modificações químicas também ocorrem nos oligodendrócitos.

Na substância branca, os oligodendrócitos, através de seus prolongamentos, envolvem segmentos de vários axônios (até 200). Quanto maior o calibre do

axônio, mais voltas do prolongamento são dadas. O citoplasma é empurrado para o corpo da célula, ficando praticamente somente a membrana plasmática em torno do axônio. Essa membrana é rica em lipídios especiais, como o glicolipídio galactocerebrosídeo. A camada envoltória é a *bainha de mielina*.

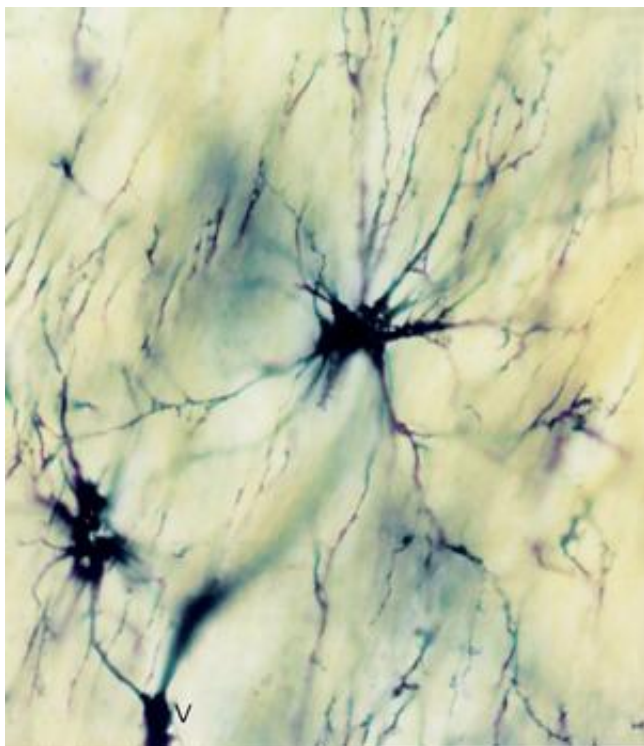


Figura 4.14 - Dois astrócitos fibrosos, sendo que o prolongamento de um deles envolve um vaso sanguíneo (V). Método de Golgi. 1.373x.

A mielina é dissolvida pelos álcoois do processamento histológico, mas pode ser preservada quando o material biológico é fixado pelo tetróxido de ósmio, que se liga aos lipídios, dando-lhe cor negra e tornando-a eletrodensa.

Os astrócitos fibrosos também contribuem para a mielinização.

O axônio e a bainha envoltória constituem a *fibra nervosa*. Axônios de pequeno diâmetro são isolados pelos prolongamentos das células da glia, sem a formação de mielina, e as fibras nervosas são ditas

amielínicas. As fibras com bainha de mielina são *mielínicas*.

O envolvimento por mielina não é contínuo ao longo do axônio. Ocorre em pequenos segmentos de 1 a 2mm. Entre estes, há uma área nua do axônio, o *nódulo de Ranvier*, onde se concentram os canais de Na^+ . A porção do axônio com bainha de mielina entre dois nódulos é o *internódulo*. Como a mielina funciona como um isolante, as alterações da polaridade da membrana acontecem nos nódulos de Ranvier. Portanto, o impulso salta de um nódulo de Ranvier para outro (*condução saltatória*), sendo extremamente rápida e gastando menos energia.

Na *esclerose múltipla*, uma doença autoimune, a destruição da mielina em algumas regiões do SNC retarda o impulso nervoso, o que tem consequências neurológicas, como distúrbios visuais, formigamento, fadiga muscular e perda da sensibilidade, do equilíbrio e da coordenação.

As fibras nervosas agrupam-se em feixes, resultando nos *tractos* no SNC e nos *nervos* no SNP.

Os oligodendrócitos não são capazes de proliferar em caso de lesão do tecido nervoso. Eles não sofrem mitose. Um tipo de célula imatura diferencia-se nele ou no astrócito.

3.4 – Células da micróglia

Estão presentes na substância cinzenta e na substância branca do SNC. São macrófagos especializados: removem resíduos e células mortas, atuam como células apresentadoras de antígenos e secretam citocinas. De modo semelhante aos macrófagos, os seus precursores originam-se na medula óssea.

O corpo da célula da micróglia é alongado e pequeno, com prolongamentos curtos e ramificados. O núcleo tem forma de bastão ou vírgula e cromatina condensada. Com HE, é possível visualizar somente o

núcleo, sendo necessária a imunocitoquímica para o antígeno comum dos leucócitos (classe II HLA) para a marcação da célula inteira. Entre as organelas, há uma predominância de lisossomos.

Prolongamentos dos neurônios podem ser regenerados, mas lesões no corpo celular provocam a morte do neurônio. Como o neurônio exerce uma influência trófica sobre a célula com qual faz sinapse, especialmente as células musculares e glandulares, a sua morte pode levar a célula-efetora à atrofia.

No SNC, quando os neurônios morrem, eles são removidos pelas células da micróglia e por macrófagos, e a área lesada é reparada pela proliferação dos astrócitos (*glioses*).

Os circuitos neuronais são capazes de se reorganizar após uma lesão, recuperando a atividade perdida (*plasticidade neuronal*). Novas sinapses são estabelecidas com o crescimento dos prolongamentos de neurônios, estimulados por fatores de crescimento, as neurotrofinas, produzidas por neurônios e pelas células da glia.

3.5 – Células endimárias

São células cúbicas ou colunares, com um núcleo ovoide, basal e com cromatina condensada (Figura 4.15). Revestem as cavidades cerebrais (ventrículos) e o canal central da medula espinhal (Figura 4.10).

No embrião, as células endimárias são ciliadas, e algumas se mantêm assim no adulto. Podem possuir também microvilos. Elas se colocam lado a lado e unem-se por desmossomos, lembrando um tecido epitelial, mas não se apóiam sobre uma lâmina basal. Possuem prolongamentos que se colocam no interior do tecido nervoso, mesclando-se com os prolongamentos dos astrócitos subjacentes (Figura 4.15).

As células endimárias que revestem os ventrículos transportam íons e água, produzindo o líquido cerebrospinal (ou cefalorraquidiano). Os cílios podem facilitar o seu movimento.

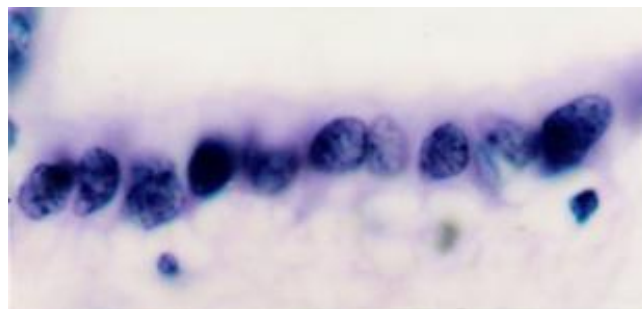


Figura 4.15 - Células endimárias. HE. 1.373x.

3.6 – Células-satélites e células de Schwann

Estas células estão localizadas no SNP. As células-satélites estão ao redor dos corpos dos neurônios nos gânglios nervosos (Figuras 4.3, 4.16 a 4.18). São pequenas, com núcleo claro e nucléolo proeminente. Desempenham funções semelhantes àquelas dos astrócitos.

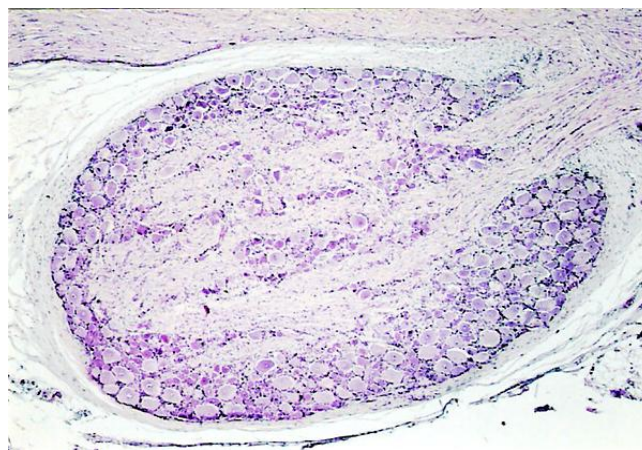


Figura 4.16 - Gânglio sensitivo (ou cerebrospinal). Possui uma cápsula de tecido conjuntivo denso não modelado. Os corpos dos neurônios pseudounipolares, circundados pelas células-satélites, predominam na zona cortical, e as fibras nervosas situam-se na zona medular. Entre os elementos nervosos, há fibroblastos e fibras colágenas. Os prolongamentos dos neurônios captam estímulos dos ambientes interno e externo e os enviam para o cérebro pelos nervos cranianos ou para a medula espinhal pelos nervos espinhais. HE. 34x.

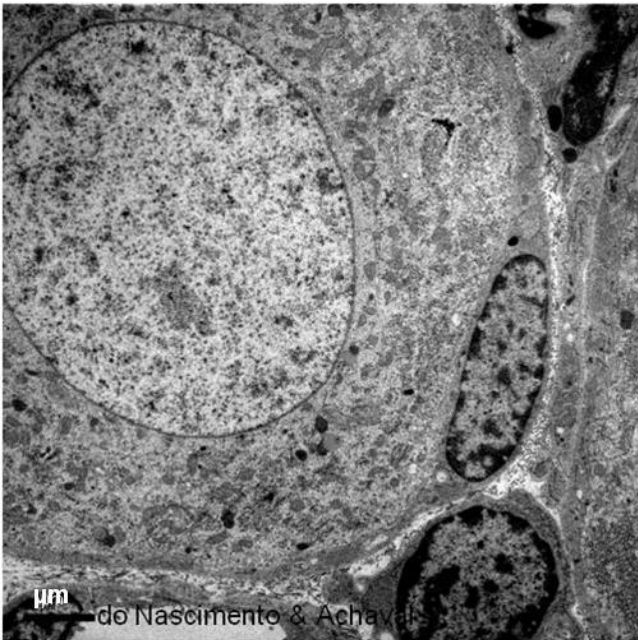


Figura 4.17 - Eletromicrografia do neurônio pseudounipolar com célula-satélite adjacente.

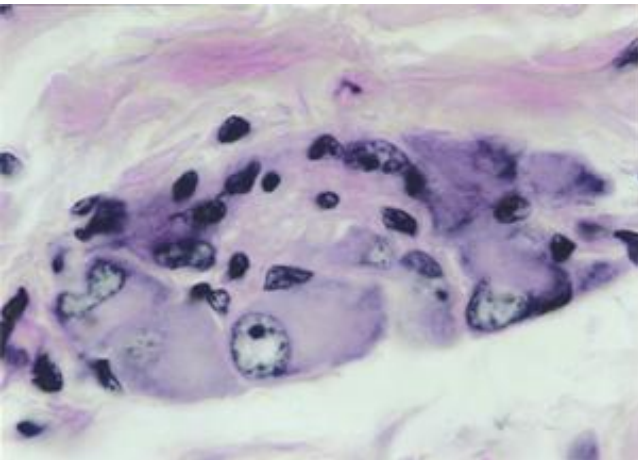


Figura 4.18 - Gânglio intramural do intestino. Apresenta neurônios multipolares e poucas células-satélites. HE. 851x.

As células de Schwann são alongadas, com núcleo também alongado, Golgi pouco desenvolvido e poucas mitocôndrias. São circundadas pela lâmina basal (ou externa). Não possuem prolongamentos e com seu próprio corpo, dando até mais de 50 voltas,

envolvem o axônio e formam a *fibra nervosa* (Figuras 4.19 a 4.21).

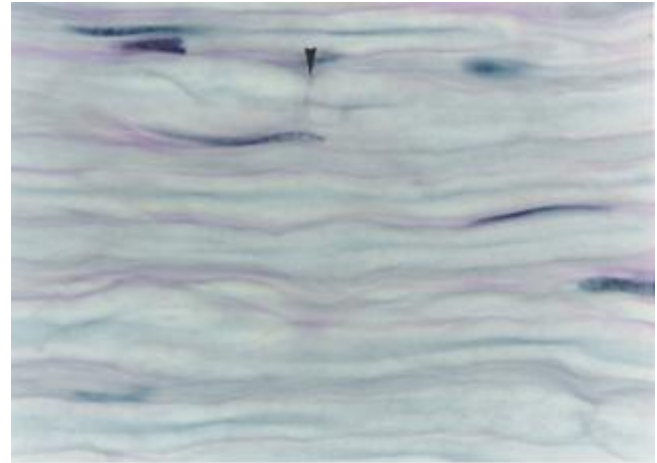


Figura 4.19 - Fibras nervosas de um nervo em corte longitudinal. É possível observar os axônios envolvidos pela bainha de mielina, núcleos de células de Schwann e nódulos de Ranvier (►). HE. 851x.

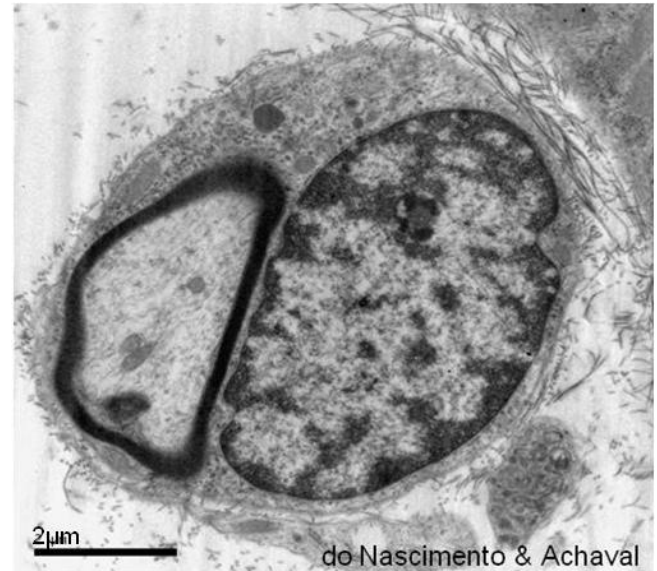


Figura 4.20 - Eletromicrografia da célula de Schwann envolvendo o axônio (corte transversal).

O aprisionamento de certa quantidade do citoplasma das células de Schwann pela mielina forma as incisuras de Schmidt-Lantermann.

Como o axônio é longo, várias células de Schwann são necessárias para envolvê-lo. Se a célula de Schwann for afetada, a fibra nervosa também será, mas o dano no SNP é menor do que no SNC, porque o oligodendrócito é responsável por várias fibras nervosas.

Enquanto, no SNC, os axônios estão totalmente expostos nos nódulos de Ranvier, no SNP, eles estão parcialmente revestidos por projeções de citoplasma das células de Schwann adjacentes.

Há junções de oclusão nos prolongamentos interdigitantes das células de Schwann, nas incisuras de Schmidt-Lantermann e entre a célula de Schwann e o axônio na região paranodal.

Os axônios de pequeno diâmetro invaginam-se em recessos da célula de Schwann, e não há formação da bainha de mielina, tendo-se as fibras amielínicas (Figura 4.21). Uma única célula pode envolver mais de um axônio. As células de Schwann unem-se lateralmente, e não existem nódulos de Ranvier. O impulso nervoso é conduzido por uma onda progressiva de alteração da permeabilidade da membrana.

Muitos nervos são constituídos por fibras mielínicas e amielínicas. Devido à cor da mielina, os nervos são esbranquiçados, exceto os raros nervos com somente fibras amielínicas.

Os nervos estabelecem comunicação entre os centros nervosos, os órgãos da sensibilidade e os efetores, como músculos e glândulas. As fibras que levam as informações obtidas no meio ambiente e no interior do corpo são aferentes, e aquelas que conduzem impulsos dos centros nervosos para os órgãos efetores, eferentes.

Os nervos que possuem apenas fibras aferentes são chamados de sensitivos, e aqueles com fibras eferentes, motores. A maioria dos nervos, contudo, tem fibras dos dois tipos, e esses nervos são mistos.

Os nervos cujos corpos dos neurônios estão no encéfalo são os nervos cranianos, enquanto aqueles que os têm na medula espinhal são os nervos espinhais.

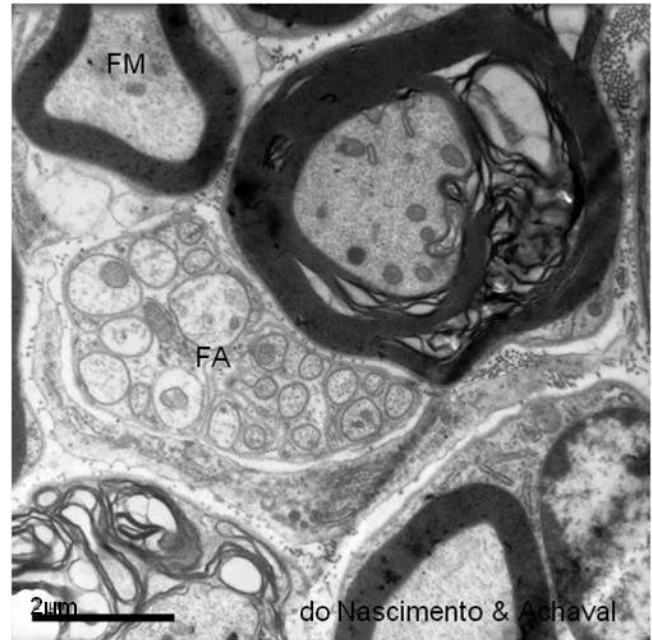


Figura 4.21 - Eletromicrografia de fibras nervosas de um rato com diabetes induzido experimentalmente. Notam-se fibras amielínicas (FA), fibras mielínicas (FM) e fibra mielínica alterada.

No SNP, depois de um corte no nervo, os axônios e a mielina degeneram e são fagocitados pelas células de Schwann e por macrófagos. As células de Schwann proliferam, formando um cordão celular. O axônio cresce e ramifica-se. Somente aquele axônio que penetra o cordão de células de Schwann tem sucesso e alcançará o órgão-efetor.

Quando é grande o espaço entre os cotos proximal e distal ou quando este último é perdido (como ocorre na amputação), os axônios crescem a esmo, resultando em uma dilatação dolorosa, o *neuroma de amputação*.

4 – ENDONEURO, PERINEURO E EPINEURO

O *endoneuro* envolve cada fibra nervosa (Figura 4.22) e consiste em fibras reticulares sintetizadas pelas células de Schwann e em fibras colágenas e glicosaminoglicanos produzidos por fibroblastos esparsos. Podem ser encontrados ainda macrófagos e mastócitos.

O *perineuro* contorna cada feixe e é formado por várias camadas concêntricas de fibroblastos modificados (Figura 4.22). Eles possuem lâmina basal e filamentos de actina associados à membrana plasmática, possibilitando a sua contração. Ligam-se por zônulas de oclusão, o que protege os axônios de agentes nocivos e de mudanças bruscas na composição iônica. Entre as células, há fibras colágenas e elásticas esparsas.

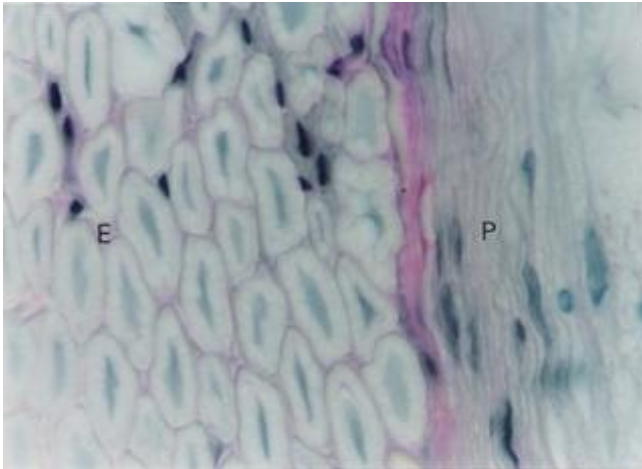


Figura 4.22 - Corte transversal de um nervo mostrando o endoneuro (E) e o perineuro (P). HE. 851x.

O *epineuro* é a camada que reveste o nervo e preenche os espaços entre os feixes de fibras nervosas. É constituído por tecido conjuntivo frouxo, podendo incluir células adiposas, e por tecido conjuntivo denso, cujas fibras colágenas estão orientadas para suportar o estiramento do feixe nervoso.

5 – MENINGES

O SNC é circundado por três camadas protetoras, as meninges (do grego *meninx*, membrana), que são a pia-máter, a aracnoide e a dura-máter.

A *pia-máter* consiste em uma camada de células epiteliais pavimentosas de origem mesenquimatosa, as células meningoteliais, e em tecido conjuntivo frouxo bastante vascularizado. Ela envolve os vasos

sanguíneos ao entrarem no tecido nervoso, resultando nos espaços perivasculares. Pregas da pia-máter revestidas pelo epêndima formam os plexos coróides do terceiro e do quarto ventrículos e dos ventrículos laterais.

A *aracnoide* é composta por tecido conjuntivo denso avascularizado (embora vasos sanguíneos a atravessem) e por células meningoteliais nas superfícies. A região vizinha à pia-máter é trabeculada, e as cavidades correspondem ao espaço subaracnóideo, por onde entram e saem as principais artérias e veias do cérebro.

A aracnoide apresenta, em certos locais, expansões que perfuram a dura-máter e vão terminar em seios venosos: são as vilosidades aracnoideas.

A *dura-máter* é a camada mais externa. Na caixa craniana, está adjacente ao periósteo e, na medula espinal, está separada do periósteo das vértebras pelo espaço epidural, que contém tecido conjuntivo frouxo com células adiposas e um plexo venoso.

É constituída por tecido conjuntivo denso e pelas células meningoteliais na superfície interna e, no caso da coluna vertebral, também na superfície externa.

O líquido cefalorraquidiano, produzido pelas células ependimárias, circula pelos ventrículos cerebrais, pelo espaço subaracnóideo, pelos espaços perivasculares e pelo canal central da medula espinal. Ele permite a difusão dos metabólitos e protege o SNC contra traumatismos ao formar uma camada líquida no espaço subaracnóideo. É reabsorvido pelas células das vilosidades aracnoideas e retorna à corrente sanguínea, nos seios venosos da dura-máter.

A coleta de líquido cefalorraquidiano do espaço subaracnóideo por punção entre a terceira e a quarta ou entre a quarta e a quinta vértebras lombares permite o diagnóstico de doenças do SNC.

6 – QUESTIONÁRIO

1) Quais são as funções do tecido nervoso?

- 2) Descreva as células do tecido nervoso quanto à sua morfologia, função e localização.
- 3) Como são formadas as fibras nervosas?
- 4) O que são e onde são encontrados os gânglios nervosos?
- 5) Como se dá a transmissão do impulso nervoso?

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRADAS, P. C.; CAVALCANTE, L. A.; GOMES, F. C. A.; LIMA, F. R. S.; MOURA-NETO, V.; TRENTIN, A. G. As células da glia. In: CARVALHO, H. F.; COLLARES-BUZATO, C. B. *Células: uma abordagem multidisciplinar*. Barueri: Manole, 2005. p.265-277.
- GARTNER, L. P.; HIATT, J. L. *Tratado de Histologia em cores*. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. p.189-224.
- GENESER, F. *Histologia: com bases moleculares*. 3.ed. Rio de Janeiro: Médica Panamericana/ Guanabara Koogan, 2003. p.259-298.
- JONES, E. G.; COWAN, W. M. In: WEISS, L.; GREEP, R. O. *Histologia*. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981 p.237-310.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p.153-181.
- KIERSZENBAUM, A. L. *Histologia e Biologia celular: uma introdução à Patologia*. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p.223-252.
- KOMURO, T. Re-evaluation of fibroblasts and fibroblast-like cells. *Anatomy and Embryology*, v.182, n.2, p.103-112, 1990.
- ROSS, M. H.; KAYE, G. I.; PAWLINA, W. *Histology: a text and atlas*. 4.ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003. p.282-325.
- STEVENS, A.; LOWE, J. *Histologia humana*. 2.ed. São Paulo: Manole, 2001. p.77-98.