



A RETINA E O NERVO ÓTICO

AUTORES

Erica Fletcher: Universidade de Melbourne

Roger Anderson: Universidade de Ulster

REVISOR

Thomas Fredo: Universidade de Waterloo

ÍNDICE

1. Introdução
2. O Epitélio Pigmentar Retiniano
3. A Retina Neural
4. Características locais e marcos da Retina
5. Tipos de células e conectividade neural dentro da Retina
6. O nervo óptico
7. Leitura adicional

INTRODUÇÃO

A retina forma a camada mais interna do globo ocular, servindo para converter a energia da luz em sinais neurais. É delimitada internamente pelo corpo vítreo e externamente por uma membrana da coróide, membrana de Bruch. A retina, como um todo, consiste num Epitélio pigmentar retiniano (EPR), células epiteliais especializadas que são importantes para a manutenção da integridade dos fotorreceptores, e a retina neural, que contém todos os diferentes neurónios retiniais importantes nos primeiros estágios de processamento de visão. Abaixo, vamos primeiro descrever o PRE, destacando em seguida as características da retina neural.

O EPITÉLIO PIGMENTAR RETINIANA

O epitélio do pigmento da retina (EPR) é uma camada única de células em forma hexagonal que se encontram entre a membrana de Bruch e a retina neural (Figura 6.1). Células EPR contêm um nível elevado de melanina na metade apical de cada célula e são ricos em transportadores e bombeadores metabólicos. O EPR desempenha um papel essencial na manutenção da estrutura normal e integridade da retina, executando as seguintes cinco funções:

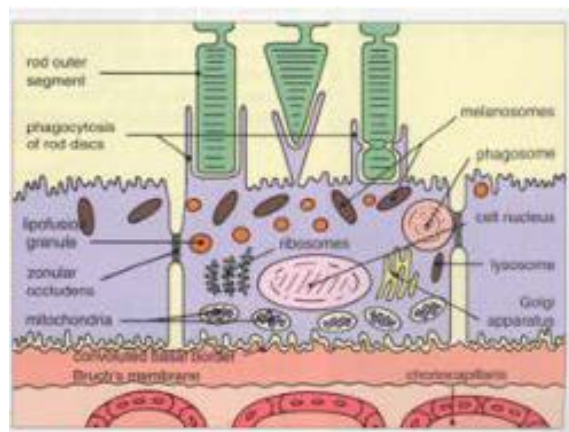
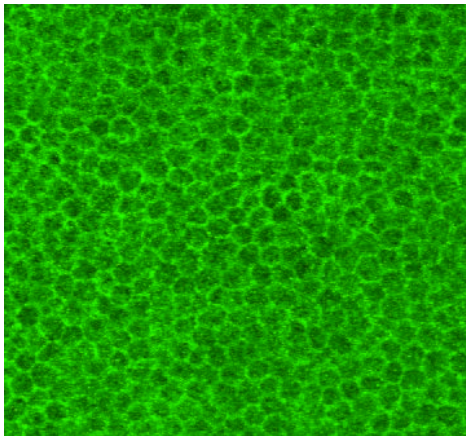


Figure 6.1: (A) O EPR da retina humana; células de forma hexagonal (B) diagrama esquemático do conteúdo de uma célula EPR.

i) Absorção de luz difusora

Grânulos de melanina absorvem fortemente comprimentos de onda visíveis impedindo reflexão interna da luz difusora dentro do globo ocular, melhorando assim a acuidade.

ii) Transporte activo de metabólitos

O bordo com a membrana de Bruch aumenta a área de superfície para os metabólitos que difundem a partir da camada coreocapilar e auxilia a excreção activa de produtos residuais. Uma molécula-chave que é transportada através do EPR é a vitamina A, crucial para fornecer o cromóforo dos fotorreceptores.

iii) Fagocitose dos segmentos externos de fotorreceptores

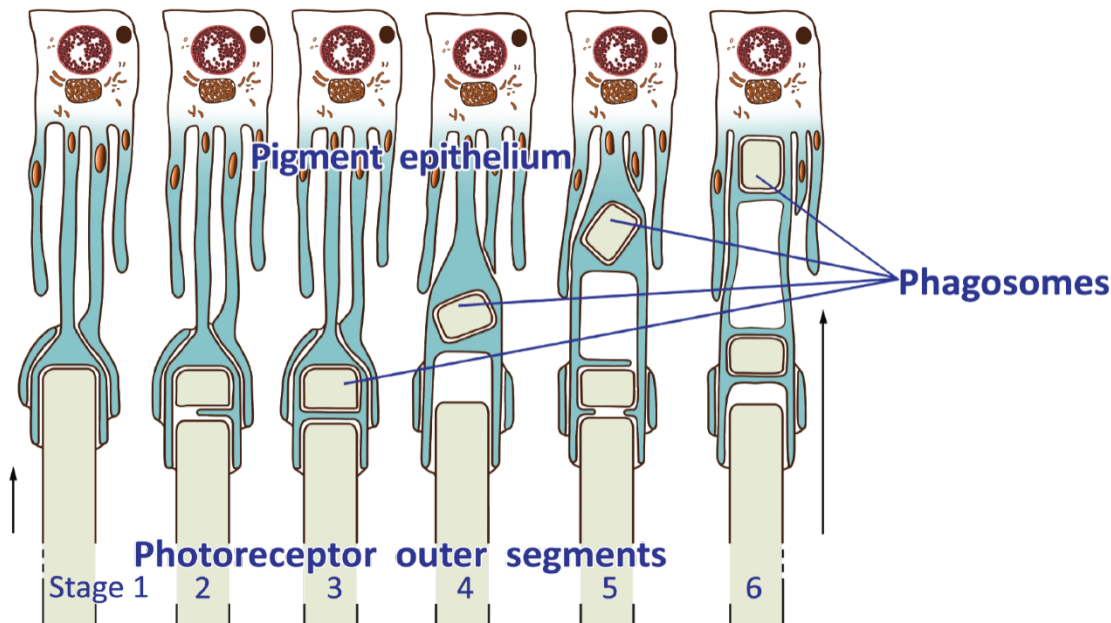


Figura 6.2: Diagrama esquemático mostrando a fagocitose no segmento exterior por células do EPR. Imagem inspirada em {<http://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/photoreceptors/>}

Segmentos externos dos fotorreceptores contêm grandes quantidades de discos contendo fotopigmentos que estão constantemente a ser formados. A fagocitose EPR gasta discos para formar partículas encapsuladas no interior das células EPR, conhecidos como fagossomos (Figura 6.2). Segmentos externos de fotorreceptores ligam-se a receptores específicos, tais como o MerTK que são expressas na superfície apical de células EPR. Segmentos exteriores são então engolidos e degradados pela acção de lisossomas para serem reciclados ou excretados para os coriocalpares. Com a idade, este processo torna-se menos eficiente e partículas parcialmente digeridas permanecem no EPR como lipofuscina ou na membrana de Bruch como drusas.

iv) Formação da barreira hemato-retiniana

As células de EPR estão unidas entre si por uma série de junções apertadas. Juntamente com o transporte activo através das células, essas junções apertadas entre as células evitam a difusão livre de substâncias provenientes dos coriocalpares para a retina neural. Isto, juntamente com as junções apertadas entre as células endoteliais da vasculatura retiniana, constitui a barreira hemato-retiniana.

v) Reciclagem de fotopigmento

O EPR desempenha um papel integral no "ciclo de retinóide", um processo importante para os fotorreceptores activadores de luz voltarem para o seu estado de repouso. Caíndo a luz sobre os segmentos exteriores dos fotorreceptores, inicia-se uma mudança de conformação em 11-cis-retinal (Figura 6.3), o cromóforo que está normalmente ligado a rodopsina. A luz provoca 11-cis retinal para alterar a all-trans-retinal, causando a activação da rodopsina e estimulação de uma cascata de proteína G que, finalmente, conduz ao fecho dos canais de sódio de cGMP e a uma hiperpolarização do potencial da membrana de fotorreceptores. Para que o fotorreceptor volte ao seu estado de repouso, o all-trans-retinal deve ser convertido de volta para 11-cis retinal. Este processo ocorre no interior das células EPR como parte do ciclo retinóide. All-trans-retinal, é transportado para o EPR por uma proteína de transporte chamada proteína de ligação retiniana interfotorreceptora (IRBP), onde é isomerizada por meio de uma série de passos. O passo final envolve o transporte de 11-cis retinal da célula EPR de volta para o fotorreceptor de IRBP.

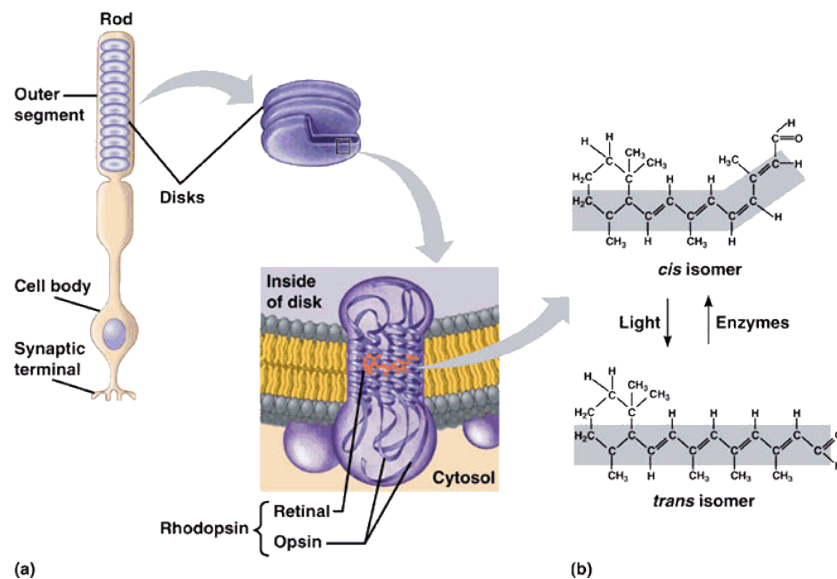


Figura 6.3 . Diagrama esquemático de um disco de fotorreceptores. {Imagem de <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/retinal/retinalv.htm>}

RETINA NEURAL

A retina neural é composta por camadas alternadas de corpos celulares neuronais e camadas sinápticas (Figura 6.4). As seguintes camadas estão ordenadas desde a retina externa (isto é, mais próximo da coróide e esclera) até à retina interna (mais próximo para o interior do globo ocular)

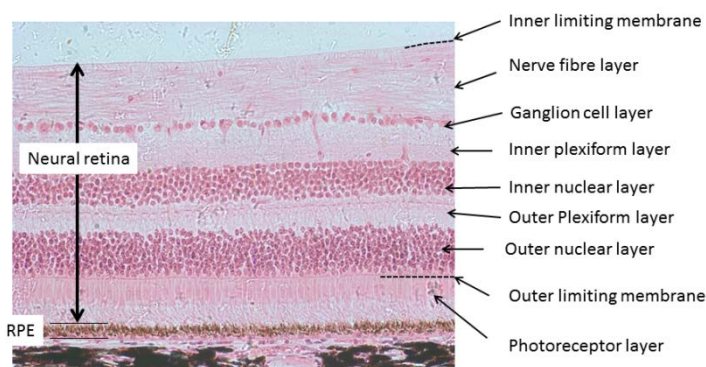


Figura 6.4: Secção transversal através da retina que mostra as camadas.

1. Camada de fotorreceptores (CFR)

É composto por segmentos exteriores e interiores dos bastonetes e cones. Enquanto o segmento externo fotorreceptor contém discos carregados de fotopigmentos e o segmento interno é a "fábrica" do fotorreceptor e é composta por elipsóide (contendo muitas mitocôndrias) e mióide (contendo aparelhos de Golgi e ribossomas). Os fotorreceptores são mais numerosos na fóvea, onde é maior a exigência de acuidade visual.

2. Membrana Limitadora Externa (MLE)

Não é uma verdadeira membrana mas representa o limite exterior das células gliais de Muller que fazem todo o percurso para a superfície vítrea. Consiste em contactos juncionais entre os processos celulares de Muller e os fotorreceptores vizinhos dos segmentos interiores e julga-se que sejam importantes para manter a posição dos fotorreceptores; em particular, o contacto entre as células de segmentos exteriores e EPR.

3. Camada Nuclear Externa (CNL)

Contém os núcleos dos bastonetes e cones, sendo os dos cones um pouco maiores. Os cones têm pouca ou nenhuma fibra exterior, sendo assim observados núcleos mais perto do OLM. Esta camada é mais espessa na fóvea, onde muitas camadas de núcleos podem ser observadas.

4. Camada Plexiforme Externa (CPE)

Contém os terminais sinápticos de fotorreceptores com neurónios de segunda ordem (bipolares e células horizontais). As sinapses entre as hastes e os neurónios de segunda ordem são chamados de esférulas, enquanto a de um cone é chamado de pedículo. Uma haste de uma sinapse, conhecida como esférula, contém uma única "tríade" de processos. Um final do cone sináptico, conhecido como um pedículo, contém até 20 "tríades". Uma tríade é um arranjo sináptico no final sináptico de um fotorreceptor localizado a uma invaginação do pedículo cone ou esférula da haste.

5. Camada Nuclear Interna (CNI)

Consiste nos núcleos dos neurónios de segunda ordem, isto é, as células bipolares, horizontais e amacrinas, juntamente com os núcleos das células de Mueller.

6. Camada Plexiforme Interior (CPI)

Contém os processos de bipolar, amacrinas e células ganglionares e suas sinapses.

7. Camada Gânglio Celular (CGC)

Contém os núcleos dos neurónios de terceira ordem (células do gânglio). Estas células resumem a entrada das células bipolares e amácrinas e passam o sinal através de um longo axónio para os maiores centros visuais.

8. Camada de Fibras Nervosas (CFN)

É composta de axónios de células do gânglio retinal. Os axónios transformam-se em ângulos retos a partir do núcleo para serem executados de uma forma arqueada ao longo da superfície interna da retina, para a cabeça do nervo óptico (Figura 6.5).

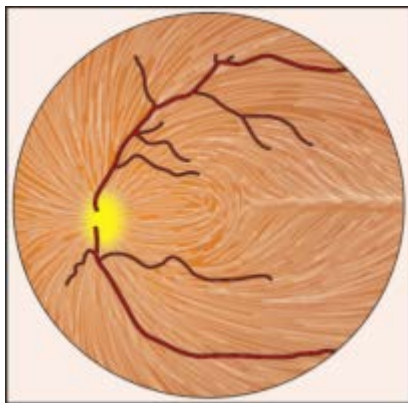


Figura 6.5: Camada de fibras nervosas composta de axónios das células ganglionares que dirigem para nervo óptico em forma arqueada

9. Membrana Limitadora Interna (MLI)

Novamente, não é uma membrana verdadeira. Representa as terminações das células gliais de Müller. A superfície interior está em contacto com o vítreo.



CARACTERÍSTICAS LOCAIS E MARCOS DA RETINA

Uma vista oftalmoscópica do fundo da retina é mostrada na Figura 6.6. A seguir, as características do fundo da retina são descritos em mais detalhe.

Disco óptico ou cabeça do nervo óptico

O disco óptico é a porção visível da cabeça do nervo óptico dentro do olho e aparece como uma mancha amarela oval na vertical, a 5 mm da fóvea no lado nasal do fundo (Figura 6.6). É composta por axônios das células ganglionares da retina acompanhada por tecido glial e vasos sanguíneos. Varia em tamanho entre indivíduos (1-2 mm verticalmente) mas os discos maiores, definidos por um Anel de Elschnig exterior, têm mais espaço para os axônios atravessarem, sendo por isso mais propensos a ter espaço extra sob a forma de cálice óptico. Como fotorreceptores não são encontrados no disco óptico, existe um ponto cego fisiológico neste local.

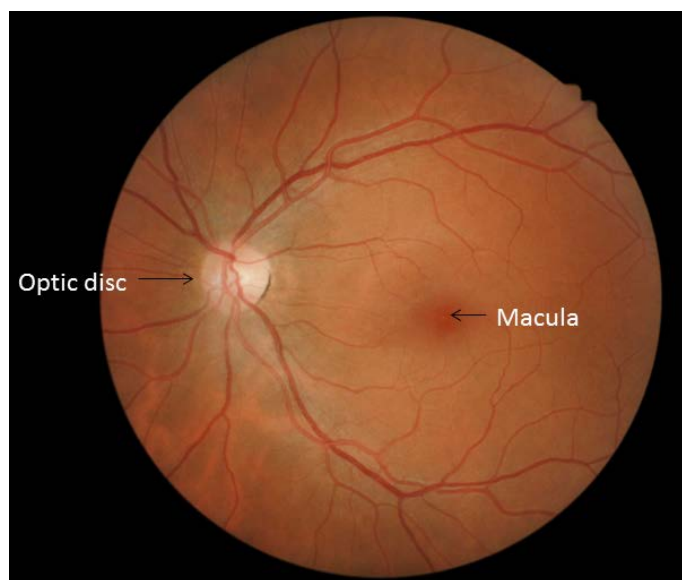


Figura 6.6: Foto fundo da retina que mostra a cabeça do nervo óptico e mácula.

A cabeça do nervo óptico, também serve como o ponto de entrada para a artéria central da retina e a veia para o globo ocular. Estes vasos bifurcam na vertical para formar as arcadas arteriais e venosas superior e inferior que fornecem sangue para o interior da retina (a retina externa é fornecida a partir da coróide).

Mácula

A mácula na retina central é de 5-6 mm de diâmetro, que parece mais escura do que o restante da retina devido a uma mais densa EPR e a presença de pigmentos amarelos de carotenóides (luteína e de zeaxantina) principalmente na camada plexiforme externa (Figura 6.7).

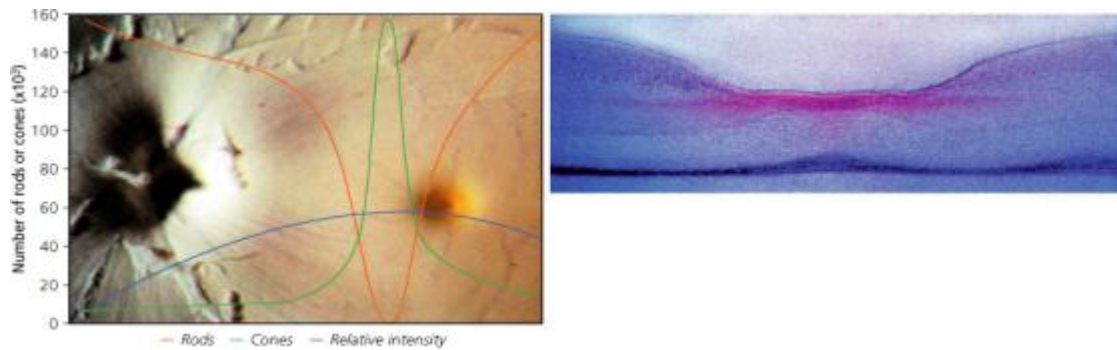


Figure 6.7: Pigmentos carotenóides luteína e zeaxantina observada em camada plexiforme externa na mácula

De interesse significativo nos últimos anos, o papel dos pigmentos carotenóides pode ser dividido em três partes:

- i. *Protecção antioxidante da mácula (uma região de elevado consumo de O₂)*
- ii. *Um filtro para luz de curto comprimento de onda (de maior energia)*
- iii. *Melhoria da qualidade de imagem por filtragem selectiva de "azul-névoa" a partir do meio ambiente e / ou de curto comprimento de onda de dispersão intra-ocular.*

Fóvea

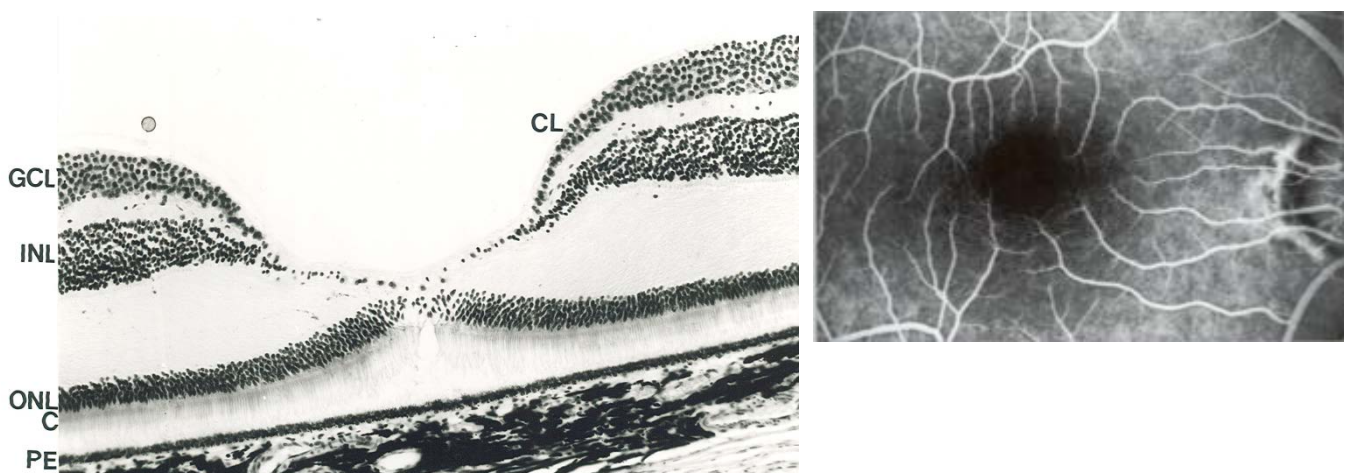


Figura 6.8: Aparecimento de região central da fóvea da retina. Células bipolares e ganglionares deslocadas lateralmente para aumentar a visibilidade dos fotorreceptores. Abreviaturas: PE: epitélio pigmentado da retina; C; cones fotorreceptores; Camada nuclear ONL-exterior; Camada nuclear INL-interno; Camada de células ganglionares GCL-; CL-clívis (B): A imagem a partir de um angiograma de fluoresceína de pólo posterior mostrando maior pigmentação da fóvea e zona avascular foveal que obscurece a fluorescência da coróideia subjacente.

A fóvea é a região da retina central, onde a acuidade visual é a mais elevada. Toma a forma de uma depressão de cerca de 1,5 mm de largura causada pelo deslocamento dos neurónios de ordem superior (células bipolares e ganglionares; Figura 6.8), a fim de minimizar o espalhamento de luz que atinge os fotorreceptores. Deslocação simultânea dos vasos sanguíneos da retina a partir da região acima da fóvea forma uma zona foveal avascular (ZFA) (Figura 6.8) para minimizar angioscotomas (fotorreceptores com obscurecimento por vasos sanguíneos) na região de alta acuidade. Fibras fotorreceptoras desviadas são observadas na fóvea como uma camada de fibras de Henle (Figura 6.9). Camada de fibras de Henle é o equivalente da camada plexiforme exterior na região macular.

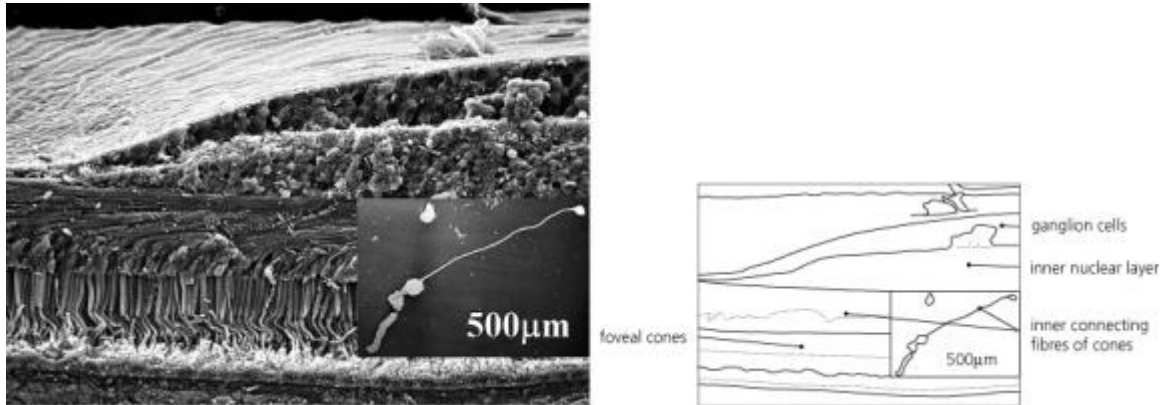


Figura 6.9: Camada de fibras de Henle formada a partir de fibras de fotorreceptores próximos da fóvea.

Fovéola

Localiza-se na parte inferior do poço foveal, a cerca de 0,4 mm de diâmetro.

Ora Serrata

Nomeado assim pela sua aparência irregular (serrilhada), é a junção periférica anterior entre a retina neural e do corpo ciliar (Figura 6.10). As denteções são normalmente presentes apenas no lado nasal do olho. No lado temporal, a junção entre a retina periférica e a margem posterior do corpo ciliar é normalmente uma linha recta.



Figura 6.10: Corte vertical através ora serrata. À direita na imagem, pode ver-se a retina neural. Do lado esquerdo, a pars plana do corpo ciliar.

TIPOS DE CÉLULAS E CONECTIVIDADE NEURAL DENTRO DA RETINA

O circuito principal pelo qual a informação da luz é convertida num sinal neural e, em seguida, passados através da retina envolve fotorreceptores que comunicam com as células bipolares, que por sua vez comunicam com as células ganglionares, os principais neurónios da retina de saída (Figura 6.11). Este circuito é referido como a 'via da retina'. A modulação da retina através da via de base ocorre na retina externa pelos neurónios laterais, as células horizontais, e na retina interna por células amacrinas. Assim, células horizontais e amacrinas formam as interações laterais na retina.

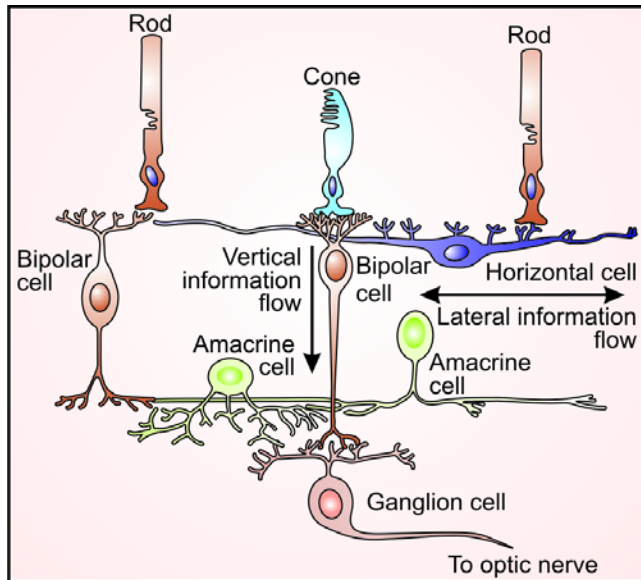


Figura 6.11: Os principais circuitos para mediar visão. A via da retina envolve ligações de cones e sinapses com células bipolares que por sua vez criam sinapses com as células ganglionares. As células horizontais e amácrinas formam os elementos laterais para modular o circuito principal da retina.

Fotorreceptores:

Existem dois tipos básicos de fotorreceptores na retina humana, os cones e bastonetes, que medeiam a visão escotópica (noturna) e fotópica (diurna) respectivamente. Na retina humana há menos cones do que bastonetes, com uma proporção de 20 bastonetes para cada cone. O nome bastonete vem da forma do segmento externo, em que as hastes são compridas e cilíndricas, enquanto os cones, são em forma de cone, ocupando a maioria da retina com a exceção da fóvea.

Existem três tipos diferentes de cone, sendo extremamente sensíveis em qualquer das regiões de vermelho, verde ou azul do espectro. Há cerca de 120 milhões de fotorreceptores na retina e estes, por sua vez conectam com cerca de 10 milhões de neurónios de segunda ordem (células bipolares), que, em seguida, conectam-se com cerca de 1 milhão de neurónios de terceira ordem (células ganglionares). Existe, portanto, um processo de "convergência" sobre a maior parte da retina, sendo a exceção a fóvea, onde existe uma ligação "um-para-um" entre fotorreceptores, células bipolares e células ganglionares, a fim de garantir uma elevada resolução.

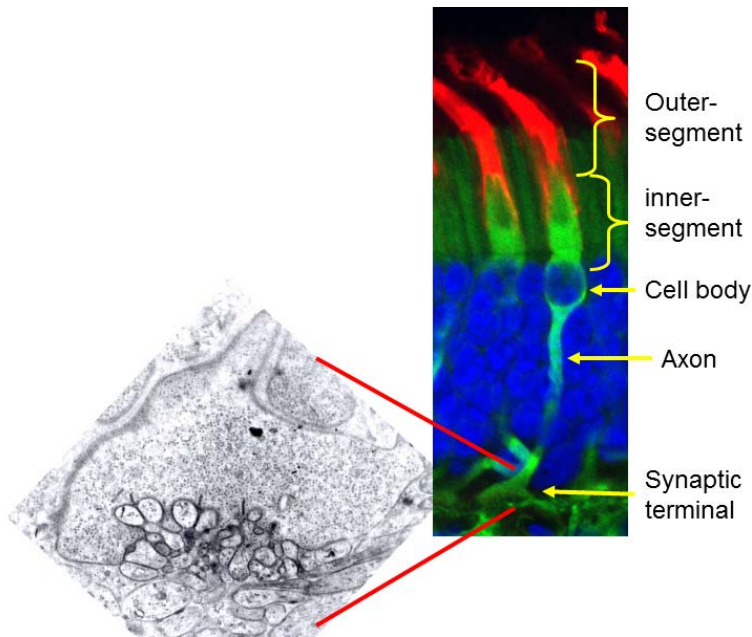


Figura 6.12: Fotorreceptor cone, mostrando os diferentes compartimentos celulares.

A estrutura de um fotorreceptor é mostrada na Figura 6.12. O segmento exterior, que se encontra mais próximo da EPR, contém muitos discos com fotopigmentos. Os alojadores do segmento interno possuem organelos essenciais, tais como mitocôndrias e aparelhos de Golgi. O corpo da célula está localizado dentro da Camada Nuclear Externa. Um axónio estende-se desde o corpo celular e forma um terminal sináptico dentro da Camada Nuclear Externa. Sinapses na Camada Nuclear Externa são referidas como tríades porque envolvem a comunicação entre os três processos neuronais-terminal de um fotorreceptor com um processo de célula bipolar e dois processos celulares horizontais. Os terminais de cones são chamados pedículos, enquanto que as hastes são chamados de esférulas.

O fotopigmento é uma proteína transmembranar que sofre uma alteração conformacional quando absorve um fóton de luz visível. A rodopsina é o fotopigmento encontrado em bastonetes, e as opsinas são os fotopigmentos expressos em cones. Cada molécula de pigmento é ligada a um derivado de vitamina A, chamado retinal comporta-se como a antena de uma televisão. É o componente que capta fótons, desencadeando uma cadeia de eventos, a **fototransdução**. Os fotorreceptores não geram potenciais de acção (porque eles não têm axónios). Em vez disso os seus terminais libertam neurotransmissores mais ou menos continuamente de acordo com o seu potencial de membrana. Quanto mais despolarizados são, mais transmissores libertam; quando estão hiperpolarizados, libertam menos glutamato.

Uma característica curiosa dos fotorreceptores é o facto de serem despolarizados quando estão no escuro. A luz recebida faz com que fotorreceptores hiperpolarizem e soltem menos neurotransmissores. Assim, certamente respondem a alterações na iluminação, sendo um pouco enganador dizer que a sua resposta neural é estimulada pela luz.

Resumidamente funciona assim. A célula permanece despolarizada enquanto os canais de sódio no segmento exterior estão abertos (Na^+ influxo). Quando a retinal é energizada pela luz muda de configuração e a rodopsina é activada. Isto leva a uma redução enzimática de níveis intracelulares de monofosfato de guanosina cíclico (cGMP). Uma vez que muitos dos canais de sódio são cGMP, eles fecham e a célula torna-se mais polarizada. Como resultado os seus terminais libertam menos neurotransmissores.

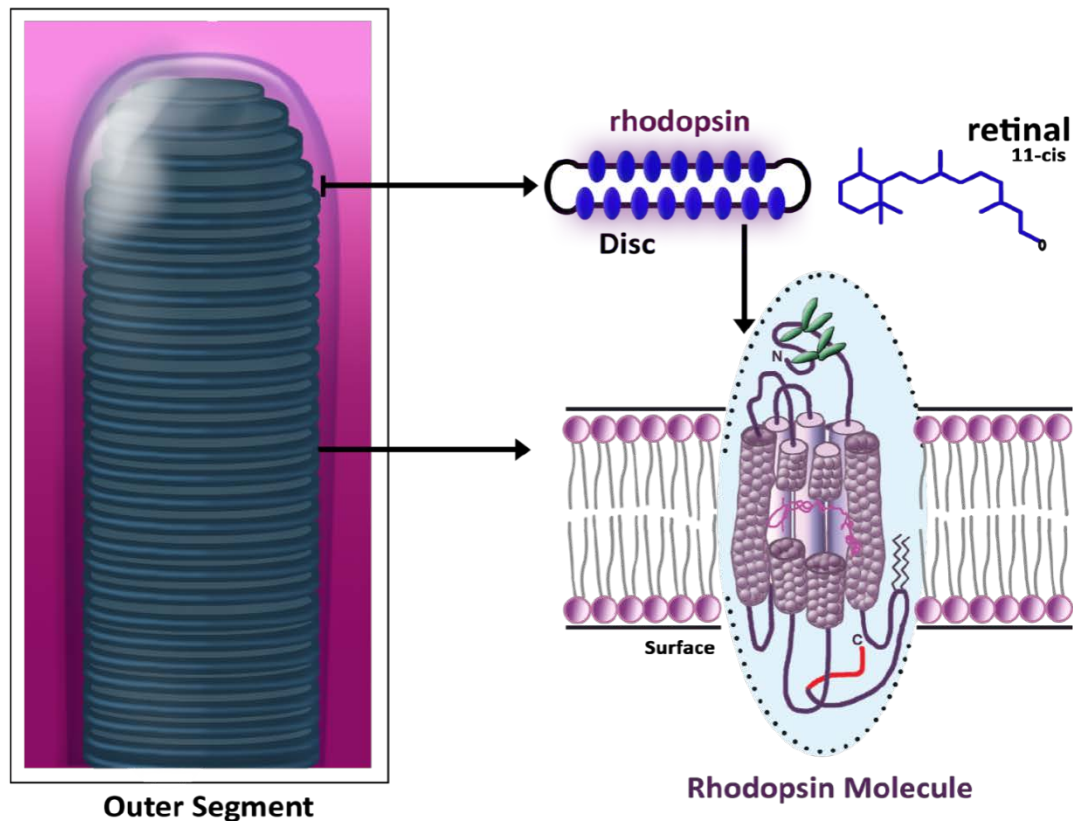


Figure 6.13: Um segmento exterior da haste mostrando discos. Cada disco contém o fotopigmento, rodopsina.

Fototransdução: para entender os detalhes moleculares iremos incidir sobre a rodopsina. O fotopigmento em si não está diretamente conectado a qualquer canal iónico. O retinal localiza-se perto do centro, cercado por sete domínios de proteína. No escuro, os fotorreceptores são despolarizados porque os canais cGMP de sódio que residem dentro da membrana externa do segmento dos fotorreceptores estão abertos permitindo influxo de iões de sódio. O influxo de iões de sódio resulta num potencial de membrana de aproximadamente -40mV.

Quando um fóton de luz atinge um segmento externo do fotorreceptor, há uma alteração conformacional em 11-cis-retinal, o cromóforo ligado a rodopsina. Esta mudança conformacional de 11-cis-retinal na retina de all-trans activa uma cascata de proteína-G. Os passos incluem:

- i) 11-cis-retinal, a todos os trans-retinal e activação de rodopsina
- ii) Activação de transducina
- iii) Activação de fosfodiesterase
- iv) Composição da cGMP pela fosfodiesterase.
- v) Encerramento dos canais de sódio.
- vi) Redução do influxo de sódio para o segmento externo do fotorreceptor e, conseqüentemente, a hiperpolarização do potencial da membrana

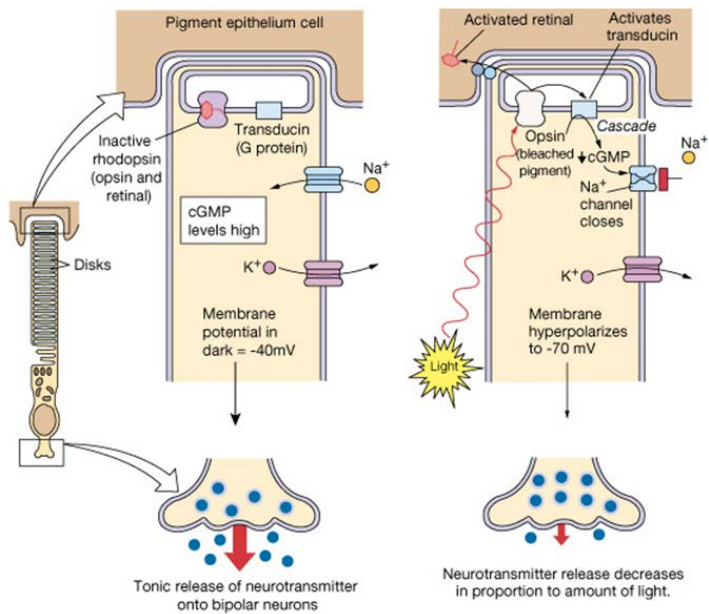


Figura 6.14: Esquemática de fototransdução imagem de:

http://faculty.pasadena.edu/dkwon/chap10_C/chap%2010%20part%20C_files/textmostly/slide19.html

Células bipolares são os principais neurónios de segunda ordem (Figura 6.15). Como o nome sugere fazem parte de um corpo celular com dois processos que se projectam do corpo celular (ou seja, são bipolares em forma). Células bipolares recebem a entrada de fotorreceptores dentro da Camada Plexiforme Externa, e fornecem a entrada sináptica para ambas as células ganglionares e células amácrinas. Existem pelo menos 10 tipos morfolologicamente distintos de células bipolares na retina humana; 9 que recebem informação a partir de cones, e uma entrada que recebe unicamente dos bastonetes. Células bipolares respondem à luz que cai no seu campo receptivo por qualquer despolarização à luz (ON células bipolares) ou hiperpolarização à luz (OFF células bipolares). Libertam o neurotransmissor, glutamato, de uma forma gradual, de acordo com a variação do potencial de membrana.

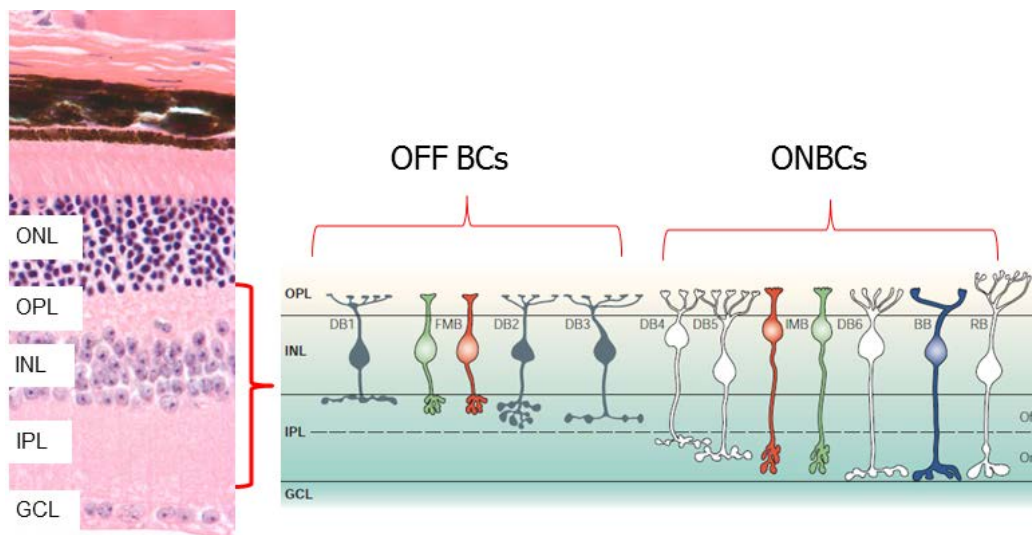


Figura 6.15: Diferentes tipos de células bipolares na retina humana.

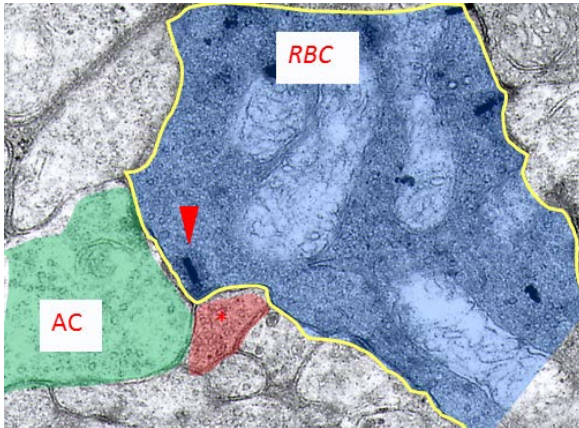


Figura 6.16: Uma sinapse Dyad num IPL. Nesta imagem, o terminal da célula bipolar aparece a azul. A liberação do neurotransmissor ocorre na sinapse (indicada a vermelho). Existem dois elementos neuronais pós-sinápticos (ilustrados a verde e vermelho). Geralmente, um elemento é um processo celular amácrino (AC; verde), enquanto o outro é um processo de uma célula ganglionar (vermelho)

A sinapse entre as células bipolares e neurónios de terceira ordem, amácrinas e células ganglionares, é chamada uma díade porque o processo de célula bipolar comunica com dois elementos neurais. Isto é mostrado na micrografia de electrões na Figura 6.16.

Embora todos os fotorreceptores libertem glutamato como o seu neurotransmissor, os efeitos de glutamato nas células bipolares varia de acordo com o tipo de células bipolares. ON células bipolares são activadas (despolarizadas) pela resposta dos fotorreceptores à luz, enquanto que as células bipolares OFF são inibidas (hiperpolarizadas). Ao nível celular, a resposta de uma célula bipolar para o glutamato depende do receptor de glutamato, que é expresso pela célula. No caso de células bipolares ON, mGluR6 é o receptor expresso, enquanto os receptores de glutamato ionotrópicos, incluindo receptores do tipo cainato e AMPA são o receptores de glutamato expressas por células bipolares OFF. É por causa das acções do glutamato nestes dois tipos diferentes de receptores de glutamato que as células bipolares ou despolarizam ou hiperpolarizam. Isto cria um processamento paralelo de informação visual na primeira sinapse na retina, entre os fotorreceptores e as células bipolares.

Células Horizontais

As células horizontais espalham as suas dendrites horizontalmente ao longo da retina (Figura 6.17). Estas recebem a entrada de fotorreceptores e também o feedback de volta com informações para os fotorreceptores. Com isto, são cruciais na modulação da via retinal e, em particular, para proporcionar um circuito neural importante para criar o ambiente num campo de receptor de células ganglionares. Os seus núcleos estão localizados na Camada Nuclear Interna e na fronteira com o Camada Plexiforme Externa.

Funcionalmente, as células horizontais recebem entradas de fotorreceptores via receptores de glutamato ionotrópicos (assim, um fotorreceptor despolarizado também despolariza uma célula horizontal). Os terminais de células horizontais libertam o transmissor inibitório GABA para as regiões pré-sinápticas de outros fotorreceptores que estejam a uma curta distância. Assim, as células horizontais proporcionam um mecanismo de feedback importante que regula a 'via retiniana'.

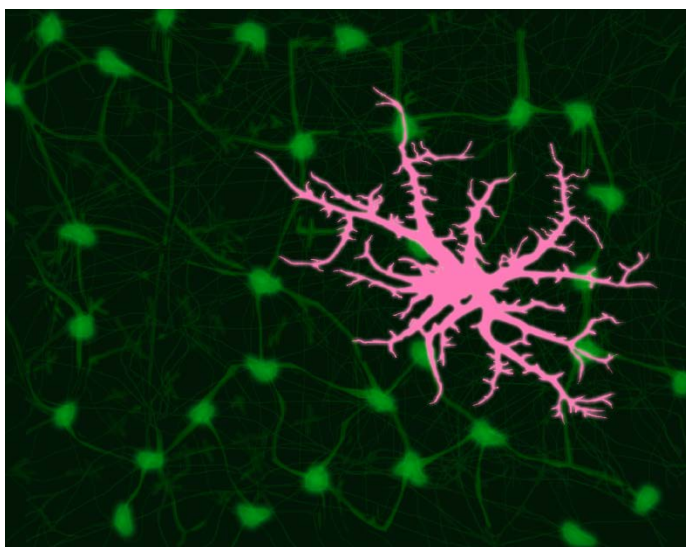


Figura 6.17: uma célula horizontal quando vista num plano da retina. Estas células estendem os processos de contacto de fotorreceptores (mostrados em verde).

Células Amácrinas

Menos bem entendidas, as células amácrinas agem como intermediárias entre os neurónios bipolares e os neurónios de terceira ordem (do CG; Figura 6.18). Não possuem axónios e também enviam as suas dendrites horizontalmente ao longo da retina. Os núcleos são observados no lado interior da Camada Nuclear Interna. Contribuem também para o campo central de CG e, possivelmente desempenham um papel no mecanismo de retroalimentação negativa da retina e ajuste de sensibilidade da retina. Duas células amácrinas bem estudadas incluem a célula AII amácrina, que é um interneurónio crucial na via da haste, células amácrinas starburst, que são importantes para a detecção de movimento.

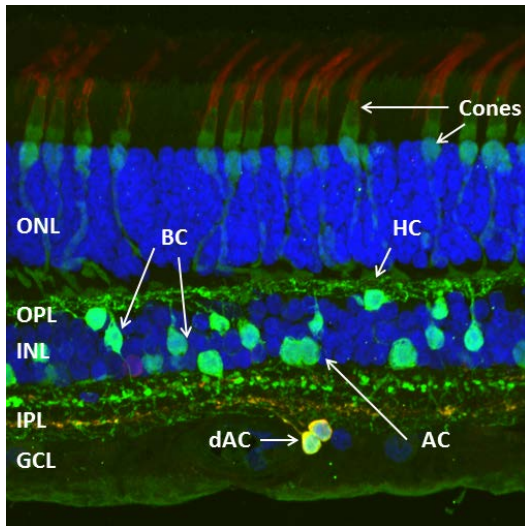


Figura 6.18: Um corte vertical através da retina que mostra diferentes tipos neuronais que formam a Camada Nuclear Interna. A verde, células horizontais (HC), um subtipo de células bipolares (BC) e dois tipos de células amácrinas (AC, DAC). Algumas células amácrinas são deslocadas (DAC) para a camada de células ganglionares.

Células Ganglionares (CG)

As células ganglionares são os neurónios de produção da retina, juntamente com as células amácrinas deslocadas, que estão localizadas na camada de células ganglionares. Existem pelo menos 20 tipos morfolologicamente distintos de células ganglionares. Existem várias classes funcionais de células ganglionares incluindo anão, guarda-sol, bi estratificadas e células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis. As células ganglionares recebem a entrada de células bipolares e amácrinas dentro da Camada Plexiforme Interior e enviam um único axónio longo, que passa através da camada de fibras nervosas do nervo óptico e centros cerebrais elevados. Dentro da retina, axónios de células do gânglio são não mielinizadas. No entanto, a partir do nível da lâmina cribrosa, células ganglionares tornam-se mielinizadas.

As células ganglionares anãs são as mais numerosas da população de células ganglionares e possuem um pequeno núcleo denso e uma pequena árvore dendrítica. Envolvidas em alta resolução espacial, são mais numerosas na retina central, onde podem conectar-se com apenas uma célula bipolar e fotorreceptores (zero "convergência"). Conectam-se principalmente para as camadas parvocelulares do núcleo geniculado lateral (LGN) no cérebro anterior.

Células ganglionares Para-sol representam aproximadamente 10% da contagem de células totais de Cg. Com grandes núcleos de células dendríticas e árvores grandes, exibem respostas em grande parte acromáticas com condução rápida e características de resposta temporais elevadas. Projectam principalmente para as camadas magnocelulares do LGN.

Em pequeno número, as células ganglionares bi estratificadas têm um núcleo de célula pequeno e uma árvore dendrítica média, mas esparsa. É assim chamado porque as sinapses em dois níveis dentro da Camada Plexiforme Interior. A velocidade de condução é lenta e a projecção é feita para as camadas koniocelulares de LGN.

Funcionalmente, as células ganglionares geram potenciais de acção (enviados ao longo dos nervos ópticos), e aumentam esta produção em resposta à excitação das células bipolares. Novamente, há duas classes funcionais: ON células ganglionares recebem inputs excitatórios de bipolares ON e as células ganglionares OFF, que recebem inputs excitatórios de bipolares OFF. Isto significa que existem tipos de células ON ganglionares anãs, os diversos tipos de células de gânglio anão OFF, em células Para-sol ON e assim por diante.

Campos Receptivos de Células Ganglionares: O campo receptivo de células ganglionares da retina é a pequena zona da retina em que a luz provoca uma mudança distinta na actividade neural dessa célula. As ligações envolvem células horizontais e também a extensão horizontal das suas dendrites, o que significa que uma célula ganglionar é influenciada por um conjunto de fotorreceptores nas proximidades. Assim, não há entrada convergente. Além disso, a rota tomada pelos sinais dos fotorreceptores circundantes difere do caminho mais directo dos fotorreceptores centrais.

Em geral, as células ganglionares ON centrais são despolarizadas e potenciais de acção quando uma pequena mancha de luz incide sobre a parte central do seu campo receptivo.

Células Müller são radiais e o principal tipo de célula glial nas células retina. São as células de apoio da retina e são essenciais para a manutenção da função normal dos neurónios da retina. As células de Müller têm um corpo de célula que se situa no meio da Camada Nuclear Interna, e estendem os processos à retina externa, terminando na membrana limitante externa. Além disso, projectam os processos que terminam na membrana limitante interna na fronteira retina-vítreo.

As células de Müller têm a importante função para a absorção e reciclagem de aminoácidos neurotransmissores, glutamato e GABA, são de potássio a partir do espaço extracelular, manutenção da barreira retiniana sanguínea e também no transporte de metabolitos de energia vitais entre o sistema vascular e neurónios. Mais recentemente tem sido mostrado terem funções activas que regulam o fluxo de sangue e função neuronal. Em particular, as células gliais são funcionalmente activas, comunicando umas com as outras por ondas de cálcio intracelular. Substâncias neuroactivas (chamadas gliotransmissores porque são libertadas da glia e não dos neurónios) como o glutamato ou ATP podem ser liberadas em resposta às alterações de cálcio intracelular e levar a uma função neural alterada (por exemplo, hiperpolarização das células ganglionares vizinhas) ou alterações no calibre dos vasos sanguíneos.

Os astrócitos são o segundo tipo de célula glial que reside dentro da retina. Encontram-se na camada de fibras nervosas da retina e têm processos longos que se estendem pela retina para se comunicar com os vasos sanguíneos. Eles desempenham um papel importante na regulação do desenvolvimento da vasculatura, bem como a manutenção da barreira retiniana sanguínea.

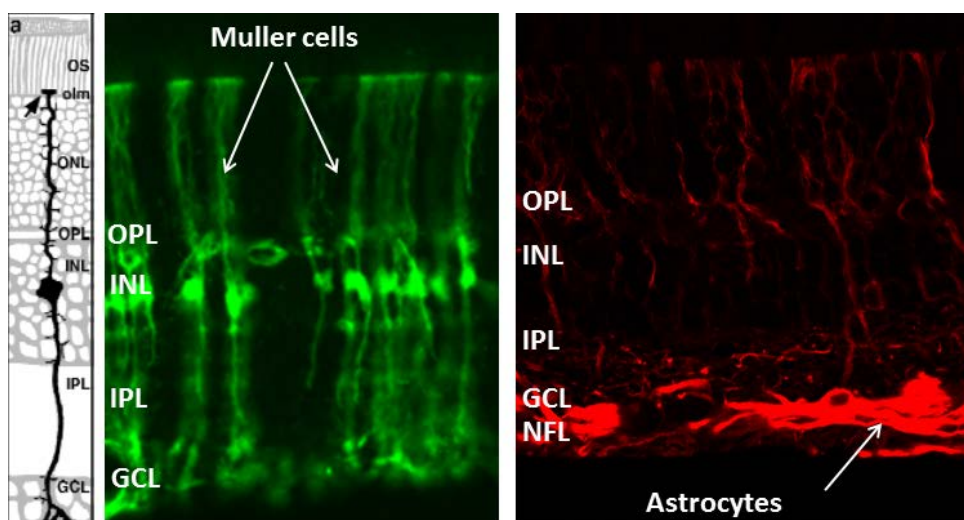


Figura 6.19: Cortes verticais através da retina, marcado para as células Muller (verde) ou astrócitos (vermelhos).

O NERVO ÓPTICO

O nervo óptico (Figura 6.20) é composto pelos axónios de células do gânglio retinal e assemelha-se à substância branca do cérebro. Cerca de 1,2 milhões de fibras formam o nervo óptico. 80-90% são de pequeno diâmetro e pertencem à classe anã de células ganglionares.

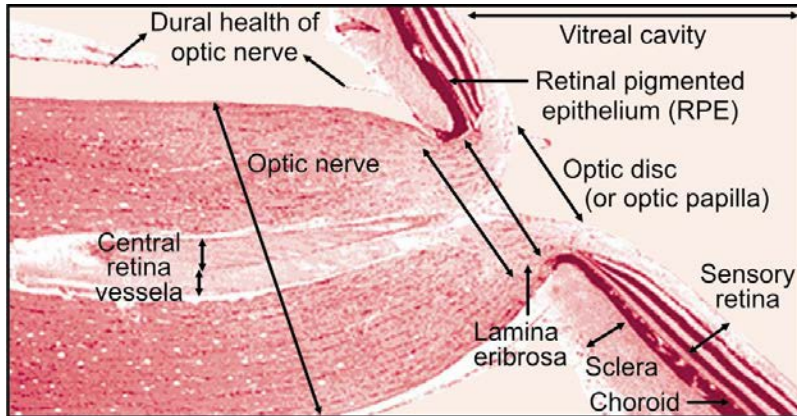


Figura 6.20: Secção transversal de fibras mostrando o nervo óptico

Delimitada pela dura-máter, aracnóide, espaço subaracnóide e bainha vascular pia-máter, o nervo óptico é cercado na órbita por gordura orbitária e os músculos retos. O nervo sai da órbita pelo canal óptico.

O comprimento total do nervo é de cerca de 5 centímetros. A porção que se situa dentro da órbita é denominada por nervo óptico intra-orbita e tem aproximadamente 25 mm de comprimento.

A cabeça do nervo óptico é a porção que se situa dentro do canal da esclera do globo ocular. Está localizado 15 graus nasais à mácula e ligeiramente acima. Não há bastonetes nem cones presentes na cabeça do nervo, criando assim um ponto cego.

Os axónios das células ganglionares que compõem as fibras nervosas são não-mielinizados até que atinjam a lâmina cribrosa na cabeça do nervo óptico. Fibras atravessam na retina interna a partir das células ganglionares para o disco óptico numa forma arqueada. Fibras mais periféricas entram na cabeça do nervo óptico periférico. Fibras são divididas em pacotes dentro do nervo por septos fibrosos. A mielinização pós-laminar aumenta o diâmetro do nervo óptico por mais do que um factor de dois.

A lâmina cribrosa (Figura 6.21) representa as fibras esclerais que passam através de regiões onde o nervo óptico entra no aspecto posterior do globo ocular. É composto por camadas de lâminas porosas contendo tecido fibroso e colagenoso. Estão presentes cerca de 200-400 poros em cada lâmina. A lâmina actua como um suporte para as fibras nervosas que passam através do nervo óptico intra-orbita.

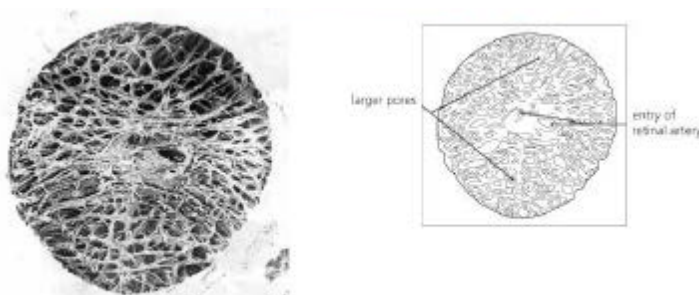


Figura 6.21: A lâmina cribrosa



O nervo passa para a parte traseira da órbita e o canal óptico entra no osso esfenóide, juntamente com a artéria oftálmica. A porção do nervo dentro do canal óptico é chamada a parte intracanalicular e estende-se por cerca de 5 mm. Em seguida, entra o espaço subaracnóide e progride em direcção ao quiasma, como a porção intracraniana do nervo óptico.

SUPRIMENTO VASCULAR NA RETINA E NERVO ÓTICO

A porção intra-ocular é fornecida pelas curtas artérias ciliares posteriores via Círculo de Zinn (Figura 6.22). O plexo pia-máter penetra o nervo ao longo de todo o seu comprimento e fornece fibras exteriores dentro do nervo.

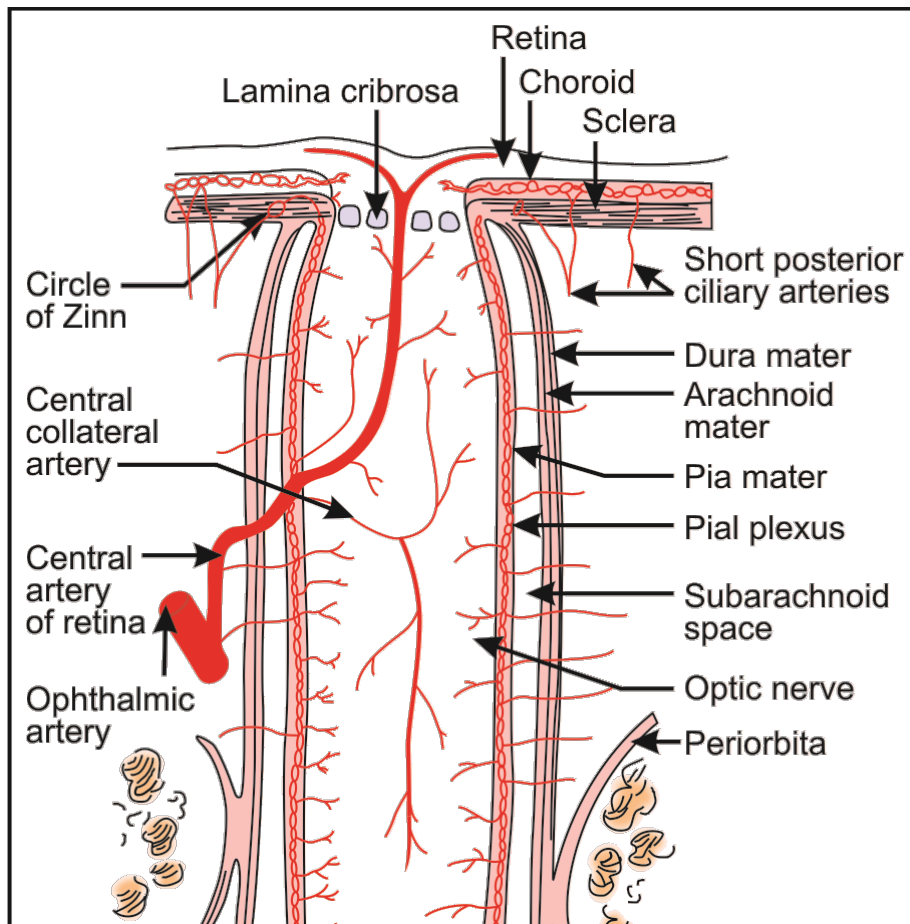


Figura 6.22: Fornecimento de sangue ao nervo ótico

A artéria central da retina (PCR) e a veia entram no nervo óptico infero-nasalmente cerca de 12 mm atrás do globo (Figura 6.23). A artéria entra anterior à veia e ambos passam juntos anteriormente acima do centro do nervo, através da lâmina cribrosa, para entrar no olho através do centro da cabeça do nervo óptico. Ramos colaterais da PCR fornecem as fibras centrais do nervo intraorbital e da superfície dos discos superficiais capillaries (menores).

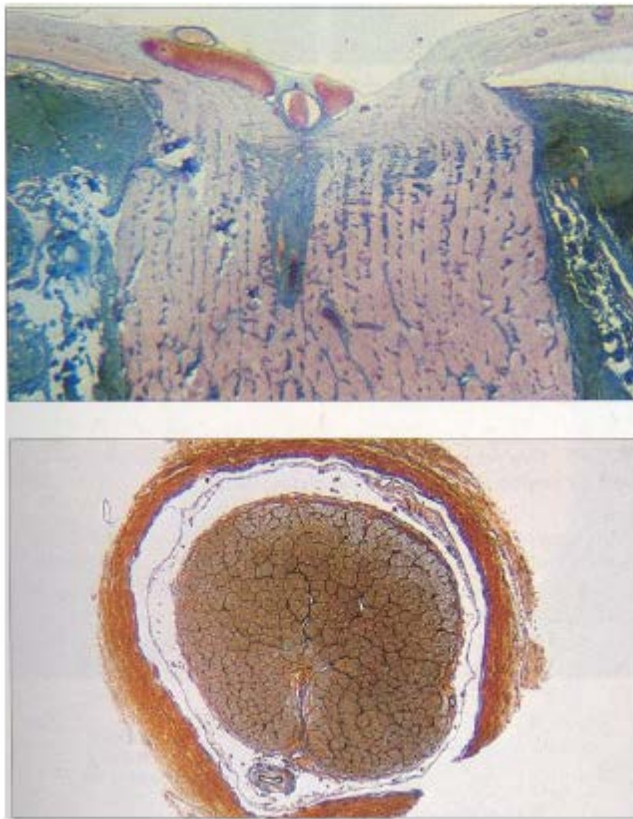


Figura 6.23: Seção de 12 milímetros do nervo óptico por trás do globo; Artéria central da retina dentro do espaço subaracnóide indo em direcção ao centro do nervo



LEITURA ADICIONAL

Para obter descrições alternativas ou mais detalhes de diferentes estruturas visuais, podem pesquisar os seguintes livros:

- *Adler's Physiology of the Eye*. 11th Levin. Nilsspm. VerHoeve, Wu, Kaufman, Alm Saunders 2011.
- *Clinical Anatomy of the Visual System*. 2nded Remington, Elsevier 2005.
- *Clinical Anatomy of the Eye*. Snell and Lemp, Blackwell 1998.

Sites úteis

- <http://webvision.med.utah.edu/book/>