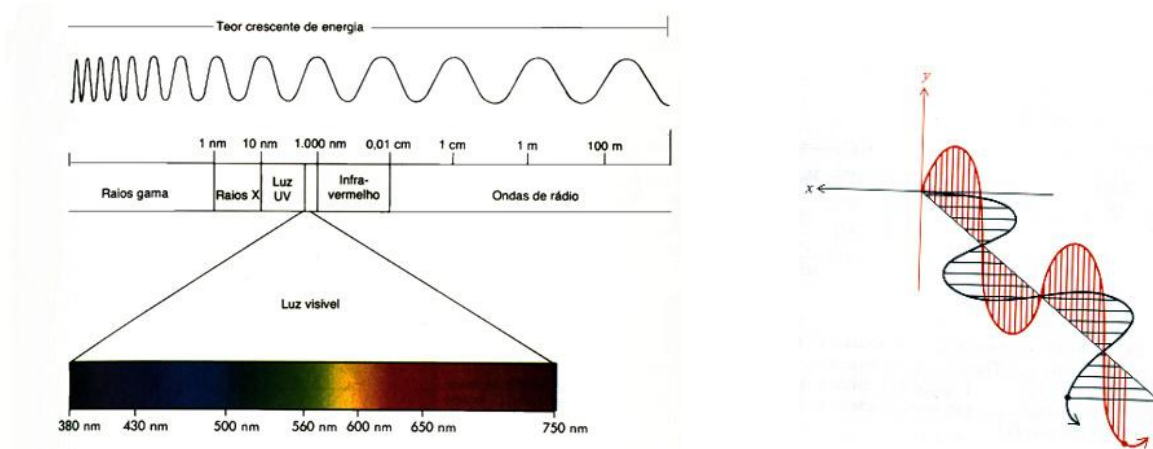


SENTIDO DA VISÃO

Ondas eletromagnéticas e Propriedades da Luz



A luz visível faz parte do espectro da radiação eletromagnética e se encontra entre os 380 e 760nm de comprimento. Esta porção do espectro foi essencial, não só para possibilitar o sentido da visão, mas primariamente para desencadear a vida em nosso planeta. Neste espectro estão a quantidade de energia compatível com os fenômenos biológicos que dependem da luz: as plantas realizam a fotossíntese e o crescimento fototrópico; a fotossensibilidade também está presente nos protozoários e animais multicelulares. A sensibilidade à luz ocorre em estruturas denominadas **máculas**, mas para se enxergar, isto é, para se ser capaz formar **imagem** é necessário adicionalmente um sistema de **lentes**. Esse órgão **óptico** é coletivamente denominado **olho**.

A cor da luz percebida é determinada por três fatores: **matiz** (depende do comprimento da onda; o espectro da luz visível corresponde às matizes que o nosso olho enxerga), **saturação** (pureza relativa da luz, ou seja, se um objeto nos parece branco é porque reflete todas as matizes da luz) e **brilho** (intensidade da luz).

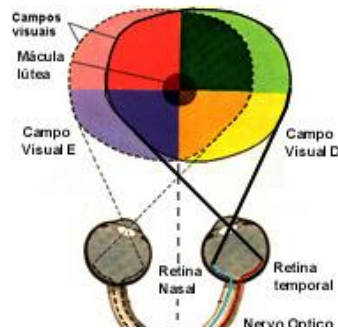
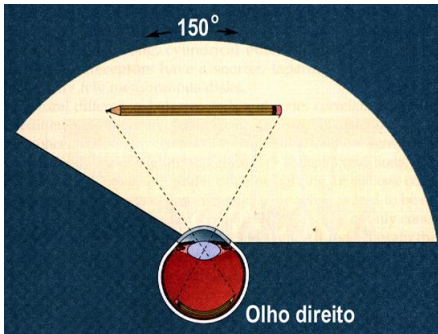
O olho dos vertebrados é semelhante a uma câmara fotográfica, porém bem mais complexo. O olho possui um mecanismo de busca e de focalização automática do objeto de interesse, um sistema de lentes que refratam a luz (uma fixa e outra regulável), pupila de diâmetro regulável, filme de revelação rápida das imagens e um sistema de proteção e de manutenção da transparência do aparelho ocular. As células sensíveis à luz estão na **retina** e através de um processo fotoquímico, os **fotorreceptores** transformam ("transduzem") fótons em mudanças do potencial de membrana (potencial receptor). Antes dos sinais visuais se tornarem conscientes no cérebro, estes são pré-processados na retina por uma camada de células nervosas. As informações aferentes chegam ao encéfalo através do nervo óptico (II par de nervos cranianos) e já foram previamente triadas sobre determinadas características da cena visual.

O olho além de possibilitar a análise do ambiente à distância, permite discriminar os objetos quanto a suas formas, se estão perto ou longe, se estão em movimento e dependendo da espécie, se são coloridos. Além da construção visual sobre o ambiente onde se encontram, as imagens são utilizadas como elementos de comunicação.

A luz se propaga a 300.000 Km/s. Isso significa que a fotorrecepção é uma sensibilidade que pode informar o sistema nervoso central em tempo quase real sobre o que acontece no ambiente

externo, possuindo excelente resolução espacial e temporal. No vácuo a luz realmente se propaga em linha reta, mas ao atingir a atmosfera terrestre interage com átomos e moléculas sofrendo vários desvios como **reflexão, absorção e refração**. A refração da luz é uma propriedade essencial para a formação da imagem. O olho é, por excelência, um órgão dedicado para detecção e análise das fontes de luz visível. Além da luz visível ser utilizada para a percepção visual, é também utilizada para organizar os ritmos biológicos, particularmente aqueles associados a duração do fotoperíodo como o ciclo claro-escuro (como o ciclo sono-vigília).

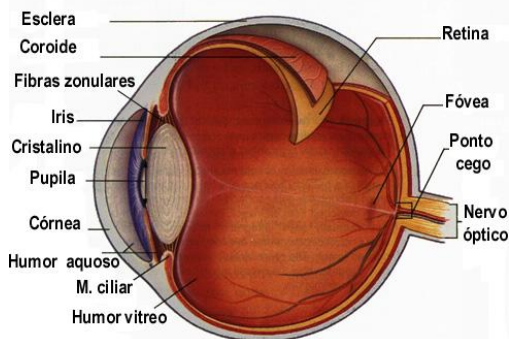
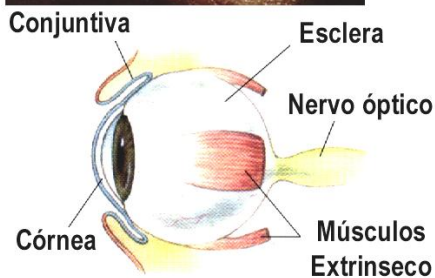
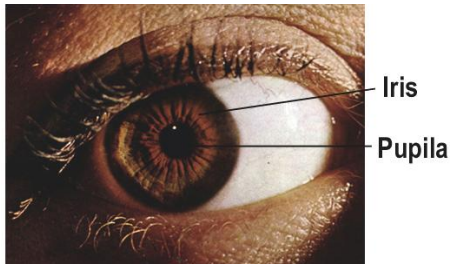
O campo visual



Campo visual de um olho é a extensão do ambiente que pode ser vista, estando a cabeça imóvel. No ser humano o campo visual abrange cerca de 150° e os campos de ambos os olhos se sobrepõem em cerca de 120°. A sobreposição dos dois campos na retina proporciona a experiência tridimensional do ambiente (relevo e profundidade). A determinação do campo

visual é de grande importância clínica, pois as deficiências visuais em áreas específicas do campo visual permitem fazer correlações com lesões nos diferentes pontos da via visual.

ANATOMIA DO OLHO



Quando observamos externamente o olho, vemos as seguintes estruturas.

Pupila: abertura que permite a entrada de luz para o interior do globo ocular em direção a retina.

Íris: cuja pigmentação caracteriza a cor dos nossos olhos, possui dois tipos de músculos lisos de ação antagônica.

Córnea: superfície curva e transparente de tecido conjuntivo que funciona como uma lente de grande capacidade de refração e filtra os raios UV. Ela é sempre lavada pela secreção lacrimal (controlada pelo nervo VII) que é espalhada pelas pálpebras que se sobem e descem.

Pálpebra: a elevação é causada pelo músculo elevador da pálpebra ativado pelo III par.

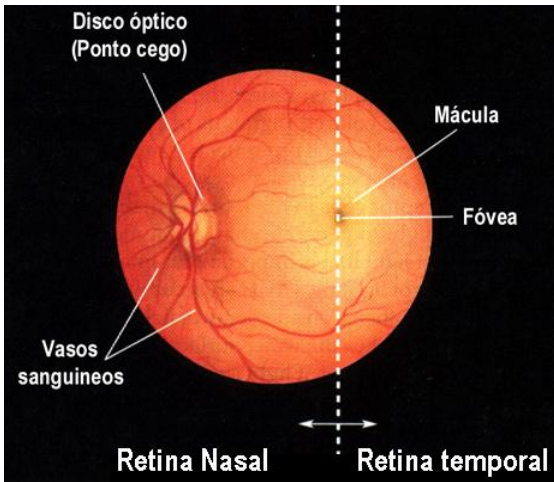
Esclera: tecido conjuntivo rígido e esbranquiçado que continua a córnea. O conjunto esclera e córnea que dão a forma esférica do olho.

Músculos extrínsecos do olho associada a esclera estão seis pares de músculos esqueléticos que garantem o movimento do globo ocular.

Nervo óptico: fibras nervosas que transportam as informações visuais para a base do cérebro, próximo a glândula pituitária.

Agora, vamos estudá-la por dentro. O globo ocular é uma estrutura quase esférica e no homem adulto tem cerca de 2,5cm. A parede é composta de três camadas concêntricas: a **Esclera:** camada mais externa, derivada da duramáter; a **Coróide:** camada intermediária, derivada da pia-mater e aracnóide. É intensamente vascularizada e recoberta por um

epitélio pigmentado que absorve o excesso de luz evitando reflexões indesejáveis sobre os fotorreceptores da retina. Finalmente, a **Retina**: é a camada mais interna composta de **fotorreceptores** e **células nervosas**, na verdade, uma expansão periférica do SNC que recobre 2/3 da coróide.



Com um oftalmoscópio podemos ver como a retina (no caso, do direito) é. Observamos uma rede vascularizada originada no **disco óptico**, que é de onde o nervo óptico emerge da retina. Esta região é desprovida de fotorreceptores e, portanto, conhecido como "ponto cego" do olho. Na região que aparece mais amarelada corresponde à **mácula lútea**. Repare que são praticamente desprovidos de vasos e é o ponto central da retina. Em seu ponto mais central está a **fóvea** local onde a focalização da luz ocorre.

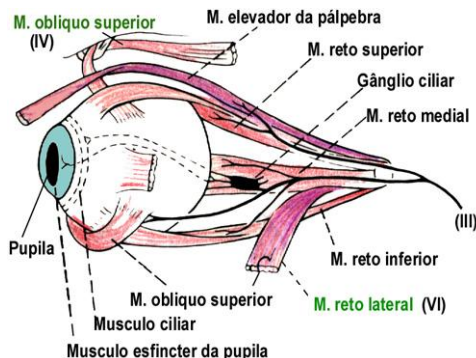
Na porção anterior está o **músculo ciliar** constituído de fibras musculares lisas que se prendem próximo às junções da córnea com a esclera. Do corpo ciliar partem ligamentos suspensores (**fibras zonulares**) que prendem o **crystalino**, uma estrutura transparente e elástica que junto com a córnea funciona como uma lente. Sob a atividade do músculo

ciliar (controlada por fibras pós-ganglionares parassimpáticas do III par de nervos cranianos), a sua curvatura pode ser modificada, tornando-se uma lente mais ou menos convergente.

A íris regula a entrada de luz pela pupila, cujo diâmetro pode variado graças à ação antagonônica de dois músculos lisos: o **músculo esfínter da pupila** causa redução do diâmetro pupilar (**miose**) e o **músculo dilatador da pupila** causa aumento (**midríase**). A midríase é causada pela atividade autonômica simpática (cujos neurônios pré-ganglionares estão na medula T1 e T2) e a miose é mediada pela atividade das fibras parassimpáticas do III par de nervos cranianos. O olho possui então um mecanismo automático para regular a quantidade de luz que passa pela pupila variando o seu diâmetro.

Observe que entre a córnea e o cristalino forma-se a **câmara anterior** e entre o cristalino e a íris, a **câmara posterior**. Ambas as câmaras são preenchidas com o humor aquoso, líquido transparente semelhante à composição plasmática que é produzido pelo epitélio que recobre o corpo ciliar (difusão e transporte ativo). O líquido é drenado pelo **canal de Schlemm**, um canal venoso que se localiza entre a íris e a córnea. Uma obstrução deste canal provoca aumento da pressão intraocular e lesão das células retinianas causando o **glaucoma**. O espaço entre o cristalino e a retina é ocupado por um gel transparente denominado **humor vítreo** contendo fibras submicroscópicas e ácido hialurônico. Estes dois líquidos ajudam a dar forma ao olho.

Os movimentos oculares (http://medstat.med.utah.edu/neurologicexam/home_exam.html)



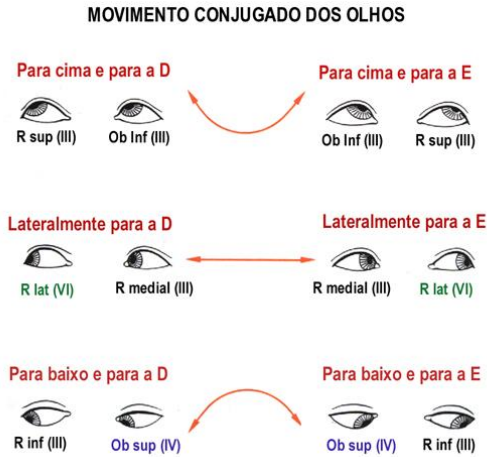
Os músculos extrínsecos dos olhos garantem o posicionamento da imagem na região de maior precisão sensorial (fóvea). Para isso, seis pares de músculos (estriados) movimentam o globo ocular de maneira rápida, precisa e coordenada.

Esses movimentos oculares podem ser classificados segundo a:

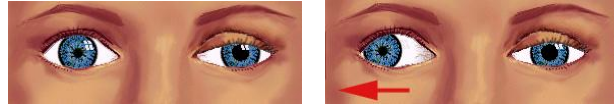
1) **COORDENAÇÃO BINOCULAR**. O movimento de ambos os olhos pode ser conjugado (movimento dos dois olhos na mesma direção e velocidade) ou disjuntivo ou vergência (convergência e divergência).

2) **VELOCIDADE**. São sacádicos se são muito rápidos, independentes do movimento do objeto ou de segmento quando são lentos e seguem o movimento do objeto.

3) **TRAJETÓRIA** São radiais se o eixo visual se desloca para qualquer direção e torsionais quando o eixo permanece fixo e só os globos se mexem.



Os músculos extrínsecos do olho são controlados pelos nervos motores cranianos oculomotor (III), abducente (IV) e troclear (VI) cujos núcleos motores situam-se no tronco encefálico. Veja os **seis movimentos cardinais dos olhos** e os respectivos músculos e nervos cranianos envolvidos no controle da motricidade ocular. A paralisia motora pode alterar a percepção visual.



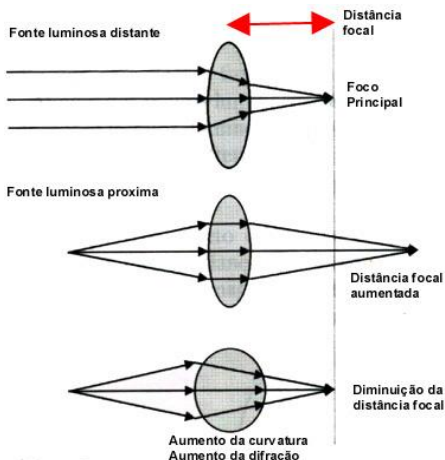
Lesão unilateral periférica do III par: pálpebra caída; não consegue aduzir o olho E. Note o olho E midriático.

Músculos oculares

Músculo ocular	Tipo de fibra	Tipo de movimento	Inervação
Reto superior	Estriada esquelética	Vertical de elevação Sacádico e de segmento	Eferentes motoras somáticas III
Reto inferior	Estriada esquelética	Vertical de abaixamento Sacádico e de segmento	Eferentes motoras somáticas II)
Reto lateral	Estriada esquelética	Horizontal de abdução Disjuntivo divergente Sacádico e de segmento	Eferentes motoras somáticas VI
Reto medial	Estriada esquelética	Horizontal de adução Disjuntivo convergente Sacádico e de segmento	Eferentes motoras somáticas III
Obliquo superior	Estriada esquelética	Torsional, sacádico?	Eferentes motoras somáticas IV
Obliquo inferior	Estriada esquelética	Torsional, sacádico?	Eferentes motores somáticas III
Ciliar	Lisa	Relaxamento da zônula ↑ curvatura do cristalino	SNA PS Eferentes viscerais gerais III
Circular da íris	Lisa	Miose	SNA PS Eferentes viscerais gerais III
Radial da íris	Lisa	Midríase	SNA simpático Eferentes viscerais gerais T1

Os músculos lisos que medeiam respostas viscerais apresentam só exprimem reações reflexas, mas os músculos esqueléticos participam de reações voluntárias e reflexas.

A FORMAÇÃO DA IMAGEM PELO OLHO É AUTOMÁTICA



O olho coleta os raios luminosos emitidos ou refletidos pelos objetos e focaliza-os AUTOMATICAMENTE sobre a retina para formar uma imagem sempre nítida.

A córnea e o cristalino

Quando os raios luminosos paralelos incidem sobre uma lente biconvexa, são refratados para um ponto (**foco principal**), atrás da lente. A distância entre o centro da lente até o foco principal é denominada **distância focal (f)**. A **dioptria** mede a capacidade de refração da lente e corresponde ao inverso da distância focal ($d_p=1/f$). A córnea

possui um poder refrativo próximo à 42m, ou seja, a sua f é de 0,024m e o cristalino tem capacidade de refratar em torno de 10 dioptrias.

Para os objetos distantes, a córnea sozinha é capaz de formar imagens na retina. Mas à medida que os objetos se aproximam, as luzes refletidas do objeto começam a divergir e aumentar a distância focal. Como manter nítida a imagem de um objeto que se aproxima? A solução foi o cristalino aumentar o seu poder de refração tornando-se mais convexo. Essa capacidade de focalizar a imagem dos objetos sobre a retina alterando o poder de difração do cristalino denominamos **acomodação visual**.

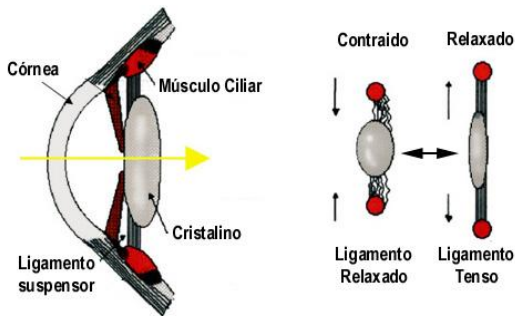


Figura desenvolvida por C. Lobato

Mecanismo da acomodação visual

Lembre-se que o cristalino possui ligamentos suspensores ou zonulares associados aos músculos lisos do corpo ciliar. Quando estes músculos estão relaxados, a lente fica tensa pelos ligamentos (visão para objetos distantes). Quando o músculo ciliar entra em atividade os ligamentos relaxam e o cristalino muda de forma, aumentando a sua curvatura. Este mecanismo é totalmente reflexo (automático) e é controlado pelo sistema nervoso autônomo parassimpático, através dos nervos ciliares curtos, que acompanham o III par de nervos cranianos.

Assim, quando o olho focaliza objetos a mais de 9m, o músculo ciliar está relaxado e os raios luminosos focalizam a imagem “sem precisar” do cristalino. Mas à medida que o objeto começa a se aproximar, o músculo ciliar inicia a contração, o cristalino começa a se tornar esférico aumentando o seu poder de convergência luminosa.

Repare que a visão de perto ou de longe só pode ser feita uma de cada vez: se focalizarmos objetos próximos, o fundo perde a nitidez e se focalizarmos objetos distantes, os que estão próximos perdem o foco. Esta experiência visual evoca a percepção qualitativa sobre a distância relativa dos vários objetos dentro do campo visual.

Finalmente, é importante lembrar que, durante a formação da imagem dos objetos próximos, além da acomodação visual, ocorrem **movimentos oculares** (convergência) e a **redução do diâmetro pupilar** (miose), nessa ordem. Esses três mecanismos garantem que um objeto seja focalizado automaticamente de maneira nítida sobre a retina, quando começa a se aproximar. Se ele se afastar, acontecerá exatamente o contrário: o músculo ciliar relaxa, os olhos divergem e a pupila dilata.

A acomodação visual é extremamente eficiente nos jovens que podem acrescentar até 12 dioptrias ao poder de difração. Com a idade (a partir dos 40 anos) a elasticidade do cristalino vai sendo perdida e a visão de perto vai se comprometendo. Este problema chamado de **presbiopia** pode ser corrigido com os auxílios de óculos com lentes convexas (os pacientes reclamam que não estão enxergando de perto e que o braço esta ficando curto para ajustar a distancia de leitura...).

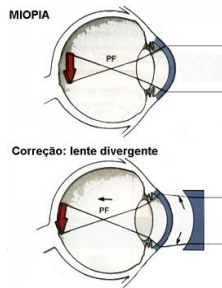
Acuidade Visual

Acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos receptores na retina e do poder de refração do sistema das lentes ópticas. Distâncias na retina são referidas em termo de **ângulo visual**. Assim dizemos que a capacidade do olho resolver dois pontos está associada com certo número de ângulo visual. Quando são realizados testes visuais com letras e números de diferentes tamanhos num consultório oftalmológico, está se pesquisado justamente como anda a acuidade visual do paciente. O olho (a região da fóvea) possui uma capacidade tão acurada para discriminação que será capaz de discriminar duas linhas afastadas por 0,29mm a uma distancia de 1 metro!!!

Deficiências visuais devido aos mecanismos de formação de imagem na retina

Denominamos olho **emenotrópe** aquele que focaliza os objetos **sem** o uso da acomodação. Mas algumas pessoas não conseguem formar uma imagem com nitidez na retina ao observar objetos distantes parecendo-lhes embaçados. Porém, enxergam bem os objetos próximos. Chamamos esse olho de **míope** e o uso de lentes divergentes resolve o problema. Outras não apresentam problemas com a visão de objetos distantes, mas apresentam dificuldade para enxergar de perto: é o olho **hipermétrope** e as lentes convergentes resolvem o problema. O **astigmatismo** é uma condição onde a curvatura da córnea não é uniforme e a imagem na retina causa sensação de turgidez e a correção se faz com lentes cujos meridianos são compensados por uma lente cilíndrica. A **catarata** é uma condição em que o cristalino perde a sua transparência, podendo levar a cegueira, sendo considerado um processo de degeneração senil. Entretanto, pode também ser causada pela exposição aos raios X, hiperglicemia, dieta carente de alguns aminoácidos, anóxia, etc.

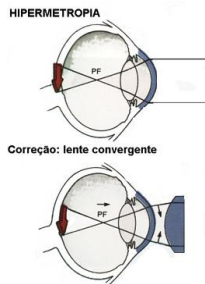
Além das particularidades com relação ao cristalino o formato do globo ocular (tamanho) leva a déficits de focalização da imagem sobre a retina.



Acima: olho míope
Abaixo: com as lente divergente



O míope não enxerga objetos distantes



Acima: olho hipermetrope
Abaixo: lentes convergentes



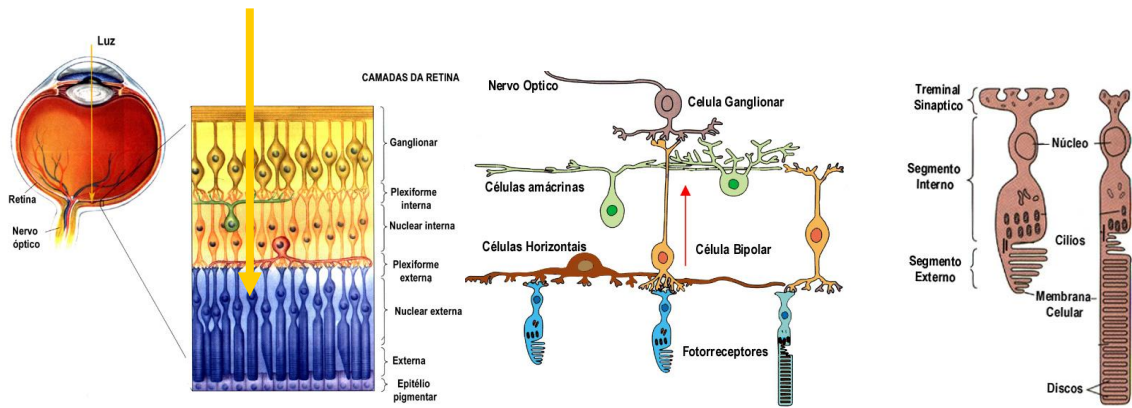
O hipermetrópe não enxerga objetos próximos

Morfologia da Retina

A retina pode ser dividida em uma metade **nasal** e outra **temporal** supondo uma linha imaginária passando pela fóvea. Possui várias camadas de células distintas: a mais interna é a **camada de neurônios ganglionares** cujos axônios formam o nervo óptico (II par craniano). Nas duas **camadas nucleares** estão os corpos celulares de células específicas: na **interna**, células bipolares, células horizontais e amácrinas e na **externa**, **fotorreceptores**. As duas **camadas plexiformes** são os sítios de profusa comunicação sináptica. A camada externa é formada pelas estruturas que contêm os elementos transdutores dos fotorreceptores.

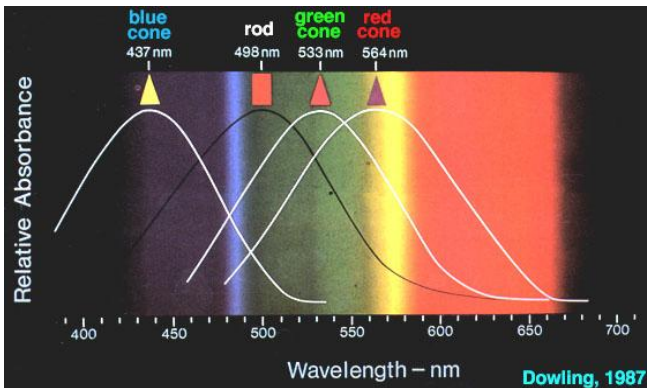
Repare que a camada de fotorreceptores está voltada contra a chegada da luz. Isto parece paradoxal, mas como as camadas de células nervosas são transparentes, a luz passa por elas com distorção mínima. Além disso, esta disposição evita ao máximo as reflexões luminosas devido à camada pigmentar que absorve totalmente a luz. Já o fluxo de informações se dá no sentido oposto: **fotorreceptores** → **células bipolares** → **células ganglionares**. Evidentemente, as células ganglionares conduzem para o cérebro o resultado local e final do processamento visual na forma de PA propagados.

As células horizontais também recebem informações dos fotorreceptores e influenciam as células bipolares enquanto as células amácrinas influenciam a excitabilidade das células ganglionares.



Fotorreceptores

Os **cones** e **bastonetes** são células sensoriais fotossensíveis e responsáveis pela transdução foto-elétrica. A retina humana possui aproximadamente 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones. Tanto os cones como os bastonetes possuem três segmentos: **externo**, **interno** e o **terminal sináptico**. No segmento externo ocorrem as **reações fotoquímicas** e no terminal sináptico, a liberação de NT para as células nervosas da retina (células bipolares e horizontais). O segmento externo dos bastonetes possui, em seu interior, uma pilha de **discos membranosos** (ou lamelas) flutuantes nos quais as

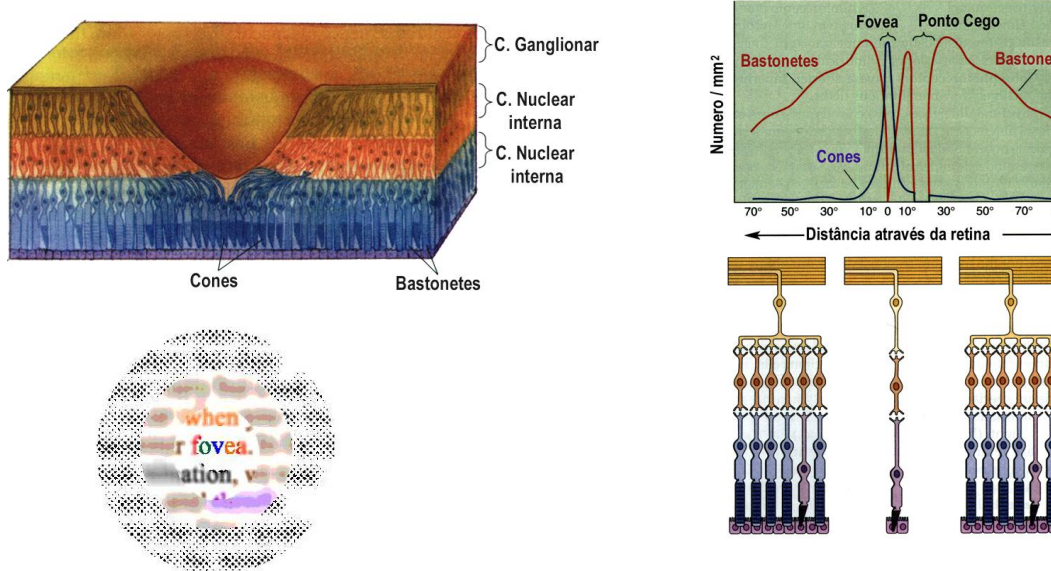


reações fotoquímicas ocorrem; os cones possuem segmentos mais curtos, mas o processo é semelhante. Os segmentos externos dos bastonetes e cones estão em constante renovação.

Os bastonetes são sensíveis a um amplo espectro da luz (380 a 650nm); possuem apenas um tipo de molécula fotossensível, a **rodopsina** que está em concentrações bastante elevadas. Em função dos tipos de pigmentos fotossensíveis a determinados comprimentos de onda há três tipos de cones: **azuis**, **verdes** e **vermelhos**.

Na macula lútea, há uma depressão denominada **fóvea** onde as imagens são focalizadas com maior nitidez ou acuidade. Essa depressão é devida à presença exclusiva de cones e a luz incide diretamente sobre esses receptores. Esse ponto é arbitrariamente conhecido como o **ponto central** e constitui a origem da superfície retiniana (0°). À medida que se afasta do ponto central, a densidade de cones diminui drasticamente e a de bastonetes aumenta. Na fóvea a relação de inervação das células ganglionares com os cones é pequena (1:1) e com os bastonetes é muito grande, ocorrendo muita convergência.

O **disco óptico** é o ponto de emergência do nervo óptico. Isso significa que neste ponto não há retina, portanto uma região "cega". De fato, possuímos um ponto cego em cada retina. Então como é que não vemos essas falhas em nosso campo visual? É que o córtex visual "preenche" esses escotomas fisiológicos completando a imagem em cada campo visual.



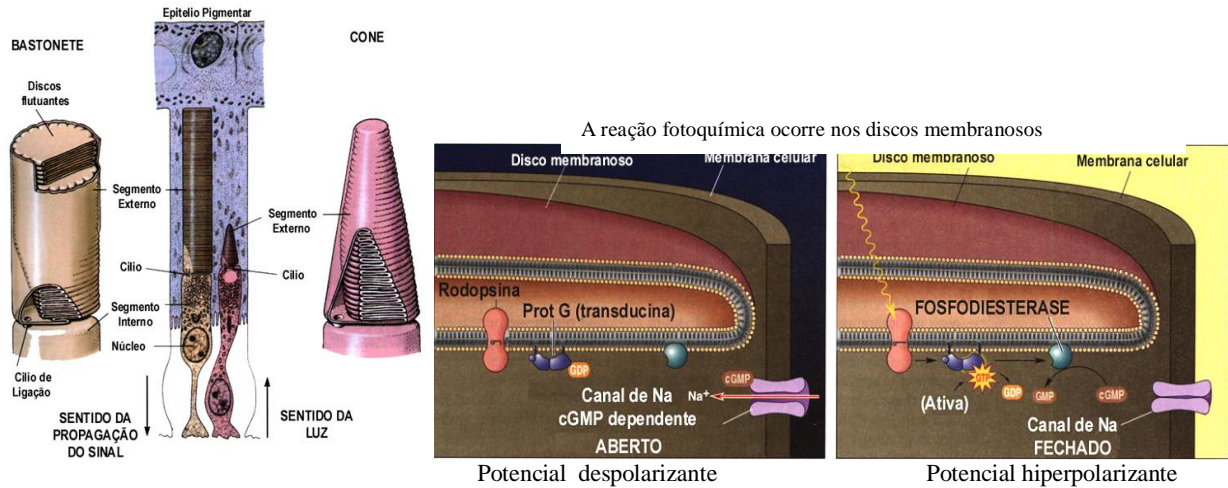
Características	Retina Central (fóvea)	Retina periférica
Melhor desempenho	Visão fotópica	Visão escotópica
Receptor mais freqüente	Cone	Bastonete
Circuito mais recente	Linha exclusiva	Projeção convergente
Sensibilidade a intensidade	baixa	alta
Discriminação de formas	ótima	Precária
Visão em cores	ótima	Precária

MECANISMO DE TRANSDUÇÃO FOTOQUÍMICA

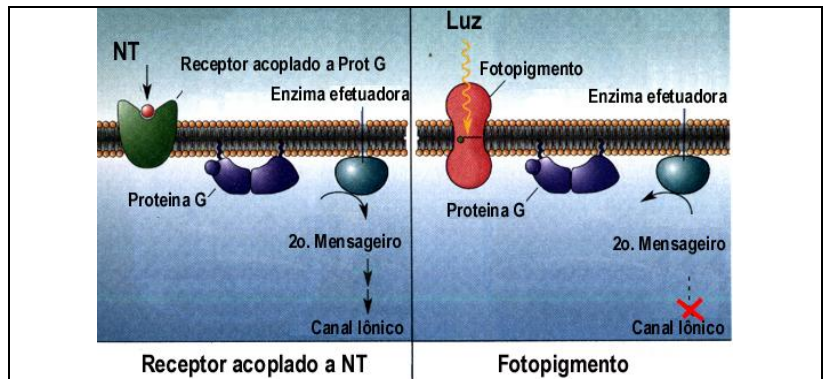
Bastonetes

Os bastonetes os fotopigmentos denominados **rodopsina**. Ela é sintetizada a partir da **opsina** (proteína) e o **retinal** (lipídeo) que é derivado da vitamina A. Na ausência da luz, o retineno da rodopsina se encontra na posição **11-cis** e na presença de luz, a opsina e o retinal se separam e a opsina se descolore (rosa para amarelo pálido). Mais especificamente, a luz tem como função modificar a conformação da rodopsina **11-cis** em **11-trans**. A decomposição causa alteração na condutância iônica na membrana do fotorreceptor e provocar um potencial receptor e como consequência reajustar a liberação de NT (glutamato) do fotorreceptor. Como isso acontece?

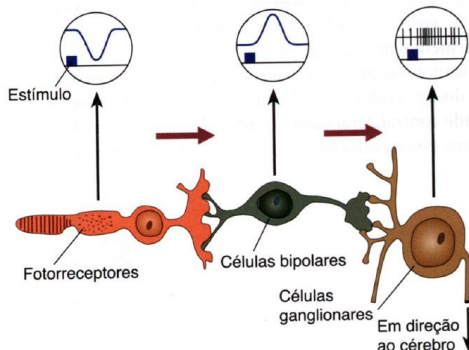
Quando **não há** luz incidente nos fotorreceptores, a membrana dos discos tem a sua permeabilidade alta para os ions Na e há uma corrente de despolarização (**corrente de escuro**). Esses canais de Na são cGMP dependentes. Na **presença de luz** o fotorreceptor reage fotoquimicamente: a rodopsina se descolore e ativa a proteína G, (conhecida como **transducina**) que por sua vez, estimula a atividade da enzima efetora, uma **fosfodiesterase** (que que converte o cGMP em GMP). A redução de cGMP inativa os canais de Na causando corrente de **hiperpolarização** na membrana do fotorreceptor. Concluimos que o potencial receptor do fotorreceptor é hiperpolarizante e, como consequência, deve reduzir a liberação de NT em seu terminal. A luz, causa ainda simultaneamente, a redução de Ca intracelular, fato que estimula a guanili-ciclase, enzima que sintetiza o cGMP antecipando-se para nova situação de ausência de luz.



Faça a comparação entre os mecanismos de ação do fotorreceptor e do NT acoplado a proteína G e quando ela é sensibilizada, ocorre inibição na produção do segundo mensageiro. O fato da reação fotoquímica utilizar 2º mensageiros significa que é um sistema amplificado de sinal: a sensibilidade é tanta que um único foton (unidade de energia luminosa) pode evocar a resposta elétrica no bastonete. Disso podemos deduzir que **os bastonetes estão adaptados para a visão em ambientes com baixa iluminação (visão noturna ou escotópica)** e que o potencial receptor do fotorreceptor é uma resposta de hiperpolarização (**corrente de claro**).

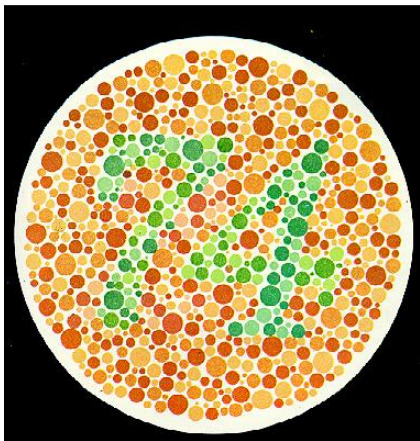
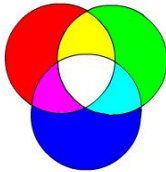
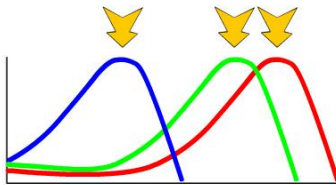
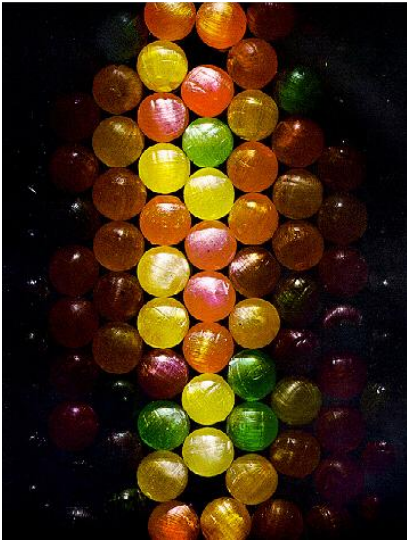


Estimulo	NT	Luz
Ativação do Receptor	Mudança de conformação	Mudança de conformação
Resposta da Proteína G	Ligar-se ao GTP	Ligar-se ao GTP
2º. Mensageiro	AUMENTA	DIMINUI
Resposta do canal iônico	↑ ou ↓ a condutância iônica	↓ a condutância ao Na
Potencial elétrico	PEPS ou PIPS	PR hiperpolarizante



Mas como as células ganglionares são estimuladas? Veja o esquema a seguir do circuito da retina: os fotorreceptores e as células bipolares não geram potenciais de ação, só as células ganglionares. Quando o fotorreceptor gera potencial receptor hiperpolarizante, ocorre redução na liberação dos NT. Como consequência, as células bipolares aumentam o nível de despolarização e excitam as células ganglionares a dispararem mais PA pelas suas fibras aferentes (nervo II). Assim as células ganglionares

podem ser estimuladas (ON) com a presença de luz, ainda que os fotorreceptor seja despolarizado. Por outro há células ganglionares que são inibidas na presença de luz (OFF) pois as células bipolares com as quais está conectada reage dualmente como veremos mais adiante.



Cones e Cores

A figura ao lado mostra que o colorido e a nitidez das esferas são intensos na região mais iluminada. E costumamos afirmar que “*a noite, todos os gatos são pardos*” ainda que durante o dia nos pareçam de diferentes cores. Como podemos explicar isso?

O pigmento do cone é formado de 2 componentes: um retinal 11-cis e uma opsina e se assemelha à rodopsina já estudada. Na retina humana há três tipos de cones: os que tem pico de sensibilidade à luz na faixa dos 419nm (**azuis**); 531nm (**verdes**) e 559nm (**vermelhos**), ou seja, cada um é mais sensível a determinado comprimento de onda (ou cores) da luz. A metade dos cones é de verde e vermelho e apenas 8% são azuis.

Os cones, ao contrário dos bastonetes, necessitam de ambiente bem iluminado para serem ativados, isto é, estão adaptados à **visão diurna** ou **fotópica** e nos proporcionam maior nitidez dos objetos. Os cones são responsáveis pela revelação detalhada do ambiente proporcionando a nitidez. A visão colorida proporcionou uma grande vantagem aos nossos ancestrais primatas com a habilidade de distinguir os frutos maduros dos verdes e a identificar animais camuflados no ambiente.

De fato, ao se comparar a absorvância relativa da energia luminosa dos receptores verificamos que há distintos cones. Com relação aos mecanismos de transdução, os cones também respondem com potencial hiperpolarizante.

Os bastonetes possuem apenas um tipo de fotopigmento e um limiar muito mais baixo de fotossensibilidade; são adaptados para a ambiente com pouca iluminação (**visão escotópica**). O problema é que não nos possibilitam nitidez e definição dos objetos (por isso, à noite, os gatos e os objetos que estão refletindo pouca luz nos parecem todos da mesma cor). Portanto, em ambiente pouco iluminado enxergamos utilizando a região extra-foveal da retina.

O **daltonismo** é uma anomalia genética ligada ao sexo. Caracteriza-se pela incapacidade de discriminar corretamente as cores e pode se manifestar de três maneiras diferentes:

- tricromatismo anômalo:** possuem os três tipos de cones mas os utilizam em proporções anormais (são menos sensíveis ao vermelho ou verde)
- dicromatismo:** percebem as cores usando apenas dois tipos de cones: verde e azul ou vermelho e azul
- monocromatismo:** muito raro, usam apenas um sistema cromático e percebem apenas gradações de claro e escuro

Adaptação ao escuro e ao claro

A **adaptação ao escuro** é a capacidade de ajuste da sensibilidade visual quando subitamente somos submetidos à alteração de luminosidade ambiental do mais claro para o mais escuro (que ocorre quando entramos no cinema que já começou). No começo temos uma dificuldade temporária para enxergar, mas em pouco tempo (20 minutos) ocorre a adaptação à nova condição de luminosidade: o diâmetro pupilar aumenta, os bastonetes começam a funcionar e recuperamos a visibilidade, porém com perda da resolução detalhada e da visão em cores. Seria essa ilusão que nos proporciona a sensação de maior privacidade e nos sentimos tão à vontade para namorar no cinema? (He, he, he)

Vimos que a **vitamina A** é importante na síntese do retinal, componente da rodopsina. A sua deficiência nutricional causa a chamada **“cegueira noturna”**. E é por isso que comer cenoura, fonte rica dessa vitamina, “faz bem a visão”.

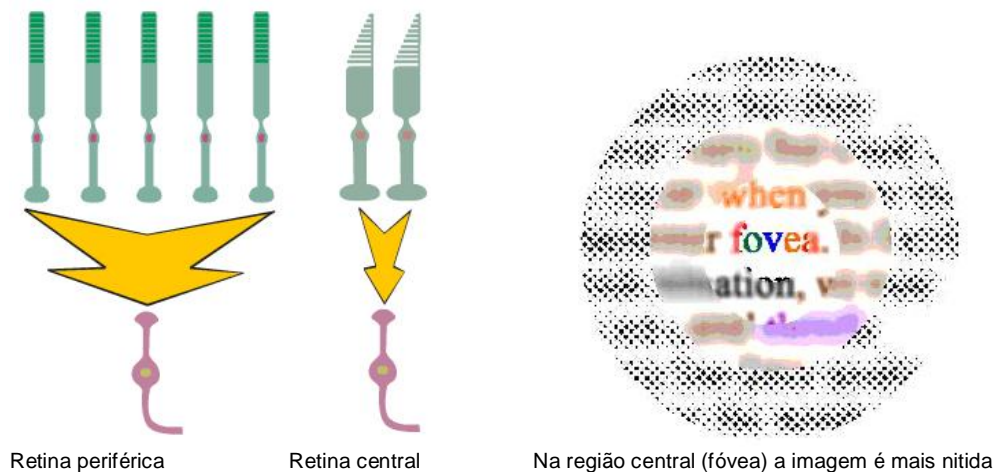
Pense: por que quando olhamos para as estrelas, temos dificuldade de focalizar as menos brilhantes? Como enxergá-las eficazmente?

Assim como ocorre a adaptação ao escuro (visão escotópica), o contrário também acontece: quando termina o filme as luzes são subitamente acesas, sentimos um clarão intenso e atordoante dificultando a visão (reagimos fechando as pálpebras, reduzindo o diâmetro pupilar) e rapidamente, o olho está adaptado às novas condições de luminosidade (visão fotópica). Esse ajuste se chama **adaptação ao claro** e ocorre de maneira bem mais rápida porque a reciclagem de pigmentos nos cones é bem mais rápida.

Comparação entre os dois sistemas de análise visual da retina:

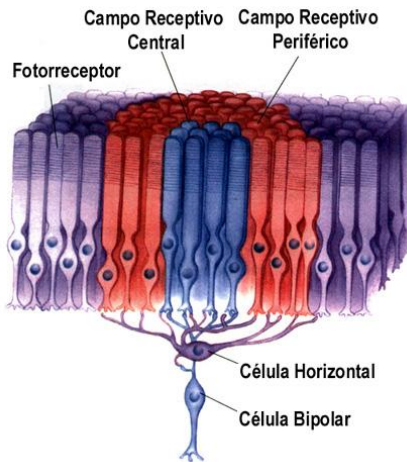
Bastonetes	Cones
Necessita pouca luz, especializada na visão escotópica (visão noturna)	Necessita de muita luz, especializada na visão fótica (visão diurna)
Alta concentração de fotopigmentos	Concentração menor de fotopigmentos
Baixa resolução espacial e temporal	Alta resolução espacial e temporal
Mais sensível à luz difusa	Mais sensível a luz direcionada
Um único tipo de fotopigmento	Três tipos diferentes de pigmentos
Sistema neural na retina	Sistema Neural na retina
Baixa acuidade; elevada convergência das vias retiniais sobre os neurônios ganglionares.	Acuidade elevada; pouca convergência das vias retiniais sobre os neurônios ganglionares.
Campos receptores circulares: centro ON/ centro OFF	Campos receptores circulares: centro ON/ centro OFF para pares de cores
Visão monocromática	Visão em cores (visão tricromática)

PROCESSAMENTO DA IMAGEM DA RETINA



O **campo receptivo** de um neurônio no sistema visual é a parte do campo que um determinado neurônio “vê” ou seja, que está sendo estimulado pela luz.

A figura ao lado mostra a relação entre um neurônio ganglionar e os fotorreceptores com os quais se relaciona. Na região da fóvea, a relação é de uma célula ganglionar para um cone (1:1), mas à medida que nos afastamos da fóvea, a quantidade de informações convergentes para a célula ganglionar vai progressivamente aumentando. Para se ter uma idéia, em média, são 125 bastonetes e 6 cones convergindo para uma única fibra ganglionar. Então as células ganglionares que recebem informações da fóvea as recebem pontualmente (com maior nitidez) e as células ganglionares que recebem informações da periferia, com alto grau de convergência (menos nítidas).



Campo receptivo circular de uma célula bipolar periférica. Note que o campo possui um centro e uma periferia.

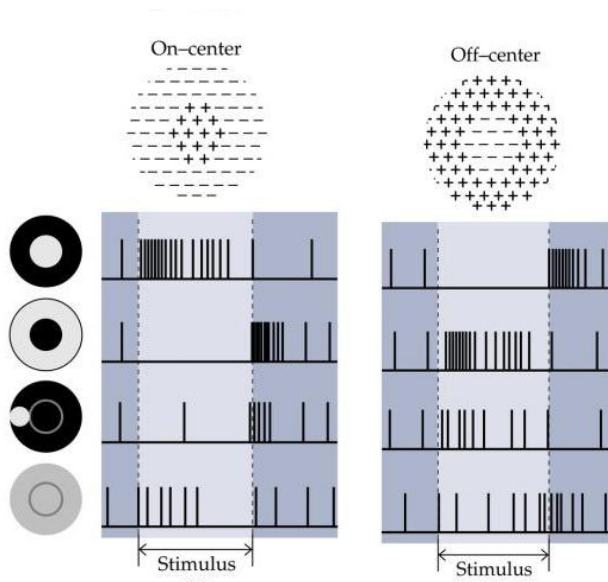
Vamos imaginar como seria o campo receptivo de uma célula bipolar fora da fóvea que faz sinapses com uma população grande de fotorreceptores. Como podemos ver na figura ao lado, o campo receptor é circular com uma **região central** e uma **região periférica**.

Vimos que exceto as células ganglionares as demais células retinianas geram potenciais elétricos locais e graduados. Assim, quando a luz incide sobre a retina, os fotorreceptores, as células bipolares, amácrinas e horizontais processam eletricamente os sinais e modulam a frequência dos PA das células ganglionares, cujos axônios (II par) se dirigem ao cérebro.

De maneira simplificada podemos dizer que na retina a imagem é processada em três níveis:

- 1) a primeira imagem é aquela formada pela ação da sensibilização dos fotorreceptores
- 2) a segunda é modificada pelas células horizontais e transmitidas pelas células bipolares e
- 3) uma terceira é produzida pelas células ganglionares, previamente influenciadas pelas células amácrinas.

Campo receptivo das células ganglionares e as relações com outros elementos neurais



Frequência dos PA nas fibras aferentes das cels ganglionares

Estudos eletrofisiológicos demonstraram que iluminações restritas no centro ou na periferia do campo receptor produzem efeitos antagônicos nos neurônios ganglionares. Acompanhe a figura abaixo e veja o comportamento desses dois tipos de células ganglionares:

Centro ON: Frequência máxima de PA quando só o seu centro está totalmente iluminado e mínima quando está escuro.

Centro OFF: Frequência máxima de PA quando só o seu centro está totalmente escuro e mínima quando está iluminado. Se a periferia é iluminada, a frequência do PA cai.

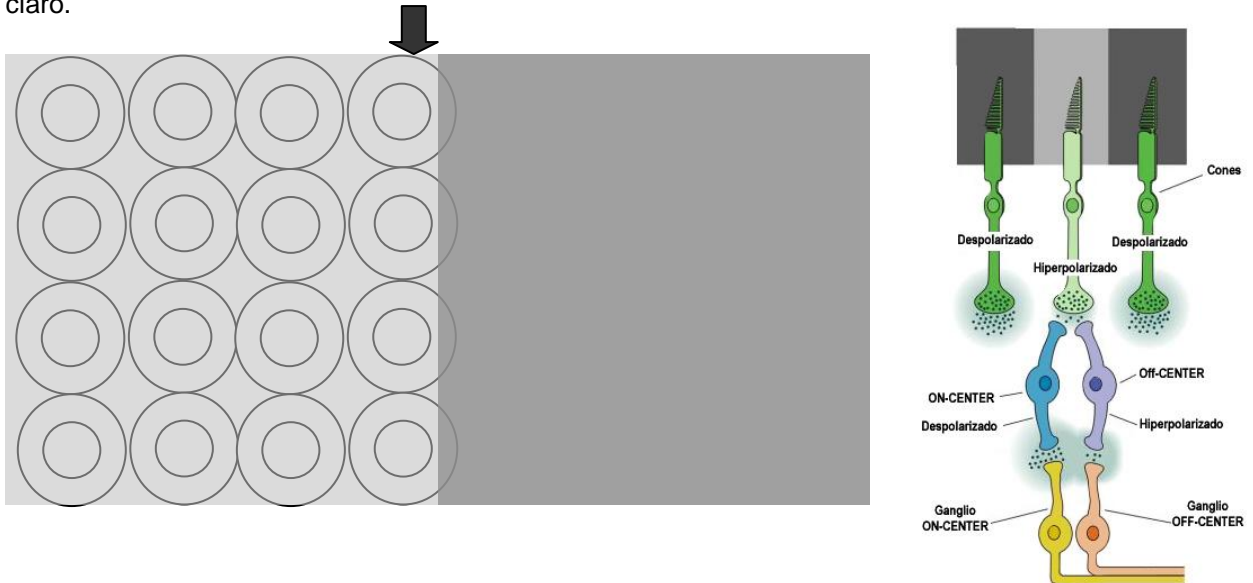
Esse tipo de reação possibilita ao neurônio ganglionar informar o SNC sobre as mudanças de luminosidade no campo receptor, especialmente se o centro está escuro.

Os neurônios do tipo ON ou OFF geram PA espontâneos numa freqüência mais ou menos baixa. Assim quando o objeto se move os níveis de iluminação mudam e nos proporcionam a sinalização de mudanças no campo visual.

Além disso, essa organização centro-periferia proporciona a detecção de contornos dos objetos. Note a figura abaixo: embora cada quadrado cinza apresente uma tonalidade uniforme, o lado esquerdo de cada quadrado parece mais escuro e o lado direito, mais claro. Tal efeito é proporcionado pelo efeito antagônico centro-periferia do campo receptivo das células ganglionares.

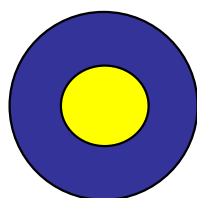


Abaixo estão ilustrados apenas os campos receptivos das células ON e OFF que estão sobrepostos. Vejamos apenas os ON para efeito didático: repare os campos no local da transição entre um quadrado e outro. Lembre-se de que as células ON respondem com mais PA quando só o centro está iluminado. Considere os campos receptores situados entre os 2 quadrados (seta): para esse conjunto de campos receptores, as células ganglionares ON vão disparar mais PA do que aquelas cujos campos receptores estão totalmente iluminadas. Por isso o lado direito do quadrado ele nos parece mais claro.

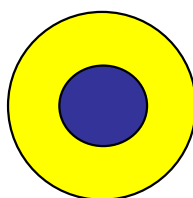


A figura acima e a direita ilustra o circuito da retina mostrando que os fotorreceptores agem de maneira dual sobre as células bipolares que por sua vez produzem respostas antagônicas das células ganglionares ON e OFF.

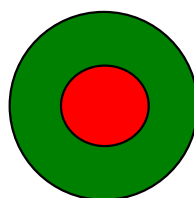
Para a codificação das 3 cores a retina se baseia em um sistema de cores oponentes. Em outras palavras os neurônios ganglionares respondem a pares de cores primarias com o vermelho se opondo ao verde e o azul opondo-se ao amarelo. As células ganglionares são de 2 tipos: vermelho-verde e amarelo-azul. Veja os campos receptivos das células ganglionares sensíveis as cores:



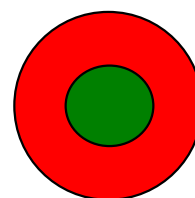
Amarelo ON, azul OFF



Azul ON, Amarelo OFF

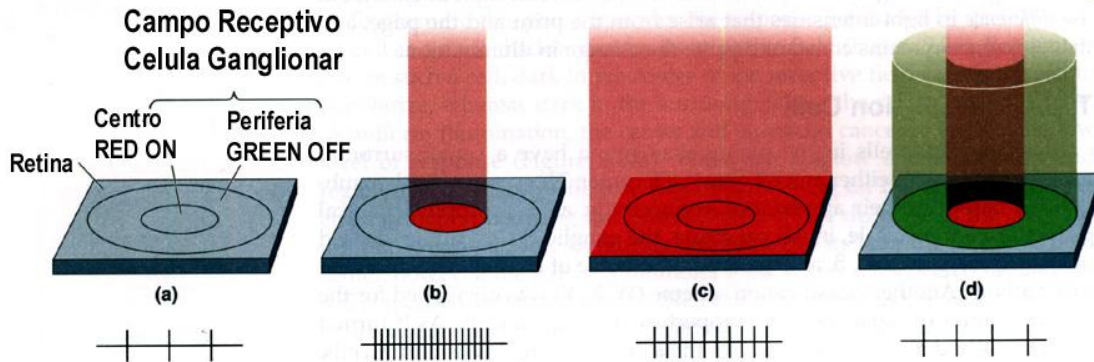


Vermelho ON; Verde OFF



Verde ON; Vermelho OFF

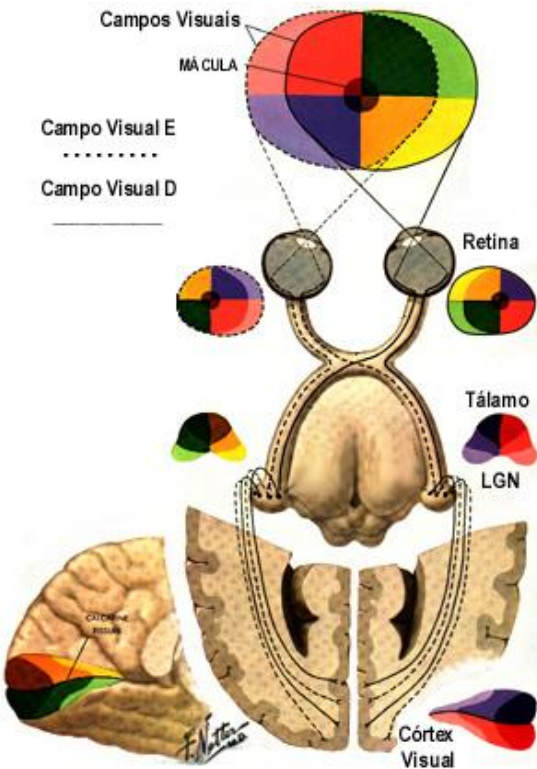
Nos campos receptores dos cones, pares de comprimentos de ondas luminosas operam antagonicamente.



A resposta **resultante** nas células ganglionares ON e OFF depende dos efeitos que as células horizontais e amácrinas exercem sobre os neurônios bipolares e ganglionares. O arranjo citoarquitetônico das células retinianas formam circuitos de **inibição lateral** garantindo este aspecto funcional, e as células ganglionares enviam para o cérebro informações pré-processadas. O que é importante ressaltar é que a retina separa partes das cenas visuais em fragmentos antes de enviarem para os centros superiores. Somente nos centros mais avançados a cena é reconstituída como sensação visual.

Além do padrão de luminosidade e das cores, há células ganglionares especializadas na decodificação de outras características dos objetos como **movimento e forma**.

VIAS VISUAIS



A **via visual** começa na retina com os fotorreceptores. Os neurônios ganglionares são de 3ª ordem e ganham mielina ao deixarem a túnica mais externa para formar o **nervo óptico** (II par de nervos cranianos). Os dois nervos ópticos se encontram no **quiasma óptico** e logo se destacam para formar os tratos ópticos e esses terminam no tálamo, nos **núcleos geniculados laterais (LGN)**. Os neurônios talâmicos (4ª ordem) partem para o **córtex visual** através da radiação óptica e atingem os lábios da fissura calcarina no lobo occipital (neurônios de 5ª ordem). O córtex visual primário é denominado **córtex estriado** e funcionalmente está organizada funcionalmente em módulos contendo cada um 150.000 neurônios. No total existiria 2500 módulos sendo que cada um recebe um analisa um determinado aspecto da uma região diminuta do campo visual e que são associadas em outras áreas corticais.

Ao nível do quiasma, ocorre **decussação** parcial das fibras: as fibras nasais de um mesmo olho cruzam para o lado oposto; já as fibras temporais que se mantêm homolateralmente.

Como consequência, no LGN e no córtex de um lado (direito, pe), chegam impulsos da retina nasal do

olho esquerdo e da retina temporal do olho direito. Na prática significa que o córtex do lado direito toma consciência do hemisfério visual temporal do olho direito e do hemisfério visual temporal do olho esquerdo.

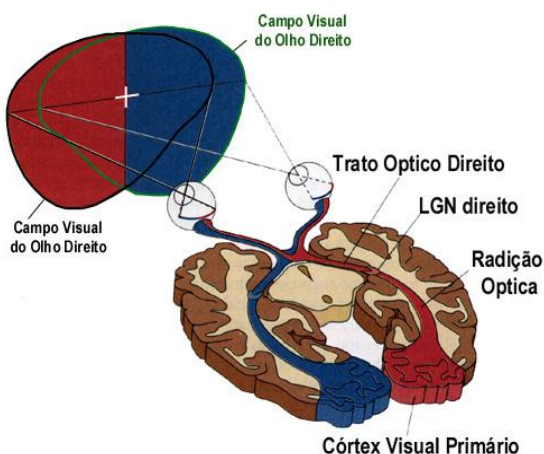
As informações da retina têm vários destinos:

As informações originadas na retina não só evocam a percepção visual como também propiciam outras atividades como respostas motoras reflexas e os ritmos biológicos.

- 1) **Fibras retino-geniculadas:** são as mais importantes, pois somente estas estão relacionadas com a percepção consciente da visão. Os neurônios talâmicos (de 4ª ordem) projetam-se para o **córtex visual** localizado no lobo occipital nos lábios da fissura calcarina através da radiação óptica;
- 2) **Fibras retino-hipotalâmicas:** destaca-se do quiasma e ganham o núcleo supraquiasmático do **hipotálamo** e estão associados com a regulação dos ritmos biológicos;
- 3) **Fibras retino tectais:** projetam-se para os núcleos dos **colículos superiores** e estão associados com reflexos dos movimentos oculares, reflexo fotomotor direto e consensual.

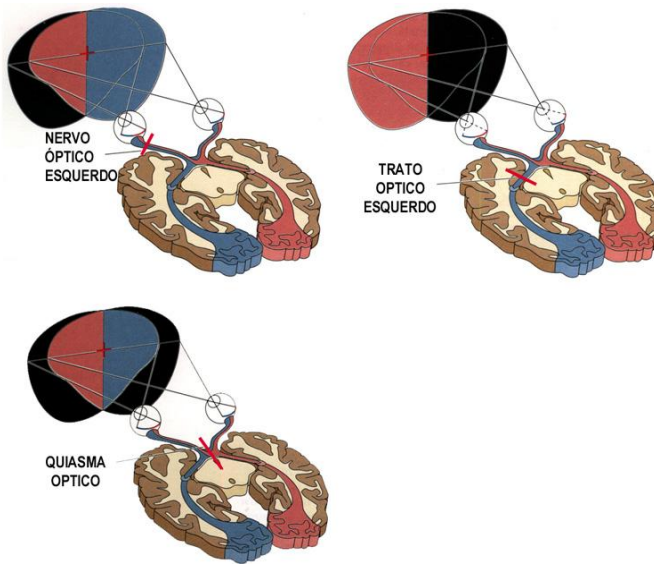
- ✓ Quando queremos manter o olhar fixado num determinado objeto, os nervos motores do III, IV e V pares são recrutados para controlar os músculos extrínsecos dos olhos. Entretanto, estamos sujeitos a movimentos da cabeça e do corpo constantemente, tendendo a desfocalizar o objeto de interesse sobre a fóvea. Os órgãos do sentido de equilíbrio (a ser estudado mais adiante) enviam constantemente informações para estes núcleos que corrigem os movimentos dos olhos. Imagine-se sobre o cavalo trotando: sua cabeça estará se movimentando para cima e para baixo. Para evitar a desfocalização de um objeto a sua frente, todas as vezes que a cabeça se abaixar, os olhos se movimentam para cima e vice-versa.
- ✓ As fibras que chegam na área pré-tectal chegam até o núcleo de Edinger-Westphal e pelo III par de nervos cranianos os neurônios pré-ganglionares chegam até o gânglio ciliar. Os neurônios pós-ganglionares parassimpáticos inervam os músculos esfíncter da pupila, causando a sua contração (miose). A lesão do óculo motor causa abolição deste reflexo. Como ocorre o cruzamento das fibras no quiasma, a iluminação do olho de um lado causa, o reflexo fotomotor do olho; daí o nome **reflexo consensual**, em oposição ao anterior, **reflexo fotomotor direto**.
- ✓ **Reflexo de Piscar:** o piscar é desencadeado por outros estímulos mas as informações da retina são enviadas também para o núcleo do nervo facial (VII), cujos neurônios motores inervam os músculos orbiculares que causam o fechamento da pálpebra, especialmente quando ocorre aumento de intensidade luminosa. Caso a estimulação seja muito intensa, são enviados impulsos para neurônios motores medulares (Trato teto-espinhal) causando a proteção dos olhos com as mãos.

Campos visuais



O campo visual de um olho com a cabeça parada corresponde a 150°; veja-o com um olho fechado. Com os dois olhos abertos, o campo visual fica evidentemente mais ampliado. Fixe um determinado ponto de observação e feche e abra cada olho alternadamente. É fácil perceber que existe uma região central vista por cada olho que se sobrepõe. Este é o **campo binocular** cuja sobreposição (quando vemos com os dois olhos abertos) nos permite relativizar a profundidade e o relevo dos objetos, proporcionando-nos a visão estereoscópica.

Efeitos das lesões na Via Óptica



Na figura os campos em preto são regiões dos campos que não enxergaríamos devido à lesão correspondente.

- 1) Lesão do **Nervo Óptico E**: perda total da sensibilidade neste olho. Mas o olho intacto ainda 150° do campo visual.
- 2) Lesão do **Trato Óptico E**: perda da sensibilidade visual da retina temporal do olho esquerdo e da retina nasal do olho direito. Como consequência, conserva-se apenas a visão do hemisfério visual esquerdo (Hemianopsia¹ homônima).
- 3) Lesão mediana do **quiasma óptico**: perda de sensibilidade das retinas nasais de ambos os olhos; estreitamento do campo visual (Hemianopsia heterônima bitemporal).

¹ *psia*=referente a visão; *anopsia*=deficiência visual, cegueira