

BIOFÍSICA DA VISÃO

META

Compreender o mecanismo sensorial responsável pela formação da visão, assim como algumas patologias que afetam este processo.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

descrever a anatomia do globo ocular;

descrever a íris e o papel da pupila na visão;

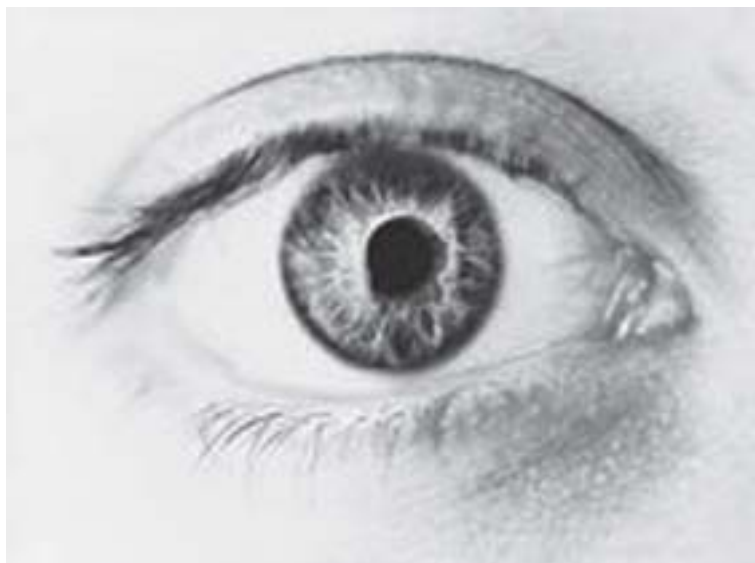
descrever o processo de acomodação do cristalino;

descrever o papel da retina na formação da imagem;

descrever a cadeia das reações que fazem a ativação da rodopsina pela luz; e compreender as principais ametropias do olho e as suas correções.

PRÉ-REQUISITOS

Para entender esta aula é preciso revisar a anatomia do globo ocular.



Olho (Fonte: <http://www.gettyimages.com>).

INTRODUÇÃO

O globo ocular é um sensor poderosíssimo. Juntamente com o cérebro, capta as imagens que desvendam o mundo exterior com todas as suas formas, relevos, cores e movimentos. As suas lentes, córnea e cristalino, permitem que o olho seja capaz de focalizar objetos situados distantes ou bem próximo a nossa face. Podemos visualizar objetos na penumbra ou no claro. Muitos comparam o funcionamento do olho com aquele das máquinas fotográficas, porém a versatilidade do olho é muito superior.

Quando focalizamos um objeto, os raios luminosos penetram na córnea, atravessam o humor aquoso, entram pelo orifício da íris, a pupila, atravessam o cristalino e o corpo vítreo chegando finalmente na retina. Nela, a imagem do objeto se forma invertida e menor. Entretanto, nosso cérebro interpreta corretamente o que estamos vendo.



A Retina é uma membrana sensorial que recebe os raios luminosos. É responsável pela formação de imagens e transformação da luz captada em sinais elétricos que serão enviados ao cérebro. (Fonte: opticaatlantis.blogspot.com).

ANATOMIA DO GLOBO OCULAR

O globo ocular apresenta aproximadamente 24 mm de diâmetro e está encapsulado quase totalmente por uma membrana de cor branca chamada de esclerótica ou esclera (Fig. 29).

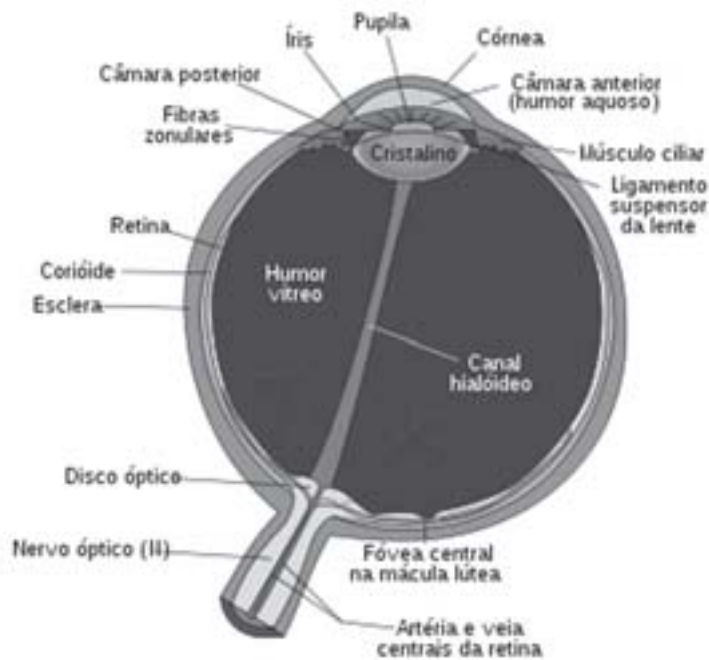


Figura 29. Representação esquemática das estruturas do globo ocular. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>).

A porção posterior do globo ocular é formada por três membranas ou túnicas. De fora para dentro elas são:

1. Esclerótica – Também chamada esclera ela é uma membrana rígida formada por fibras colágenas e elásticas cuja a função é manter o formato globoso do olho. Nesta membrana estão inseridos as fibras de 6 músculos extra-oculares que controlam os movimentos do globo ocular. Os músculos são: oblíquo maior, oblíquo menor, reto interno, reto externo, reto superior e reto inferior (Conde-Garcia, 1998, p.252, Aires, 2008, p.253).
2. Coróide – Localiza-se anteriormente à esclerótica e apresenta-se intensamente pigmentada, pois é rica em melanina. Assim, ela contribui para formar, dentro do globo ocular, uma câmara escura, diminuindo o índice de reflexão da luz na retina. Pela coróide cursam numerosas artérias e veias e, com isso, ela se torna responsável pela nutrição das células da retina chamadas de fotorreceptores, que são de dois tipos: os cones e os bastonetes.

3. Retina – localizada anteriormente à coróide, sendo a mais interna. Ela é formada por 10 camadas (Conde-Garcia, 1998, p.254):

1. Epitélio pigmentado
2. Camada de fotorreceptores
3. Membrana limitante externa
4. Camada nuclear externa
5. Camada plexiforme externa
6. Camada nuclear interna
7. Camada plexiforme interna
8. Camada de células ganglionares
9. Camada de fibras ópticas
10. Membrana limitante interna

Funcionalmente a retina é dividida em duas regiões a retina periférica com predominância de bastonetes e a retina central formada pela fóvea. A fóvea contém apenas cones e permite que a luz atinja os fotorreceptores sem passar pelas demais camadas da retina, maximizando a acuidade visual. Os cones e os bastonetes são neurônios que fazem sinapses com as células bipolares que, por sua vez, fazem sinapses com as células ganglionares. Estes neurônios convergem para a porção posterior do olho e formam o nervo óptico responsável pela propagação do impulso elétrico ao cérebro.

A região da retina de onde sai o nervo óptico e passam a artéria central da retina e a veia central da retina, responsáveis pela nutrição do globo ocular, é chamada de ponto cego. Portanto, nessa região não existem nem cones nem bastonetes e uma imagem que se forme sobre ela não pode ser visualizada. Para comprovação da existência do ponto cego você pode fazer o teste da Fig. 30. Como se faz este teste? Tampe seu olho direito e olhe no ponto do lado direito (o círculo) da figura com o seu olho esquerdo. Permaneça olhando o círculo, enquanto, lentamente movimenta-se mais perto ou mais longe da figura. Você descobrirá o ponto cego na sua visão quando a cruz não for visualizada.



Figura 30 – Teste para comprovar a existência do ponto cego na retina

Na retina formam-se as imagens reais dos objetos observados pelo globo ocular. A imagem formada na retina é invertida e menor.

Cones - são os cones as células capazes de distinguir cores. Há três tipos de cones: um que se excita com luz vermelha, outro com luz verde e o terceiro, com luz azul. A imagem fornecida pelos cones é mais nítida e

mais detalhada. Além disso, são células que operam melhor em ambientes iluminados (visão fotópica).

Bastonetes – são células que não detectam luz colorida e não formam visão detalhada. Operam melhor em ambiente com baixa luminosidade (visão escotópica), ou seja, são células mais sensíveis à luz. À noite, a nossa visão depende principalmente da ativação dos bastonetes.

Córnea – A córnea é uma membrana transparente que, na porção anterior do olho, dá continuidade à esclera. Ela atua como uma lente convergente. Sua estrutura não é vascularizada e sua inervação é desprovida de bainha de mielina, o que garante a sua total transparência. A córnea, juntamente com o cristalino, converge a luz para a formação da imagem na retina.

Humor aquoso – O humor aquoso é o segundo meio transparente de olho. Ele está logo atrás da córnea. Este fluido está contido na câmara anterior do olho que se situa entre a córnea e o cristalino. É produzido pelo epitélio do corpo ciliar. Quando o corpo ciliar produz o humor aquoso, esse líquido é eliminado na câmara posterior do olho e depois passa para a câmara anterior. O humor aquoso é reabsorvido para as veias, através do canal de Schlemm que se situa no corpo ciliar (Fig. 31). O humor aquoso tem na sua composição, cloretos, glicose, CO_2 , aminoácidos, ácido láctico, uréia, proteínas, ácido ascórbico, fósforo inorgânico, ácido cítrico e ácido úrico (Conde-Garcia, 1998, p.251). Ele tem função de fornecer a maior parte dos metabólitos necessários às células da córnea e do cristalino. O volume do humor aquoso (cerca de 0,22 mL) deve ser mantido constante para que a pressão intra-ocular seja menor do que 22 mmHg.

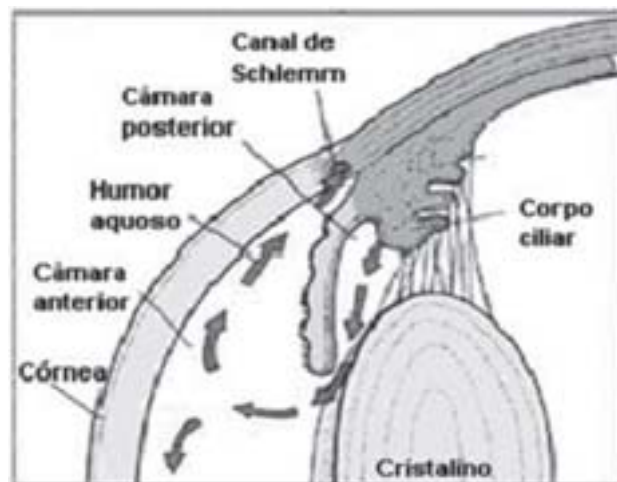


Figura 31. Produção do humor aquoso pelo corpo ciliar mostrando o fluxo do humor passando da câmara posterior para a câmara anterior onde vai ser drenado pelo canal de Schlemm (Fonte: <http://www.merck.com>).

Íris – É uma membrana de cor variada localizada entre o humor aquoso e o cristalino. Na sua estrutura, possui músculos que lhe dão mobilidade para alterar o diâmetro do seu orifício, a *pupila*. O músculo dilatador da pupila, comandado pelo sistema simpático, promove aumento da pupila. Este ato é chamado de *midríase*. O músculo esfíncter pupilar, innervado pelo sistema parassimpático, quando ativado, promove a diminuição do diâmetro pupilar, evento que se conhece como *miose*. O diâmetro da pupila no ser humano varia de 1,5 a 8 mm. Com isso, ela pode controlar a entrada de luz no globo ocular. Em um ambiente muito iluminado, a pupila entra em miose para diminuir a entrada da luz no olho e em um ambiente pouco iluminado, a pupila ela se torna midriática, a fim de captar mais luz (Tabela 1). Outro fator importante que altera o diâmetro da pupila, é a distância em que o objeto visualizado se encontra do olho. Ao focalizar um objeto próximo, a pupila entra em miose, enquanto que para os objetos distantes, ela entra em midríase. A Tabela 1 ilustra alguns fatores que podem alterar o diâmetro da pupila.

Tabela 1. Condições que promovem variação do diâmetro pupilar

Miose	Midríase
Ambiente muito iluminado	Ambiente pouco iluminado
Focalização de um objeto muito próximo	Focalização de um objeto muito distante
Sono: se acentua com a profundidade do sono	Despertar (passagem)
Na agonia e horas após a morte (12 a 24h)	No momento da morte
Fadiga extenuante	Fadiga ligeira, cólicas, dores, orgasmo, odor

(Fonte: Conde-Garcia, 1998, p. 250).

Cristalino – É também um meio transparente do olho. Ele se comporta como uma lente convergente do tipo biconvexa, ou seja, suas faces são convexas. Esta lente convergente focaliza a luz captada pelo globo ocular a fim de formar as imagens sobre a retina. O cristalino sofre um mecanismo conhecido como *acomodação visual à distância*, alterando o seu poder de convergência para focalizar sobre a retina, a imagem de objetos situados em diversas distâncias (Fig. 32). A forma do cristalino é alterada pelo músculo ciliar. Esse músculo tem fibras radiais e fibras circulares. Graças ao processo de acomodação do cristalino à distância, um olho normal pode focalizar objetos que estão perto ou longe.

- *Visão de objetos próximos* – Na visão de objetos situados próximos ao olho, os raios de luz que penetram nele formam um pincel divergente. Para que suas imagens se formem sobre a retina e a pessoa consiga enxergar com nitidez e detalhes, é preciso que o cristalino se adapte, aumentando sua convergência o que o torna mais esférico. Isso é possível pela contração do músculo ciliar.

- *Visão de objetos distantes* – Na visão de objetos distantes, os raios de luz que penetram no olho formam um feixe paralelo. Para que suas

imagens se formem na retina e com isso sejam vistas com nitidez e detalhes, é preciso que o cristalino diminua a sua convergência, tornando-se mais delgado. Isso é possível pelo relaxamento do músculo ciliar.

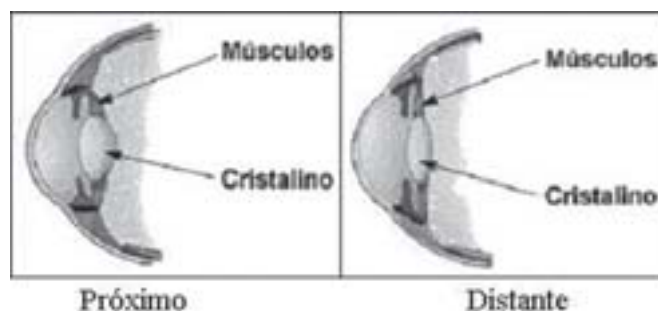


Figura 32. Acomodação visual do cristalino de acordo com a distância do objeto (Fonte: www.editorasaraiva.com.br).

Humor vítreo – O humor vítreo é um fluido gelatinoso e transparente que preenche a câmara situada entre o cristalino e a retina. Na sua composição química encontramos nitrogênio, mucoproteína, albumina, globulina, peptona, glicose e zinco (Conde-Garcia, 1998, p.251). A produção e a eliminação deste fluido é bem menor do que a do humor aquoso. A sua consistência gelatinosa ajuda a manter o formato globoso do olho.

FENÔMENOS ÓPTICOS

O que acontece quando um feixe luminoso encontra a superfície de separação entre dois meios opticamente diferentes? Neste caso, pode ocorrer reflexão, refração ou absorção da luz (Fig. 33). Examinando a questão de forma acurada, os três fenômenos sempre acontecem, porém quase sempre há predominância de um deles (Ramalho et al., 1999, p.212).

- Reflexão – Acontece em superfícies polidas. Os raios de luz de luz que se propagam no meio 1 e incidem sobre a superfície, retornam ao meio original.

- Refração – Acontece quando raios de luz que se propagam no meio 1 incidem sobre uma superfície transparente S e, depois de atravessá-la, passam a se propagar num outro meio 2.

- Absorção - Acontece quando os raios de luz que incidem sobre uma superfície são por ela absorvidos, transformando-se em calor. Desta forma, não são gerados nem raios refletidos, nem refratados.

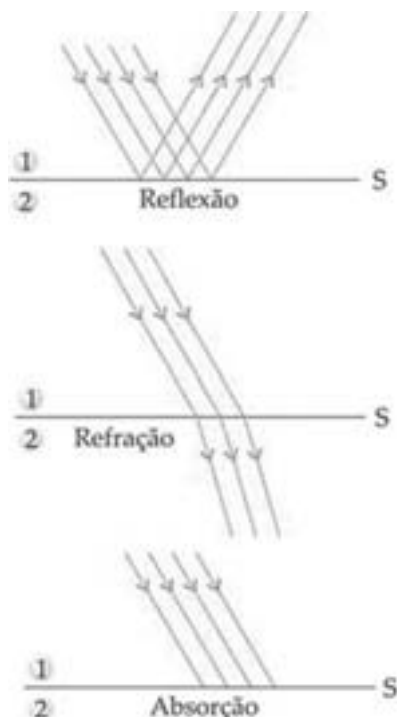


Figura 33. Fenômenos de reflexão, refração e absorção da luz ao incidir sobre uma superfície S (Ramalho et al., 1999, p.212).

A luz branca emitida pelo Sol ou por lâmpadas incandescente especiais, é constituída por uma grande variedade de cores, isto é, de luzes monocromáticas. A luz branca, assim, contém radiações com comprimento de onda que vão de 400 a 750 nm. Esta faixa do espectro eletromagnético o olho humano pode enxergar. Agrupando-se as cores pode-se dizer que o espectro visível é composto por 7 cores (cores do arco-íris): violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. A Fig. 34 mostra um feixe de luz branca incidindo sobre um prisma. Ao atravessá-lo, a luz se decompõe e surgem muitas cores. A decomposição da luz branca está associada à diferença de velocidade de propagação dos raios luminosos num determinado meio transparente. No céu, o arco-íris se forma quando a luz branca do Sol é decomposta ao atravessar as gotículas de água contidas em nuvens de chuva (Ramalho et al., 1999, p.213). Os experimentos mostram que, quando a luz branca incide num prisma transparente, a luz que sofre menor desvio é a vermelha (maior comprimento de onda) e a que sofre maior desvio é a violeta (menor comprimento de onda). Esses prismas são usados no espectrofotômetros para decompor a luz branca proveniente de uma lâmpada, permitindo assim que o comprimento de onda para análise de uma determinada solução seja escolhido.

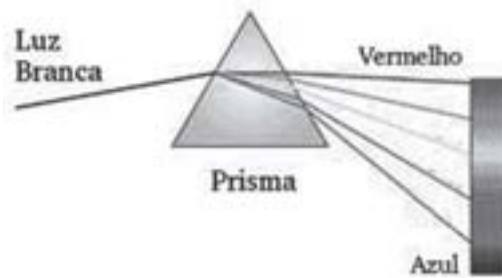


Figura 34. Decomposição da luz branca do Sol por um prisma triangular (Fonte: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br>).

LENTE

Quanto ao comportamento óptico uma lente por ser classificada em *convergente* ou *divergente*. Ela é convergente quando raios paralelos que nela incidem são refratam passando por um ponto único chamado de foco. Diferentemente, os raios que incidem numa lente divergente saem dela afastando-se uns dos outros. Apenas o prolongamento deles é que convergem para um foco virtual.

FORMAÇÃO DA IMAGEM NO GLOBO OCULAR

Quando olhamos um objeto, os raios luminosos dele provenientes atravessam a nossa córnea, o humor aquoso, passam pela pupila, pelo cristalino e pelo humor vítreo, chegando finalmente à retina. Nela, a imagem do objeto se forma invertida e menor. Neste percurso, a luz atravessa meios de densidades diferentes e sofre refrações. Refração é a mudança de trajetória do raio luminoso ao passar de um meio para outro. No olho, a luz sofre 4 refrações, a saber: ar-córnea, córnea-humor aquoso, humor aquoso-cristalino, cristalino-humor vítreo (Conde-Garcia, 1998, p.261):

Por que a refração ocorre? A refração ocorre porque há mudança na velocidade de propagação da luz quando ela passa de um meio para outro de índice de refração diferente.

Imagine uma linha imaginária dividindo o globo ocular na metade, ou seja, passando no centro das lentes córnea e cristalino. Essa linha é chamada de eixo óptico do olho. Entretanto, não é neste eixo onde se formam as imagens na retina. A fóvea está num eixo chamado de eixo visual e é nela onde se forma a imagem do objeto que se está observando. O eixo visual une a fóvea ao centro do cristalino (Fig. 35).

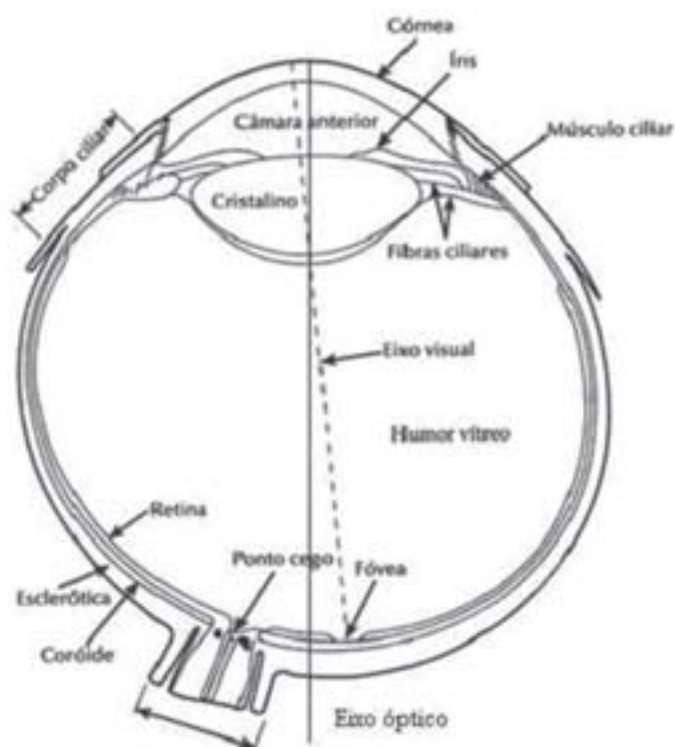


Figura 35- Ilustração do globo ocular mostrando os eixo visual (linha tracejada) e o eixo óptico (linha contínua).

PIGMENTOS VISUAIS E FOTOTRANSDUÇÃO

O processo de transformação da energia física da luz (eletromagnética) em potenciais elétricos envolve uma etapa química com a participação de fotorreceptores dos cones e bastonetes (Aires, 2008, p.259).

Os fotorreceptores (cones e bastonetes) de todos os vertebrados respondem à luz por causa dos pigmentos visuais que possuem. Eles se encontram mergulhados na bicamada lipídica dos cones e nos discos membranosos dos bastonetes. Os bastonetes contêm o pigmento rodopsina e são responsáveis pela visão em ambiente de baixa luminosidade. Os cones contêm 3 diferentes tipos de opsinas. Uma com maior sensibilidade para o azul, outra que é sensível ao verde e outra com sensibilidade para a cor vermelha.

Na ausência de luz, os canais de Na^+ e Ca^{++} localizados na membrana do bastonete estão abertos. A corrente de entrada destes dois cátions mantém a célula despolarizada. Como consequência desta despolarização, os bastonetes no escuro estão liberando constantemente neurotrans-

missores inibitórios (glutamato), bloqueando assim a transmissão de sinais luminosos para os neurônios de segunda ordem.

Quando a luz penetra no olho, ela ativa um pigmento sensível a luz, a rodopsina. A rodopsina é uma proteína de 40.000 daltons apresentando 7 segmentos transmembranares. É formada pela junção do 11-cis-retinal com a escotopsina. O 11-cis-retinal é um derivado da vitamina A. A falta dessa vitamina pode causar cegueira noturna. A rodopsina quando exposta à luz se decompõe, provocando uma alteração física da porção 11-cis-retinal de forma a alterá-la para transretinal. A rodopsina ativada é chamada de metarrodopsina II que, por sua vez, ativa uma proteína G especial chamada de transducina. Esta proteína tem 3 subunidades denominadas α , β e γ , e quando a sua subunidade α está ligada ao GDP (guanidina difosfato) ela se apresenta inativa. Quando fosforilada, α subunidade libera o GDP e fixa o GTP (guanidina trifosfato) separando-se das outras subunidades, passando para estado ativo. A subunidade α da transducina ligada ao GTP ativa a enzima fosfodiesterase que catalisará a hidrólise do GMPc (guanidina monofosfato cíclica) em GMP (guanidina monofosfato). A diminuição dos níveis intracelulares de GMPc fecha os canais de Na^+ , fazendo com o bastonete hiperpolarize, isto é, fique com o seu citoplasma mais negativo. Este fenômeno se chama de hiperpolarização. Quando o bastonete hiperpolariza, ele deixa de liberar o neurotransmissor inibitório – glutamato. Com isto, a célula bipolar a ele ligado transmite para os neurônios de segunda ordem, os sinais elétricos produzidos pela excitação luminosa, permitindo que a informação luminosa chegue ao cérebro (Aires, 2008, p. 262). Quanto mais fótons de luz são absorvidos pela rodopsina mais canais de Na^+ se fecham e menos neurotransmissor é liberado (Fig. 36).

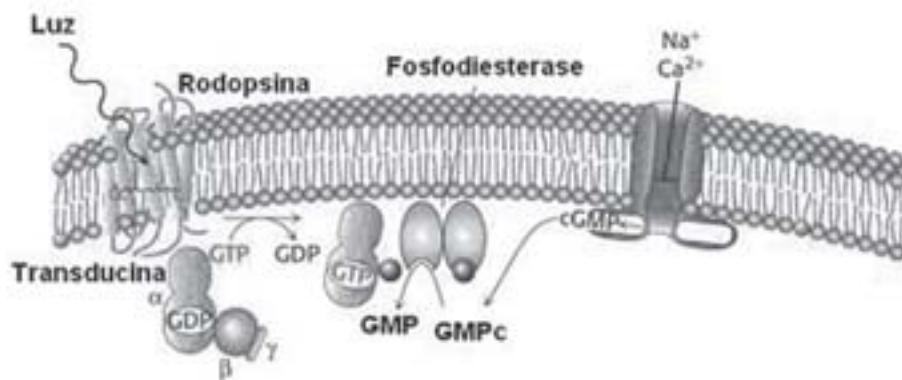


Figura 36. Mecanismo de ativação da rodopsina pela luz (Fonte: <http://www.unizar.es>).

O cérebro humano tem áreas específicas, localizadas na região occipital, que recebem e decodificam as mensagens captadas pelos olhos, transformando-as no que chamamos de visão.

PATOLOGIAS DO GLOBO OCULAR

Em um olho emétrepe ou normal as imagens são formadas corretamente na retina, portanto, a visão é nítida. Quando isso não ocorre, dizemos que o olho apresenta uma ametropia, isto é, há um defeito na visão. Dentre esses defeitos destacam-se a miopia, a hipermetropia, o astigmatismo, o estrabismo e a presbiopia. Muitos outros quadros patológicos ainda existem. Para citar uns poucos, podemos lembrar do glaucoma, daltonismo, catarata e conjuntivite.

Miopia - Na miopia a formação da imagem ocorre antes da retina, porque o olho é anormalmente longo ou o cristalino apresenta-se excessivamente convergente. A consequência disso é dificuldade de focalizar objetos distantes, ou seja, os míopes enxergam mal os objetos que estão longe. A correção da miopia se faz com o uso de lentes (óculos ou lentes de contato) divergentes. Atualmente, já há correção cirúrgica para a miopia (Fig. 37a).

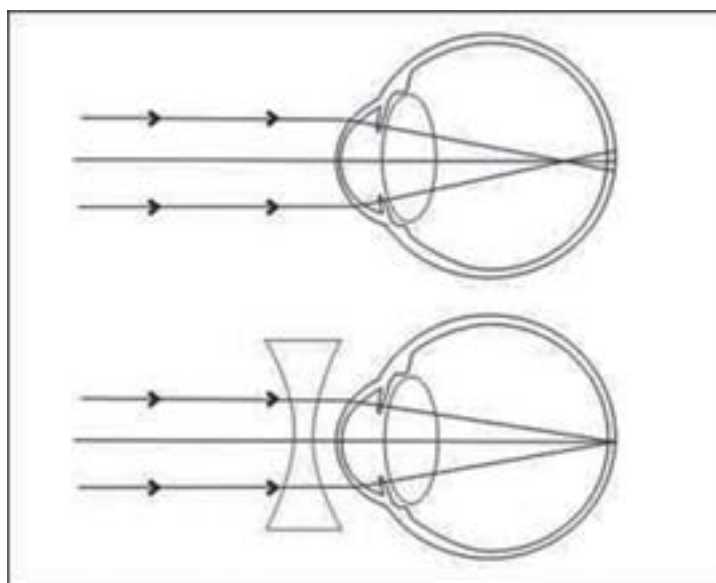


Figura 37a. Representação esquemática do processo de formação da imagem em um olho com miopia. (Fonte: <http://www.colegiosaofrancisco.com.br>).

Hipermetropia - Na hipermetropia a formação da imagem ocorre, teoricamente, atrás da retina, porque o olho é curto demais ou o cristalino apresenta-se com convergência diminuída. A consequência disso é a dificuldade de focalizar objetos próximos ou seja, os hipermétropes enxergam mal objetos próximos. Este defeito pode ser corrigido com lentes convergentes (Fig. 37b).

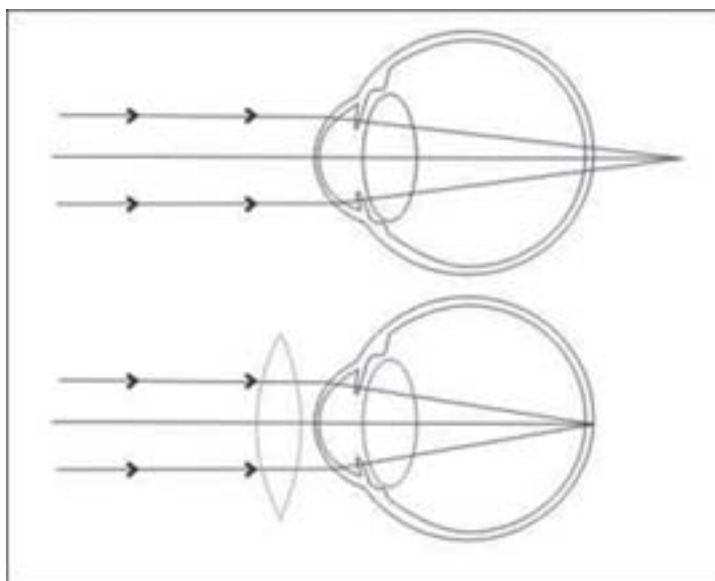


Figura 37b. Representação esquemática do processo de formação da imagem em um olho com hipermetropia. (Fonte: <http://www.colegiosaofrancisco.com.br>).

Astigmatismo - O astigmatismo consiste em uma irregularidade na curvatura da córnea e mais raramente, do cristalino. Em consequência, o olho não é capaz de distinguir nitidamente linhas verticais e horizontais. Para as pessoas que sofrem de astigmatismo, os objetos próximos ou distantes ficam distorcidos. As imagens ficam embaçadas porque alguns dos raios de luz são focalizados e outros não (Robortella, 1984). O uso de lentes cilíndricas corrige o astigmatismo (Heneine, 2006, p.316).

Presbiopia - A presbiopia costuma ocorrer a medida que uma pessoa envelhece e é conhecida popularmente como “vista cansada”. Com a idade, o cristalino vai perdendo a sua elasticidade. Com isto, o músculo ciliar não consegue fazer com que o cristalino modifique a sua forma de modo a se adaptar para objetos distantes ou próximos. Este processo é progressivo e se acentua com o aumento da idade, mas normalmente se estabiliza ao redor dos 60 anos. Uma lente convergente corrige o defeito, fazendo com que objetos próximos sejam vistos com nitidez (Robortella, 1984).

Catarata - A catarata é uma lesão ocular que torna opaco o cristalino. Com isso, os raios de luz não conseguem atravessá-lo e, assim, não alcançam a retina para formar a imagem, comprometendo a visão. As causas mais frequentes são:

1. Ação das radiações ionizantes que provocam desnaturação das proteínas que compõem o cristalino.
2. Acúmulo de cálcio no cristalino, opacificando a lente.
3. Diabetes

4. Uso sistemático colírios que contêm corticóides,
5. Inflamações intra-oculares
6. Traumatismos

Geralmente a catarata acomete indivíduos acima de 50 de idade. Entretanto, nos três primeiros meses de gestação se a mãe contrair rubéola ou toxoplasmose, a criança pode nascer com catarata. O único tratamento para catarata é o cirúrgico que tem o objetivo de substituir o cristalino danificado por uma lente artificial que recuperará a função perdida.

Glaucoma – é uma doença que ocorre pela elevação da pressão intra-ocular (> 22 mmHg). O glaucoma pode ter duas causas: produção excessiva de humor aquoso ou dificuldade de drenagem pelo canal de Schlemm. Ambas as causas, aumentam o volume do humor aquoso aumentando a pressão intra-ocular. Este aumento de pressão pode provocar:

- a) lesões no nervo óptico e, como é o nervo que conduz a informação ao cérebro essa lesão pode levar à cegueira permanente.
- b) dificuldade de irrigação sanguínea das células de retina levando a destruição dos fotorreceptores, levando também a cegueira permanente.

O glaucoma tem tratamento com uso de colírios, medicamentos orais, cirurgia a laser, cirurgias convencionais ou uma combinação desses métodos. O propósito do tratamento é manter a pressão intra-ocular em níveis baixos.

Estrabismo - O estrabismo é um termo usado em casos de desalinhamento dos eixos visuais (desvio dos olhos) que está associado a um desequilíbrio do funcionamento dos músculos extra-oculares. O estrabismo ocorre entre 2 e 4 % da população, afeta igualmente homens e mulheres e pode ser hereditário ou não.

CONCLUSÃO

O olho humano possui células fotossensíveis que respondem a uma estreita faixa do espectro eletromagnético, a luz visível. A luz, antes de chegar na retina, deve atravessar sucessivamente 4 meios transparentes: córnea, humor aquoso, cristalino e humor vítreo. Na retina, a luz ativa os pigmentos visuais dos cones (iodopsinas) e dos bastonetes (rodopsinas), promovendo o fechamento de canais iônicos e a hiperpolarização dos neurônios visuais. Com isso, não há liberação de neurotransmissores inibitórios e a informação pode chegar ao cérebro.

RESUMO

A luz visível captada pelo globo ocular atinge a córnea que atua como uma lente, convergindo a luz para o interior do globo ocular. Essa luz atravessa o humor aquoso e entra pelo orifício da íris, a pupila. Duas situações principais alteram o diâmetro da pupila: distância do objeto e intensidade de luz do ambiente. Na visão de objetos próximos ou em ambiente claro, a pupila diminui o seu orifício (miose) e na visão de objetos distantes ou em ambiente escuro, a pupila se dilata (midríase). Depois de passar pela pupila, a luz atinge o cristalino que sofre acomodação de acordo com a distância do objeto. Ao tentarmos focalizar um objeto próximo o cristalino fica mais convergente (mais esférico) e ao focalizar um objeto distante o cristalino tem a sua convergência diminuída (mais delgado). Este mecanismo permite um indivíduo focalizar a imagem na retina e enxergar com nitidez os objetos. Depois do cristalino, a luz atravessa o humor vítreo e, finalmente, chega à retina. É na retina que estão os neurônios sensíveis à luz, os cones e bastonetes. No escuro, estas células estão constantemente despolarizadas, em virtude de ter na suas membranas canais iônicos de sódio e cálcio que estão abertos permitindo a entrada destes dois cátions na célula. Quando a luz chega na retina ocorre a ativação de fotopigmentos (rodopsinas e iodopsinas) que levam à diminuição dos níveis intracelulares de GMPc promovendo o fechamento destes canais e levando a hiperpolarização destes neurônios. A hiperpolarização inibe a liberação do glutamato, o que resulta em desinibição do neurônio bipolar liberando a transmissão dos sinais luminosos para o cérebro.



ATIVIDADES

1. Explique o processo de acomodação do cristalino.



COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

O processo de acomodação do cristalino se refere a sua alteração de geometria ou poder de convergência de acordo com a distância em que o objeto se encontra do globo ocular. Explique as modificações sofridas pelo cristalino na visão de perto e de longe.

2. Explique a alteração do diâmetro pupilar de acordo com a luminosidade do ambiente e distância do objeto.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Comentário: tanto a distância do objeto quanto a quantidade de luz do ambiente alteram o diâmetro pupilar. Explique como a pupila está no claro e escuro e quando você tenta focalizar um objeto próximo ou distante do globo ocular. Não esqueça de explicar, em cada situação, os músculos e nervos envolvidos em cada processo.

3. Para sedimentar a nossa aula de visão você poderia assistir vídeos sobre o sentido da visão. Acesse o site: http://www.youtube.com/watch?v=CR0_ZldQjKQ&feature=related



PRÓXIMA AULA

Na próxima aula nós estudaremos outro sentido do corpo humano, a audição.

REFERÊNCIAS

- AIRES, M. M. **Fisiologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
CONDE-GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. Ed. Savier, 1998.
HENEINE, F. H. **Biofísica Básica**. Ed. Atheneu, 2006.
RAMALHO, F.; FERRARO, N. G., SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física 2. Termologia, Óptica e Ondas**. Ed. Moderna, 1999.
ROBORTELLA, A. **Óptica Geométrica**, v. 4, Ed. Ática, 1984.
http://pt.wikipedia.org/wiki/Humor_v%C3%ADtreo
<http://www.merck.com/mmpe/print/sec09/ch103/ch103a.html>
www.editorasaraiva.com.br