

Ametropias Oculares

(Ocular Ametropias)

Liliane Ventura e Jarbas C. C. Neto

Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

Caixa Postal 369 - 13560-970 - São Carlos (SP)

Trabalho recebido em 26 de dezembro de 1994

Neste artigo, uma coletânea de tópicos em ótica física e ótica oftalmológica é organizada e, é feita uma associação entre eles, com o objetivo de facilitar a compreensão da fusão dos conceitos dessas duas áreas, proporcionando uma linguagem comum e acessível a profissionais e alunos com afinidades neste campo da ciência. Os tipos mais comuns de ametropias oculares (miopia, hipermetropia e astigmatismo) e a correção ótica dessas ametropias através de lentes são apresentados de um modo básico e simples. Com noções básicas das correções por lentes esféricas das ametropias oculares separadamente, é também abordada a correção das ametropias feitas por lentes esféricas associadas a cilíndricas, possibilitando a compreensão das "receitas de óculos" fornecidas pelos oftalmologistas.

Abstract

In this paper, several topics in optical physics and ophthalmic optics are selected and organized in order to improve the comprehension on the fusion of the concepts of both areas, providing an interactive and accessible language for professionals and students related to this scientific field. The most common kinds of ocular ametropias (myopia, hyperopia and astigmatism) and their optical correction by lenses are presented in a basic and simple way. Considering the previous basic study on using spherical corrective lenses for refractive errors, it is also presented the use of the spherical lens associated to the cylindrical lens, which allows the understanding of the ophthalmologist diagnostic about ocular ametropia.

1. Introdução

Atualmente nas universidades brasileiras, um número crescente de pesquisadores estão interessados em áreas de pesquisa interdisciplinares. Tal fato faz com que pesquisadores interagentes das diferentes áreas necessitem da utilização de uma linguagem científica em comum e quebrem as barreiras das dificuldades de compreender um pouco das diferentes áreas envolvidas para que ocorra uma contribuição efetiva.

Assim, como um recente casamento de áreas como essas no Brasil é o da Física com a Oftalmologia, o objetivo desse trabalho é fazer a ponte de comunicação entre a oftalmologia básica e a ótica da Física para que os novos pesquisadores, principalmente alunos de graduação, possam ter uma noção elementar da parte de refração da Oftalmologia. Portanto, nos itens a seguir,

serão apresentadas a fusão da linguagem oftalmológica e da Física, bem como as noções fundamentais dos erros refrativos oculares e suas correções por lentes.

2. O olho humano

O olho humano pode ser dividido em seis funções físicas fundamentais^{1,2}: a *refração*, cujos elementos responsáveis são a córnea, o cristalino e os humores aquoso e vítreo; a *auto-focalização*, feita pelo cristalino e pelos músculos ciliares; o *controle da luminosidade interna* feito pela íris e pupila; a *deteção*, feita pela retina (pelos cones e bastonetes); a *transmissão da informação ao cérebro*, feita pelo nervo e as vias ópticas; e a *refrigeração da retina* feita pela coróide.

Os elementos essenciais do olho, considerado como um sistema ótico, são mostrados na figura 1.

O globo ocular tem forma aproximadamente esférica

e diâmetro em torno de 25mm. É constituído por uma membrana dura (cerca de 5/6 do globo ocular) e branca, denominada *esclerótica*. A parte frontal é mais curvada e coberta por uma membrana dura e transparente (cerca de 1/6 do globo ocular), chamada *córnea*, com poder de refração³ médio de 43,2di. A região atrás da córnea contém um líquido denominado *humor aquoso*. A seguir, encontra-se a *lente cristalina*, ou simplesmente o *cristalino*, que consiste numa cápsula contendo uma gelatina fibrosa, rija na região central e menos consistente nas margens. O índice de refração do cristalino varia de modo crescente do centro para as bordas (índice de refração médio de 1,437), no intuito de corrigir aberrações esféricas. O cristalino é preso por ligamentos ao músculo ciliar. Atrás do cristalino, o olho é preenchido por uma substância gelatinosa transparente chamada *humor vítreo*. Os índices de refração, tanto do humor vítreo como do humor aquoso, são aproximadamente iguais ao da água, cerca de 4/3. Como não há grande diferença entre os três índices citados, a luz que penetra no olho se refrata principalmente na córnea. O sistema ótico ocular possui um poder de refração variável³ entre 58,64di a 70,57di.

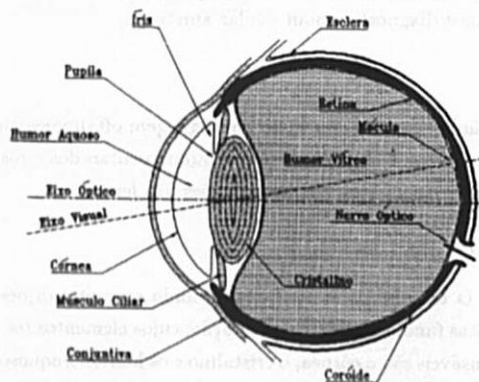


Figura 1. O olho humano.

Grande parte do olho é coberta por uma delicada membrana, denominada *retina*, que é constituída por fibras nervosas. Tais fibras que se reúnem no nervo ótico começam próximas a minúsculas estruturas chamadas *bastonetes* e *cones*. Ambos recebem a imagem ótica e a transmitem ao cérebro, por impulsos semelhantes aos elétricos.

Existe uma ligeira depressão na retina chamada *mancha amarela* ou *mácula lútea*. Em seu centro existe uma diminuta região, com cerca de 0,25 mm de diâmetro, denominada *fovea centralis*, que contém exclusivamente cones. A visão na fóvea é muito mais nítida do que em outras regiões da retina; os músculos que controlam o olho giram sempre o globo ocular até que a imagem do objeto para o qual a atenção está voltada caia na fóvea. A região marginal da retina serve apenas para dar um aspecto geral do campo de visão. A fóvea é tão pequena que há necessidade de se movimentar o olho para focalizar distintamente dois pontos tão próximos como os do sinal de pontuação denominado "dois pontos" (:).

Na região em que o nervo ótico penetra no globo ocular não existem bastonetes e nem cones, e as imagens aí formadas não podem ser vistas. Essa região é denominada *ponto cego*, cuja existência pode ser constatada por meio da figura 2, fechando-se o olho esquerdo e olhando-se com o direito para a cruz. Quando o diagrama estiver a cerca de 25 cm do olho, a imagem do quadrado cai no ponto cego e o quadrado desaparece. A uma distância menor, o quadrado reaparece, enquanto o círculo desaparece. A uma distância ainda menor, o círculo volta a aparecer.



Figura 2. Determinação do ponto cego ocular.

Em frente ao cristalino acha-se a *íris*, no centro da qual existe uma abertura denominada *pupila*. A função da pupila é regular a quantidade de luz que entra no olho, dilatando-se automaticamente se o brilho do campo for fraco e contraindo-se quando o brilho aumenta. Entretanto, o diâmetro pupilar sofre uma variação de apenas quatro vezes (corresponde a uma variação em área de 16 vezes), enquanto a variação cor-

A coróide é uma camada rica em vasos sanguíneos que reveste a parte interna da esclerótica. Funciona como uma espécie de "sistema de refrigeração" para a retina, através da dissipação de energia pelo fluxo sanguíneo.

respondente ao brilho é superior a 100 mil vezes. O mecanismo receptor da retina adapta-se, ele próprio, às grandes diferenças de quantidade de luz.

Para que um objeto seja enxergado distintamente, sua imagem, formada na retina, deve ser nítida. Se todos os elementos do olho fossem rigidamente fixos em suas posições, apenas os objetos situados a uma certa distância formariam imagens nítidas na retina. Entretanto, o olho normal pode focalizar nitidamente objetos situados a qualquer distância, desde o infinito até cerca de 15cm à sua frente. Isso se torna possível pela ação do cristalino e do músculo ciliar ao qual ele é ligado. Quando em repouso, o olho normal é focalizado no infinito, isto é, o segundo foco está sobre a retina. Quando se deseja ver um objeto mais próximo, o músculo ciliar contrai-se e o cristalino toma uma forma quase esférica. Esse processo é denominado **acomodação visual**.

A maior e a menor distâncias para as quais é possível a visão distinta são chamadas **ponto remoto** e **ponto próximo** do olho, respectivamente. O ponto remoto de um olho normal fica situado no infinito. A posição do ponto próximo depende, evidentemente, de quanto pode ser aumentada a curvatura do cristalino, mediante a acomodação. A variação da acomodação diminui gradualmente com a idade, à medida que o cristalino perde sua flexibilidade. Por esse motivo, o ponto próximo afasta-se gradualmente, à medida que se envelhece. Esse afastamento do ponto próximo com a idade é chamado **presbitismo** ou **presbiopia**, não devendo, entretanto, ser considerado um defeito de visão, já que se processa mais ou menos da mesma forma em todos os olhos normais.

3. Tipos de ametropia

Existem vários defeitos comuns de visão^{2,3}, devidos unicamente a uma relação incorreta entre os diversos elementos constitutivos do globo ocular, considerado como sistema ótico. O olho normal, quando em repouso, forma na retina a imagem de objetos situados no infinito, como na figura 3(a).

Olho *amétrope* é aquele para o qual o ponto remoto não está situado no infinito. As duas formas mais simples de ametropia são a **miopia** (ou **braquimetropia**) e a **hipermetropia**. Esses dois defeitos estão ilustrados nas figuras 3(b) e 3(c). Na miopia, o globo ocular é muito alongado em relação ao raio de curvatura da

córnea e os raios originados em um objeto situado no infinito convergem em um ponto anterior à retina. O objeto mais afastado, cuja imagem se forma na retina, não está situado no infinito ou, em outras palavras, o ponto remoto se acha a uma distância finita. Por outro lado, para a acomodação normal, o ponto próximo de um olho míope fica mais próximo que o de uma pessoa com vista normal.

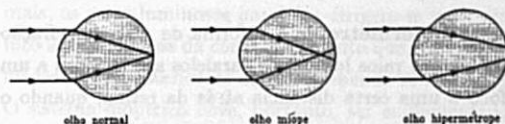


Figura 3. a) Emetropia; b) Miopia; c) Hipermetropia.

Na hipermetropia, o globo ocular é curto; a imagem de um objeto situado no infinito se forma atrás da retina. Mediante a acomodação, os raios paralelos poderiam convergir na retina, mas, evidentemente, se a capacidade de acomodação for normal, o ponto próximo estará mais distante que o de um olho normal.

Os dois defeitos de visão citados são devidos a causas opostas. Na miopia, a convergência de um feixe de raios paralelos é demasiadamente grande de modo que a imagem se forma antes da retina; na hipermetropia, a convergência produzida é insuficiente. Assim, miopia e hipermetropia são fenômenos relativos (um olho míope pode possuir dimensões axiais normais, porém com alto poder de convergência do sistema ótico, por exemplo).

Há também um outro tipo de ametropia, denominado **afacia**, que é a ausência do cristalino, tornando o olho extremamente hipermetrope.

O **astigmatismo**, por sua vez, é um defeito da visão geralmente devido à não esfericidade da superfície da córnea; o raio de curvatura dessa superfície não é o mesmo em todos os meridianos - assemelha-se a uma bola de futebol americano (elipsóide), onde os meridianos de maior e menor curvaturas estão a 90°. O astigmatismo faz com que seja impossível, por exemplo, focalizar simultaneamente as barras horizontais e verticais de uma janela.

Assim, o astigmatismo é a condição de refração onde feixes de luz, provenientes de uma fonte luminosa puntual situada no infinito, paralelamente incidentes em diferentes meridianos formam imagens em diferentes

posições no eixo ótico (pontos focais diferentes para cada meridiano entre 0° e 180° - figura 2.3).

Há também um outro tipo de ametropia, denominado **afacia**, que é a ausência do cristalino, tornando o olho extremamente hipermetrope. Miopia, hipermetropia, afacia e astigmatismo são discutidos a seguir detalhadamente.

3.1 - Hipermetropia³

A **hipermetropia** é a forma de erro de refração na qual os raios luminosos paralelos são trazidos a um foco a uma certa distância atrás da retina, quando o olho encontra-se em repouso.

Houve época em que se aceitava que, na maioria dos casos de hipermetropia, o defeito fosse axial⁴ e persiste a crença de que, de fato, o olho hipermetrope tenha um eixo antero-posterior mais curto do que o normal. Entretanto, é possível que o olho hipermetrope tenha um comprimento axial maior do que um olho míope, e ainda permanece alguma incerteza quanto à importância relativa do comprimento axial e o poder de refração como influências na causa da hipermetropia.

Via-de-regra, o grau de encurtamento não é grande e raramente excede 2mm. Cada milímetro de encurtamento representa aproximadamente +3di de alteração na refração e, por conseguinte, uma hipermetropia de mais de +6di é incomum. Graus maiores, entretanto, ocorrem, como nos casos de até +24di sem qualquer outra anormalidade patológica ter sido verificada; e, certamente, nas aberrações patológicas do desenvolvimento, tais como na microftalmia, este valor pode ser ultrapassado.

A **hipermetropia de curvatura** ocorre quando a curvatura de qualquer das superfícies refringentes é excessivamente pequena. A córnea é a sede habitual da anomalia e pode mostrar-se achatada congenitamente (córnea plana) ou ser resultado de traumatismo ou doença. Um aumento de 1mm no seu raio de curvatura produz uma hipermetropia de +6di. Nesses casos, entretanto, é raro que a curvatura permaneça esférica e será produzido quase que invariavelmente um astigmatismo. A **hipermetropia de índice**, como de hábito, manifesta-se na forma de uma diminuição na refração eficaz do cristalino.

Uma luxação posterior do cristalino também causa hipermetropia, resultado de uma anomalia congênita ou

de traumatismo ou doença; e a ausência do cristalino resulta também num grau acentuado de hipermetropia.

A acomodação na hipermetropia

A hipermetropia é subdividida em várias porções devido à influência interagente da acomodação visual nas medidas. Ela é subdividida em **hipermetropia total** (HT), composta pela **hipermetropia latente** (HL) e pela **hipermetropia manifesta** (HM); **hipermetropia absoluta** (HA); e **hipermetropia facultativa** (HF).

A HM é a hipermetropia que pode ser medida pelo médico sem a paralisação do músculo ciliar.

A contração do músculo ciliar no ato da acomodação aumenta o poder de refração do cristalino, de forma a corrigir um certo grau de hipermetropia. Normalmente, há um grau apreciável corrigido pela contração envolvida no tônus fisiológico deste músculo e, conseqüentemente, o grau completo de hipermetropia só é revelado quando este músculo é paralisado pelo uso de uma droga como a atropina. Dizemos, assim, que o olho foi ciclopegiado. Desta forma, é possível medir-se a HT. A variação entre a HM e a HT é a HL.

Com a atuação total da acomodação visual, a pessoa hipermetrope é capaz de amenizar este erro de refração, porém, se o erro é grande e, independentemente do esforço da acomodação, o indivíduo não consegue ver o objeto de modo nítido, o grau de hipermetropia que ainda permanece sem correção e que não pode ser vencido pela acomodação é a HA. A quantidade de HA corresponderá ao menor poder da lente corretora a ser prescrita ao paciente.

Pórem, através de vários fatores, tais como, psíquicos, sociais, entre outros, o médico pode prescrever uma lente corretora cujo poder de refração está dentro do intervalo entre a e a HM. Este intervalo corresponde a HF.

A seguir, um diagrama-exemplo poderá ajudar a compreender todas estas denominações.

Diagrama 1

TOTAL	+ 6 di	com cicloplégico	Hipermetropia latente ou escondida
MANIFESTA	+ 4 di	sem cicloplégico	
	+ 3 di	diopia da lente corretora prescrita	Hipermetropia Facultativa
ABSOLUTA	+ 1 di	acuidade visual = 1,0	

No diagrama acima, é exemplificado um paciente com HM (sem cicloplégico) de +4di e HT (com cicloplégico) de +6di, ou seja, com uma hipermetropia escondida de +2di (HL).

A relação entre estas hipermetropias pode ser melhor compreendida segundo o método empregado para determiná-las clinicamente. Suponhamos que um hipermetrope não consiga ver um objeto distante nitidamente. São colocadas então lentes convexas de intensidade gradualmente crescente na frente de seus olhos, até que possa ver com clareza; neste momento, o cristalino e a sua acomodação encontram-se em atividade, de forma que, com a combinação de ambos, uma imagem distinta é observada. O grau de hipermetropia corrigida pela lente, ou seja, o grau que pelos seus esforços de acomodação não pode ser corrigido, é a hipermetropia absoluta, e é medida pela lente convexa mais fraca com que a acuidade visual máxima pode ser obtida. No caso do exemplo, a HA é de + 1di.

Avaliadas as HM e HA, através de uma análise subjetiva por parte do paciente, que se submeterá ao teste de várias lentes, cujos poderes de refração variam entre +1di e + 4di (HF), em nosso exemplo, e por análise psíquica e social feita pelo médico, é indicada a lente corretora (+3di, no caso de nosso paciente do diagrama 1).

3.2 - Afacia³

Afacia, embora seja um termo que sugira ausência do cristalino do olho, é habitualmente empregado para incluir todas as condições em que o cristalino está ausente da área pupilar. Na grande maioria dos casos, o cristalino foi removido por cirurgia, algumas vezes

foi perdido através de ferimento perfurante, pode estar ausente por defeito congênito, ou pode ser desviado da pupila por luxação. Empregamos o termo oposto *fácico* para descrever um olho com seu cristalino no lugar.

A visão na afacia

Um olho afácico é, geralmente, muito hipermetrope; na ausência do cristalino, com os demais elementos normais, os raios luminosos paralelos dirigem-se para um foco a 31 mm atrás da córnea, enquanto que o diâmetro médio anteroposterior do olho é de apenas 23 a 24 mm. O sistema dióptrico deve, portanto, ser suplementado por uma potente lente convergente, caso o olho seja de origem hipermetrope, em aproximadamente + 10D.

As condições óticas são, assim, modificadas, pois o aparelho dióptrico foi reduzido a uma única superfície de refração (a córnea), limitando um meio de índice de refração uniforme (os humores aquoso e vítreo).

Desvantagens da afacia

1. **Aumento da imagem:** o aumento relativo da imagem dá origem a uma falsa orientação espacial de objetos familiares, os quais, sendo de tamanho pouco habitual, são considerados mais próximos do que realmente estão. O paciente não possui, portanto, coordenação visual, batendo em trincos de fechadura e vidros de tinta com resultados desastrosos e humilhantes até que, finalmente, após alguns meses de tentativa e erro, aprende uma nova coordenação visual do olho e mão.

A diferença da imagem retiniana entre o estado ótico fático e o afácico apresenta problemas especiais à visão binocular num paciente em que um olho possui seu cristalino *in situ* e o olho oposto é afácico.

2. **Toda acomodação é abolida:** o paciente deve, em tese, possuir óculos para toda distância em que deseja ver claramente. Na prática, é suficiente fornecer uma lente para visão à distância, uma para leitura e, em acréscimo - em muitos casos -, de uma para posição intermediária.

3.3 Miopia³

Na grande maioria dos casos, certamente nos graus mais intensos, a miopia é *axial*, isto é, deve-se a um aumento no diâmetro antero-posterior do olho.

A *miopia de curvatura* pode estar associada a um aumento na curvatura da córnea ou de uma ou ambas as superfícies do cristalino. A maior curvatura da córnea ocorre não infreqüentemente, mas é, em geral, evidente como um erro astigmático e não esférico. Pequenos desvios do normal são comuns, visto que o raio da córnea normal varia dentro dos limites de 7,0 a 8,5mm, que podem ser de importância considerável, já que uma variação de 1,0mm resulta numa modificação da refração de -6di.

No que diz respeito à *miopia de índice*, uma modificação do índice de refração do aquoso ou do vítreo nunca é tão grande a ponto de exercer qualquer efeito apreciável. Por outro lado, modificações no cristalino podem certamente levar à miopia. É possível que uma diminuição do índice de refração do córtex desempenhe um papel na miopia diabética. Uma refração aumentada do núcleo do cristalino é responsável pela miopia encontrada na catarata incipiente; de fato, o cristalino pode não se tornar opaco, mas o seu núcleo pode simplesmente tornar-se cada vez mais refringente, com o que se desenvolve lá uma miopia progressiva.

No recém-nascido, o olho normal é hipermetrope e, com o passar do tempo e o crescimento, isso tende a regredir. Em alguns casos permanece a hipermetropia; em outros, a emetropia é alcançada e o desenvolvimento torna-se estabilizado neste ponto; ao passo que, em alguns, a tendência evolui e resulta um grau maior ou menor de miopia. O período de crescimento é, portanto, o elemento crucial do ponto de vista da miopia.

Condição Ótica

No olho míope, os raios luminosos paralelos dirigem-se para um foco na frente da retina; a imagem sobre a retina compõe-se, portanto, de círculos de difusão formados pelo feixe divergente (figura 3.b). Conclui-se que os objetos distantes não podem ser visualizados claramente; apenas os raios divergentes encontrar-se-ão na retina e, assim, a fim de ser visto claramente, um objeto qualquer deve ser trazido para perto do olho, de modo que os raios que dele emanam tornem-se suficientemente divergentes. O ponto remoto, no olho míope, está a uma distância finita - quanto maior o grau de miopia, menor a distância. Essa distância é, por conseguinte, uma medida do grau de miopia: se o ponto distante for de 1m do olho, há -1di de miopia; se for de

2m, -0,5di, etc.

3.4 Correção da hipermetropia e da miopia: lentes convergentes e divergentes

As lentes convergentes e as divergentes⁴, como os próprios nomes dizem, têm a propriedade de convergirem e divergirem, respectivamente, a luz nelas incidentes. A figura 4 ilustra esse fato.

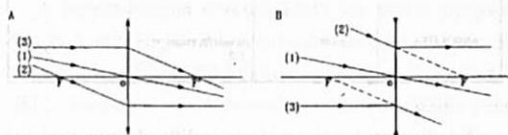


Figura 4. a) Lente convergente; b) Lente divergente.

Raios paralelos nas incidentes são projetados em seus focos; raios partindo de seus focos emanam paralelamente; e raios que passam pelo seu centro ótico não são desviados. Estas são algumas das propriedades fundamentais das lentes.

Sendo assim, fica fácil deduzir que um olho hipermetrope necessita de lentes convergentes para sua correção, enquanto um olho míope, de lentes divergentes. Senão, vejamos:

Um olho hipermetrope não é apto, através da acomodação visual, a trazer à retina a imagem de um objeto num ponto próximo (embora, em alguns casos, seja capaz, gerando, contudo, sintomas que o incomodam) e tampouco, obter imagens nítidas de objetos situados no infinito sem ativar a acomodação visual. Assim, se os raios provenientes do infinito atingirem o olho com determinada convergência, a imagem deverá ser formada na retina. Isso é feito com lentes convergentes (veja figura 5.a).

Para o míope ocorre o contrário, pois ele não consegue "relaxar" o cristalino o suficiente para que a imagem de um objeto situado no infinito caia sobre a retina. Como esta imagem está sempre localizada anteriormente à retina, os raios provenientes do infinito devem atingir o olho com uma divergência adequada para que a imagem forme-se na retina. Isso é feito com lentes divergentes (figura 5.b). Assim, a imagem que a lente fornece de um objeto no infinito será formada no ponto remoto do globo ocular, podendo, então, ser vista

sem esforço. Dessa forma, o foco imagem F' deve coincidir com o ponto remoto do olho. Se desprezásemos a distância entre a lente e os olhos, a distância focal da lente corretora deve ser igual em módulo à abscissa P_R do ponto remoto do olho.

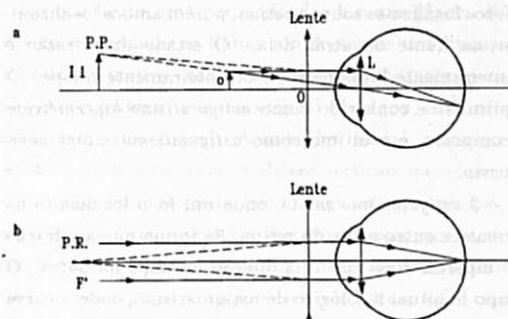


Figura 5. Correção de emetropias por lentes: a) Hipermetropia; b) Miopia.

3.5 Eficiência da correção ótica dos vários vícios de refração

A eficiência de uma lente corretora depende diretamente de sua posição frente ao olho. Aqui, definimos a eficiência como sendo o melhor ajuste focal para a correção refrativa. Vejamos, então, os casos de hipermetropia e miopia separadamente.

Hipermetropia

Observando a figura 6, notamos que qualquer uma das lentes com as diferentes vergências pode ser prescrita, dependendo da posição delas; basta que a sua distância focal esteja conjugada com o ponto remoto do olho.

Assim, para prescrever uma lente de contato para um hipermetrope, deve-se utilizar uma lente de maior poder refrativo do que a de um óculos, ou seja, para prescrevermos uma lente de contato, é necessária uma lente mais eficiente.

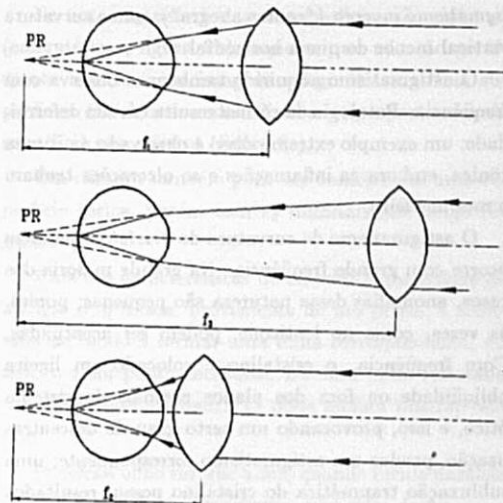


Figura 6. Esquematização de diferentes lentes corretivas para uma mesma ametropia.

Miopia

No caso do míope, acontece exatamente o contrário. Quanto mais aproximamos a lente do olho, menor deve ser seu poder, ou seja, a lente deve ser menos eficiente para que a imagem caia na retina.

3.6 Astigmatismo³

O astigmatismo pode ser um erro de curvatura, de centralização ou do índice de refração³.

O *astigmatismo de curvatura*, se de um grau mais intenso, tem sua origem mais freqüente na córnea. A anomalia é em geral congênita e as medidas oftalmométricas mostram que a sua ocorrência em pequenos graus é comum. O erro mais freqüente é aquele em que a curva vertical é maior que a horizontal (aproximadamente 0,25di). Este é conhecido como *astigmatismo direto* ("a favor da regra"), e é aceito como fisiológico; presumivelmente se deve a uma pressão constante da pálpebra superior sobre o olho. Marin Amat⁴ descobriu que, enquanto no nascimento a córnea é normalmente quase esférica, este tipo de astigmatismo está presente em 68% das crianças aos 4 anos de idade, e em 95% aos 7 anos. Há evidência de que tende a aumentar em grau muito discreto nos anos seguintes; porém, com a idade, tende a desaparecer ou mesmo tornar-se em as-

tigmatismo inverso ("contra a regra"), com a curvatura vertical menor do que a horizontal.

O astigmatismo adquirido também se observa com frequência. Patologia da córnea resulta em sua deformidade; um exemplo extremo disso é observado na córnea cônica, embora as inflamações e as ulcerações tenham o mesmo efeito.

O astigmatismo de curvatura do *cristalino* também ocorre com grande frequência. Na grande maioria dos casos, anomalias dessa natureza são pequenas; porém, às vezes, como no lenticone, podem ser acentuadas. Com frequência, o cristalino é colocado em ligeira obliquidade ou fora dos planos normais do sistema ótico, e isso, provocando um certo grau de descentralização, produz um astigmatismo correspondente; uma subluxação traumática do cristalino possui resultados semelhantes. Finalmente, um pequeno grau de astigmatismo de índice ocorre na fisiologia do cristalino. Este é, em geral, discreto, e se deve a pequenas desigualdades do índice de refração dos diferentes setores, porém pode ser acentuado, produzindo distorção considerável.

Tipos de Astigmatismo

O astigmatismo em que os dois meridianos principais encontram-se em ângulos retos e que é, portanto, passível de correção, é denominado de *regular*. Na grande maioria desses casos, os meridianos de maior e menor curvatura estão próximos ou realmente verticais e horizontais ou vice-versa. Caso isso não ocorra desse modo e uma vez que o meridiano maior e o menor estejam em ângulos retos, teremos então um astigmatismo regular que denominamos *astigmatismo oblíquo*. Quando os eixos não se encontram em ângulos retos, mas são cruzados obliquamente, o sistema ótico é ainda passível de resolução numa combinação esferocilíndrica, e a condição pode ser denominada de *astigmatismo bi-oblíquo*; não é de ocorrência muito comum.

Quando existem irregularidades na curvatura dos meridianos de forma que nenhuma figura geométrica adere aos mesmos, a condição é denominada *astigmatismo irregular*; não permite sua correção adequada por óculos.

Astigmatismo regular

O astigmatismo regular pode ser classificado da seguinte maneira (figura 7):

1. *astigmatismo simples*, onde um dos focos incide sobre a retina. O outro foco pode incidir na frente ou atrás da retina, de forma que enquanto um meridiano é emétopo, o outro é hipermetrope ou míope. Estes são, respectivamente, designados de *astigmatismo hipermetrope simples* e *míope simples*.

2. *astigmatismo composto*, onde nenhum dos dois focos localiza-se sobre a retina, porém ambos localizam-se na frente ou atrás dela. O estado da refração é inteiramente hipermetrope ou inteiramente míope. O primeiro é conhecido como *astigmatismo hipermetrope composto*, e o último como *astigmatismo míope composto*.

3. *astigmatismo misto*, onde um foco localiza-se na frente e outro atrás da retina, de forma que a refração é hipermetrope em uma direção e míope na outra. O tipo habitual fisiológico de astigmatismo, onde a curva vertical é maior do que a horizontal, é denominado de *astigmatismo direto* ou astigmatismo "com a regra"; em caso inverso, trata-se de um *astigmatismo indireto* ou astigmatismo "contra a regra".

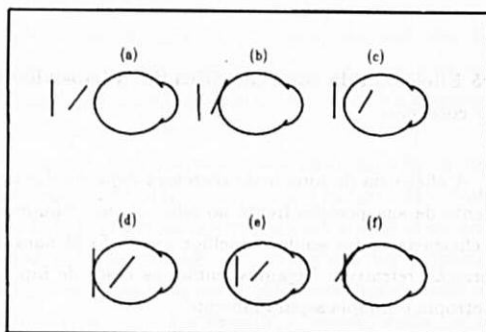


Figura 7. Classificação do astigmatismo regular: (a) hipermetrope composto; (b) hipermetrope simples; (c) misto; (d) míope simples; (e) míope composto; (f) emétope.

Sintomas

Quando o grau de astigmatismo é apreciável, visto que em nenhuma circunstância o olho é capaz de formar uma imagem nitidamente definida sobre a retina, a diminuição da acuidade visual pode ser bastante considerável. Na tentativa de ver claramente, o paciente tenta focalizar o círculo central de menor confusão (vide item 2.10 - "Círculo de Menor Confusão"). A visão do astigmata mostra peculiaridades outras que a indistinção, a despeito da forma alongada dos círculos de

difusão que tem de interpretar. Os círculos tornam-se alongados, acurvados; um ponto de luz aparece borrado; e uma linha, que consiste numa série de pontos, aparece como uma sucessão de linhas fundidas numa imagem borrada.

Imaginemos um indivíduo astigmático focalizando sobre uma linha focal vertical e olhando em duas linhas retas que ficam uma perpendicular à outra (figura 8). Podemos imaginar as linhas compostas de um número infinito de pontos, cada um dos quais aparecendo na sua retina como uma linha vertical curta (ou, mais corretamente, uma elipse). A linha horizontal, portanto, aparece como uma série de elipses verticais que coalescem numa faixa borrada larga, enquanto que no caso da linha vertical, as elipses verticais se sobrepõem, de modo que toda a linha aparece nitidamente definida, somente com a parte mais superior e a mais inferior das elipses constituintes se estendendo além dela, determinando um aspecto borrado e fazendo-a parecer mais longa do que normalmente é. Inversamente, se a linha focal horizontal for focalizada, as linhas verticais tornam-se borradas.

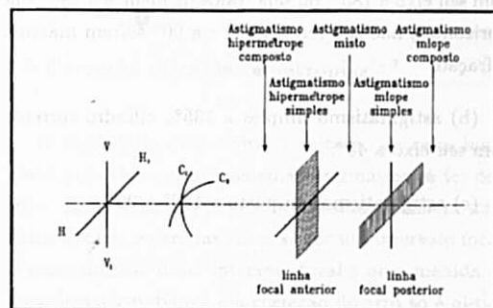


Figura 8. Formação da imagem de uma figura em forma de cruz para os vários tipos de astigmatismo regular.

Assim, em todo caso de astigmatismo regular, há uma direção na qual as linhas parecem mais distintas e uma na qual parecem mais confusas. Toma-se vantagem disso na detecção do astigmatismo por uma figura em forma de ventilador. Se o eixo do cilindro for oblíquo, a cabeça é virada para um lado de modo a reduzir a distorção.

Condição Ótica

Uma esfera é uma superfície em que todos os seus meridianos possuem a mesma curvatura figura 9a.

No entanto, nem todas as superfícies são esféricas (astigmáticas, figura 9b); aquelas que não são geralmente não formam imagens estigmáticas. Tais superfícies são denominadas *tóricas* - tipo particular de superfície não esférica (figura 9c).

Um cilindro também pode ser considerado uma superfície tórica, porém com r_2 infinitamente longo (figura 10).

Uma das características do cilindro é que o feixe de luz que nele incide, proveniente de um ponto, é refratado de modo a formar uma linha correspondente, ou seja, a cada ponto incidente, há uma linha refratada correspondente. A figura 11 pode melhor ilustrar este fato.

Podemos observar que a luz, quando incide paralela ao eixo de revolução do cilindro, não sofre desvio.

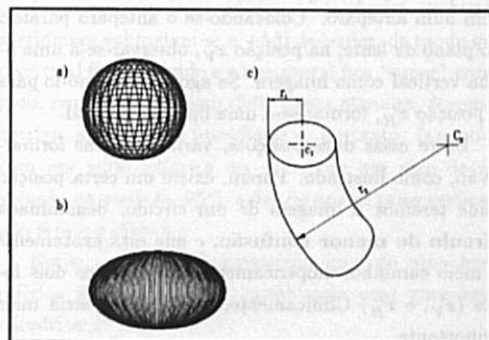


Figura 9. Representação de superfícies: (a) esférica; (b) elipsoidal; (c) tórica.

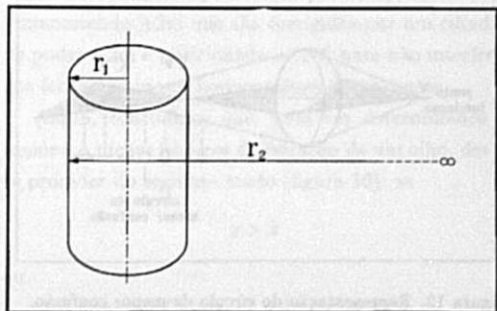


Figura 10. Representação de um cilindro.

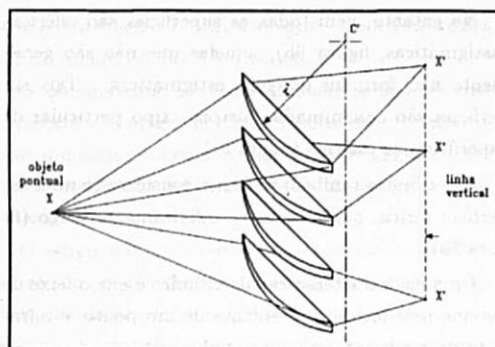


Figura 11. Representação da formação da imagem a partir de um feixe paralelo de luz incidente numa lente cilíndrica.

3.7 Círculo de menor confusão³

Observemos a figura 12. Um objeto pontual luminoso incide numa lente astigmática formando uma imagem num anteparo. Colocando-se o anteparo paralelo ao plano da lente, na posição x'_V , observar-se-á uma linha vertical como imagem. Se agora movermo-lo para a posição x'_H , formar-se-á uma linha horizontal.

Entre essas duas posições, várias imagens formar-se-ão, como ilustrado. Porém, existe uma certa posição onde teremos a imagem de um círculo, denominada **círculo de menor confusão**, e que está exatamente a meio caminho, dioptricamente falando, dos dois focos (x'_V , e x'_H). Clinicamente, esta é a vergência mais importante.

O círculo de menor confusão (ou interfocal) é a imagem borrada (um ponto corresponde a um círculo), porém não distorcida.

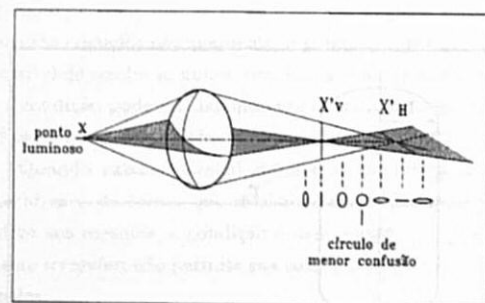


Figura 12. Representação do círculo de menor confusão.

Há dois tipos de cilindros utilizados na oftalmologia: os cilindros positivo e negativo, conforme ilustra a figura 13.

Vejamos, então, o efeito produzido pelo cilindro quando feixes luminosos nele incidem, em termos matemáticos. Consideremos um cilindro posicionado a 180° e feixes de luz nele incidindo em várias direções, como ilustra a figura 8. Pela figura, podemos observar que os feixes estão incidindo no plano XZ com diferentes ângulos θ , e que a refração de cada um é dada por uma função seno ou co-seno. No caso da fig. 8.a, a refração zero dar-se-á a 0 ou 180° (eixo Z), e a máxima refração a 90 ou 270° (eixo X).

Assim, o modo como o cilindro influencia na correção do astigmatismo é representado por uma função senoidal de 0 a 180° , pois dessa maneira todos os meridianos já são cobertos. Tomemos, então, alguns exemplos que possam ilustrar esse fato. Suponhamos os esquemas ilustrados na figura 8:

(a) astigmatismo simples a 90° : cilindro corretor com seu eixo a 180° , ou seja, raios incidentes a 180° (na horizontal) não são refratados, e a 90° sofrem máxima refração;

(b) astigmatismo simples a 135° : cilindro corretor com seu eixo a 45° ;

(c) astigmatismo composto a 180° e 90° .

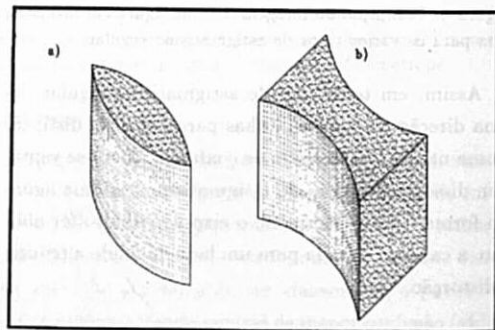


Figura 13. Representação de cilindros: (a) positivo; (b) negativo.

3.8 Algumas propriedades dos cilindros

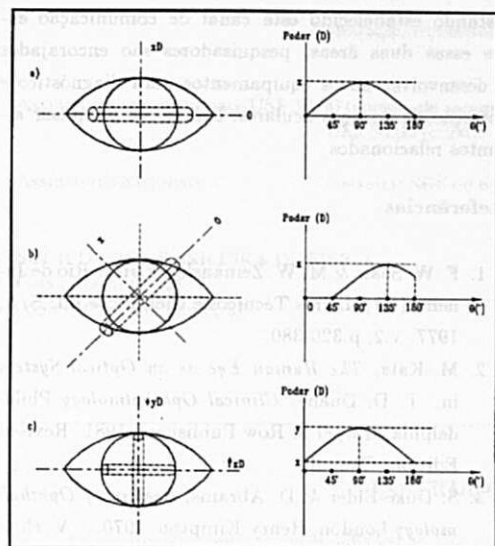


Figura 14. Representação do poder de refração dos cilindros posicionados frente ao olho a: (a) 180; (b) 45; (c) 180 e 90°.

3.9 Correção ótica das ametropias¹⁻³

O modo pelo qual ocorre a refração de raios luminosos paralelos em um sistema astigmático já foi descrito. Em vez de um ponto focal isolado, existem duas linhas focais, separadas entre si por um intervalo focal. O comprimento desse intervalo focal é uma medida do grau de astigmatismo, e a correção do erro só é obtida reduzindo-se esses dois focos em um.

Se os dois meridianos principais do sistema astigmático estiverem em ângulos retos entre si, o erro pode ser corrigido pelo emprego de uma lente cilíndrica adequada, que, atuando no plano de um meridiano, modificará a refração dos raios que são dirigidos para um foco na mesma distância que aqueles do outro meridiano, quando então toda a imagem (teoricamente) transformar-se-á num ponto.

Vejam, então, como proceder para a correção, por exemplo, de uma pessoa astigmática hipermetrope composta, com +3di e +5di a 180° e 90°, respectivamente (figura 15).

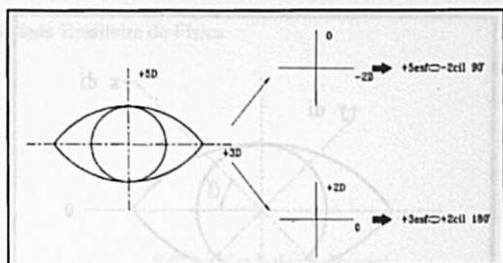


Figura 15. Representação da correção ótica de ametropia por lentes esféricas associadas a cilindros negativo e positivo.

Há dois modos de prescrever a receita para este caso particular, com cilindros positivos ou negativos, este último tipo mais utilizado no Brasil (uma das razões é que é de mais fácil confecção):

$$+5 \text{ esf. } \bigcirc -2 \text{ cil. } 90^\circ \quad (1)$$

Coloca-se uma lente esférica +5di. Assim, ambos os meridianos submetem-se a +5di de poder, de modo que o vertical fica corrigido e o horizontal fica "super" corrigido, remanesecendo com -2di. Dessa maneira, devemos corrigir apenas este meridiano e, portanto, fazemo-lo com um lente cilíndrica de -2di, com seu eixo de revolução na vertical (90°), a fim de que os raios verticais não sejam refratados.

Então, chegamos à prescrição final de uma lente esférica de poder + 5di, combinada com uma lente cilíndrica de -2di a 90°.

$$+3 \text{ esf. } \bigcirc -2 \text{ cil. } 180^\circ \quad (2)$$

Procedendo da mesma maneira anterior, só que, agora, utilizando uma lente esférica de +3di, corrige-se o eixo horizontal, porém não totalmente o vertical, remanesecendo +2di que são corrigidos por um cilindro de poder +2di e posicionado a 180° para não interferir nos feixes luminosos horizontalmente incidentes.

Assim, concluímos que, uma vez determinados o maior e o menor poderes de refração de um olho, deve-se proceder do seguinte modo (figura 16): se

$$y > x$$

ou

$$y \text{ esf. } \bigcirc (x - y) \text{ cil. } (\alpha^\circ + 90^\circ)$$

ou

$$x \text{ esf. } \bigcirc (y - x) \text{ cil. } (\alpha^\circ)$$

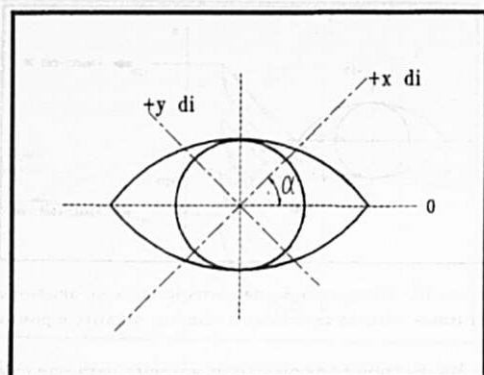


Figura 16. Representação da correção óptica de ametropia por lentes esféricas associadas a cilindros positivo e negativo: exemplo genérico de ametropia.

4. Considerações finais

Através dessas noções básicas sobre refração em oftalmologia, fica facilitada a compreensão da Física envolvida nestes tópicos em um consultório oftalmológico.

Estando estabelecido este canal de comunicação entre essas duas áreas, pesquisadores são encorajados a desenvolver novos equipamentos para diagnóstico e correção de doenças oculares, bem como pesquisar assuntos relacionados.

Referências

1. F. W. Sears & M. W. Zemansky, *Física*. Rio de Janeiro (RJ), Livros Técnicos e Científicos Ed. S/A, 1977. v.2, p.320-380.
2. M. Katz, *The Human Eye as an Optical System* in: T. D. Duane, *Clinical Ophthalmology* Philadelphia, Harper & Row Publishers, 1981. Revised Edition, Chap.33.
3. S. Duke-Elder & D. Abrams, *System of Ophthalmology* London, Henry Kimpton, 1970. v.V, ch.4-7.
4. E. Hecht, *Optics* New York, Addison-Wesley Publishing Company, 1990. Second Edition.