



OLHOS ESQUEMÁTICOS

AUTOR

Prof. Earl L. Smith III: University of Houston

REVISOR

Prof. Emeritus Barry L. Cole: University of Melbourne

INTRODUÇÃO E VISÃO GERAL

Este capítulo inclui uma revisão de:

- Parâmetros Oculares Normalmente Usados nos Olhos Esquemáticos
- Olho Esquemático Exacto de Gullstrand
- Efeitos das variações das constantes ópticas

PARÂMETROS OCULARES NORMALMENTE USADOS NOS OLHOS ESQUEMÁTICOS

PROFUNDIDADE DA CÂMARA ANTERIOR

A Profundidade de Câmara Anterior (ACD no inglês) é a distância entre a superfície posterior da córnea e o ápice da superfície anterior do cristalino. O intervalo de ACD estende-se de 2.7 a 4.5 mm, com um valor médio de cerca de 3.45 mm.

ÍNDICE DE REFRAÇÃO DO CRISTALINO

Os parâmetros do cristalino típico são apresentados na Figura 3.1. O cristalino normalmente tem uma superfície anterior com um raio de curvatura de aproximadamente 10 mm e um raio de curvatura posterior mais fechado de aproximadamente 6 mm.

A medição do índice de refração da córnea (1.376), do humor aquoso (1.336) e do humor vítreo (1.336) são simples porque estes meios são relativamente uniformes. No entanto, o cristalino não é homogêneo, em vez disso consiste de uma série de lâminas, em que o índice de refração aumenta gradualmente da superfície em direção ao centro da lente. Em indivíduos jovens e adolescentes, as mudanças no índice de refração são contínuas em toda a lente. Com a idade, como o cristalino amadurece, os índices de refração de algumas partes da lente tornam-se nitidamente separados da lente circundante formando superfícies iso-índice que podem ser observadas com a lâmpada de fenda. Em particular, a parte central nuclear ou o **núcleo** da lente torna-se claramente demarcado da porção **cortical** ao redor da lente. A descontinuidade no índice de refração entre o núcleo e o córtex é suficiente para formar imagens catóptricas no interface entre o núcleo e o córtex.

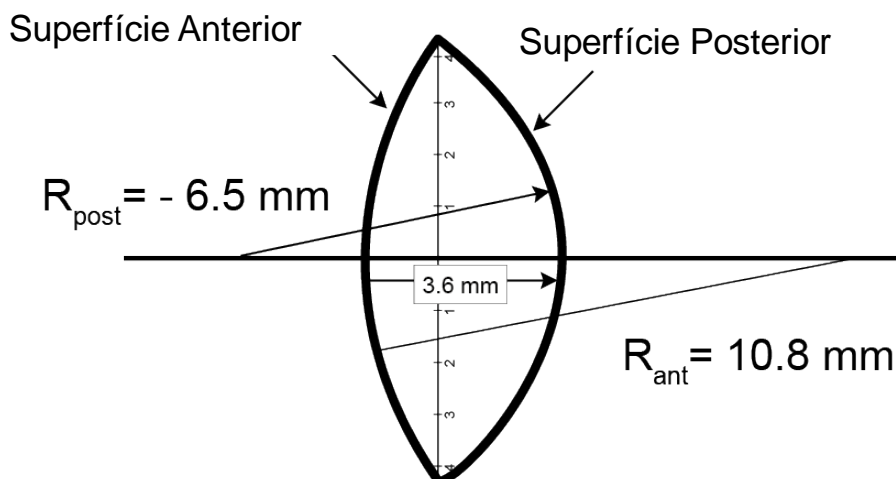


Figura 3.1: Parâmetros oculares de um cristalino típico

Os índices de refração dos meios oculares não podem ser medidos de forma precisa no olho *in vivo*. Os valores dos índices de refração que têm sido utilizados para desenvolver os modelos de olhos esquemáticos são baseados em medidas obtidas em estudos pós-morte. O instrumento normalmente utilizado para medir os índices de refração é o **Refractômetro de Abbe**. O refractômetro consiste num telescópio de observação e um prisma com um índice de refração conhecido. O telescópio é usado para encontrar o ângulo crítico de incidência para a interface entre o prisma e a substância em questão. Quando um raio atinge a interface com um ângulo crítico, o ângulo de refração irá ser de 90° , isto é, o raio refractado irá coincidir com a superfície da interface. Assim, o seno do ângulo crítico para um determinado meio varia com o rácio entre o índice de refração da substância em questão e o índice de refração do prisma ($n_{desconhecido}/n_{prisma}$).

O cristalino não tem um índice de refração uniforme. Mesmo num olho normal, podem notar-se zonas concêntricas de descontinuidade, provavelmente associadas a diferentes períodos de crescimento. As zonas de descontinuidade podem ser particularmente evidentes quando uma opacidade é observada numa camada.

Embora seja difícil lidar com o cristalino do ponto de vista óptico, há duas importantes vantagens em ter um cristalino que não tem um índice de refração uniforme, mas em vez disso, apresenta um aumento gradual no índice de refração à medida que vai da superfície em direcção ao centro. Primeiro, esta disposição resulta numa maior potência de refração total. Mesmo se o cristalino lente fosse homogéneo, com um índice de refração igual ao do centro do cristalino, a lente nuclear equivalente (ou seja, uma lente com um índice de refração gradualmente crescente) teria uma maior potência refractiva. Em segundo lugar, a disposição do núcleo equivalente reduz a quantidade de aberração esférica positiva no olho.

Uma vez que é muito difícil do ponto de vista óptico lidar com estruturas que têm um índice de refração que muda continuamente, a lente é geralmente considerada como sendo constituída por duas partes distintas, um núcleo central biconvexo ou um núcleo rodeado por uma lente biconvexa maior chamada de **córtex**. Os índices de refração do córtex e núcleo da lente são geralmente considerados 1.386 e 1.406, respectivamente. Os modelos de cristalinos esquemáticos que consistem em duas áreas discretas, um dentro do outro, que têm índices de refração diferentes, mas uniformes são chamados de **lentes nucleares equivalentes** (ver Figura 3.3).

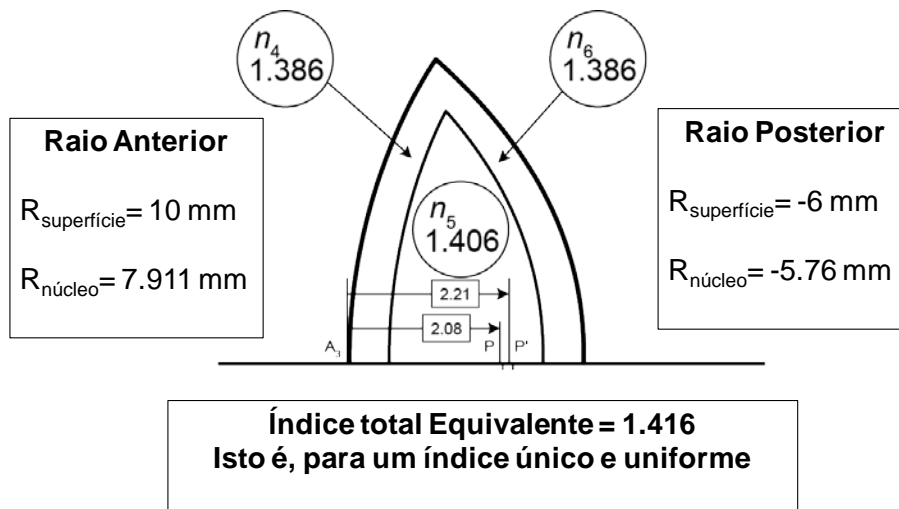


Figura 3.3: Diagrama esquemático mostrando o índice de refração uniforme necessário para representar uma lente nuclear equivalente para o olho

POTÊNCIA DO CRISTALINO

No estado não acomodado, a potência média do cristalino é geralmente considerada como sendo cerca de +20.8 D. No entanto, os dados disponíveis são altamente variáveis e em grande medida potências estimadas de forma indireta.

COMPRIMENTO AXIAL

As distribuições de frequências para componentes oculares individuais, com excepção do comprimento axial, estão conformidade com uma distribuição Gaussiana normal. Sorsby (1981) relatou que o comprimento axial está distribuído aleatoriamente na população em geral. Embora selecionados aleatoriamente, a população era pequena. Stenstrom (1948) relatou que a distribuição apresenta um maior pico do que a "normal" (leptocúrtica) e assimétrica, incluindo um número maior de olhos mais longos (ver Figura 3.8). Uma vez que a distribuição de erros refractivos é leptocúrtica, não pode haver uma associação livre entre componentes individuais. Normalmente encontra-se uma correlação mais alta entre erro refractivo e comprimento axial.

OLHOS ESQUEMÁTICO EXACTOS DE GULLSTRAND

Os olhos esquemáticos são modelos do sistema óptico do olho. Existem tantos olhos esquemáticos diferentes, como há pessoas que estudam o olho como instrumento óptico. No entanto, existem três tipos básicos de olhos esquemáticos que diferem principalmente em termos da sua complexidade. Uma das descrições mais completas do sistema óptico do olho é fornecida pelo **Olho Esquemático Exacto de Gullstrand** (também conhecido como olho #1 de Gullstrand; ver Figura 3.4 e a Tabela 3.1). O olho esquemático exacto de Gullstrand é um olho hipermetrope (cerca de +1.00 DS) e consiste de seis superfícies refractivas, quatro das quais estão associadas com um cristalino de núcleo equivalente. A principal vantagem do olho esquemático exacto de Gullstrand é que todas as constantes ópticas para os olhos fornecem uma aproximação muito boa das dimensões do olho "médio". A este respeito as comparações entre as características dos olhos de um determinado paciente e olho esquemático exacto de Gullstrand podem fornecer uma indicação da natureza do erro refractivo de um paciente (ou seja, é a ametropia do paciente por natureza **axial** ou **refractiva**?).

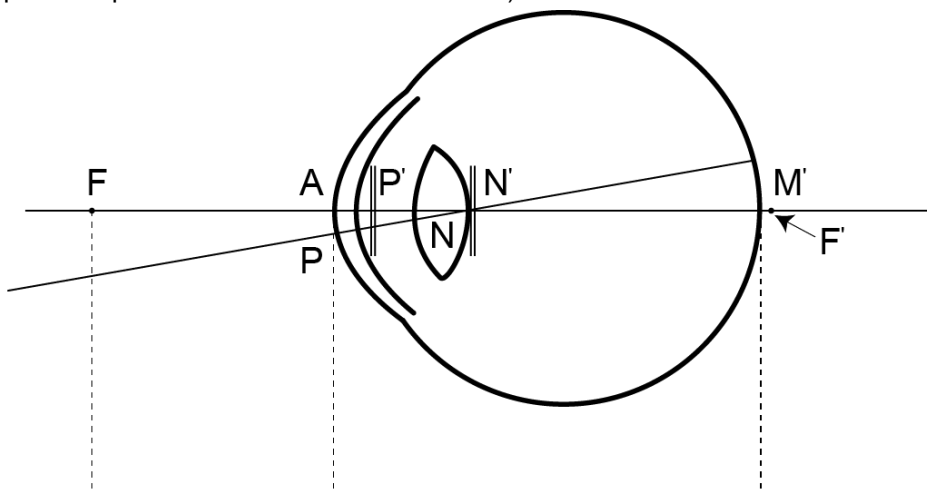


Figura 3.4: Olho Esquemático Exacto de Gullstrand Olho #1 (Emsley 1955)

F: Ponto remoto; F': ponto focal do olho; A: ápice da córnea; P e P': primeiro e segundo pontos principais, N e N': primeiro e segundo pontos nodais; M: fóvea central (área macular).

Tabela 3.1 Características do Olho Esquemático Exacto de Gullstrand #1

Características-chave
Seis superfícies de refração
Cristalino de núcleo equivalente
Hipermetropia (+1.00 DS)
Versões acomodadas e não acomodadas
Boa aproximação das dimensões do olho médio

Nota: Provavelmente não precisa de memorizar as constantes do olho de Gullstrand #1. No entanto, deve saber o suficiente dos detalhes para determinar se o olho de um paciente é anormal de alguma forma (por exemplo, comprimento axial anormalmente longo ou curto, curvatura da córnea ou profundidade de câmara anterior). E, deve ter uma apreciação geral da organização óptica do olho, ou seja, que os pontos nodais estão ambos perto da superfície posterior do cristalino; que os principais planos são muito próximos e localizados na câmara anterior.

OLHOS ESQUEMÁTICOS SIMPLIFICADOS

Embora o olho esquemático exacto de Gullstrand seja útil para a compreensão de como o olho funciona opticamente, para muitos fins uma versão mais simples do sistema óptico do olho é suficiente. Como resultado, vários modelos esquemáticos foram desenvolvidos que consistem em apenas 3 superfícies de refacção. Olho esquemático simplificado de Gullstrand (Olho esquemático de Gullstrand # 2; ver Figura. 3.5 e Tabela 3.2) é um bom exemplo de um olho esquemático de 3 superfícies. Em olhos esquemáticos simplificados, a córnea é considerada como sendo infinitamente fina e é representada como uma única superfície de refacção esférica, separando o ar do humor aquoso. O cristalino, presume-se ter um índice de refacção homogéneo. No olho de Gullstrand # 2 (versão não acomodada), as curvaturas das superfícies anterior e posterior do cristalino são as mesmas que aquelas usadas no olho esquemático exacto. Para compensar a perda da potência refractiva associada com a eliminação do cristalino nuclear equivalente, o cristalino no olho simplificado presume-se ter um índice de refacção maior do que o núcleo do cristalino nuclear equivalente (1.413 ou 1.416 vs 1.406). Em contraste com o olho esquemático exacto, o olho esquemático simplificado é emetropo.

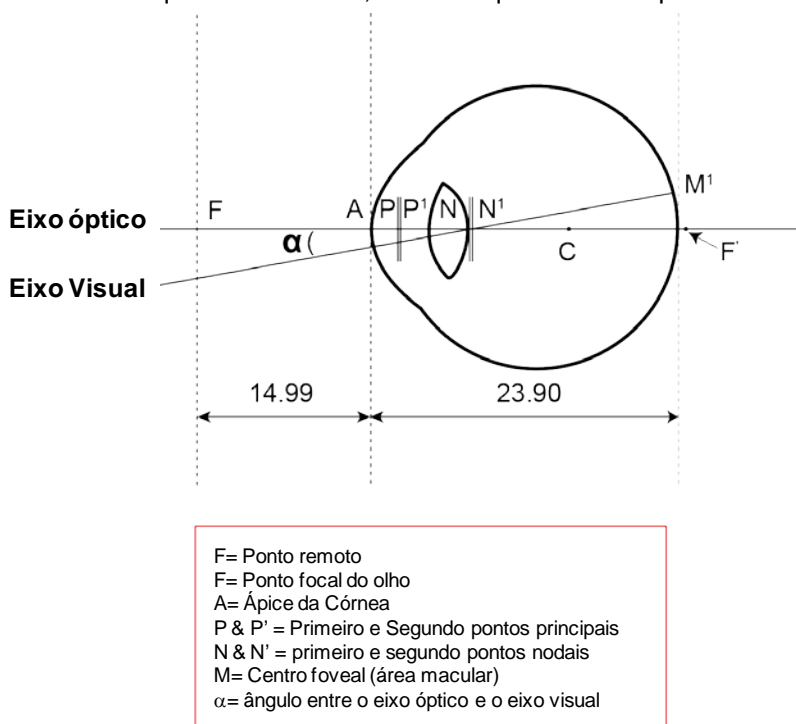


Figura 3.5: Olho esquemático simplificado de Gullstrand #2 (Emsley, 1955)

F: Ponto remoto; F': ponto focal do olho; A: Ápice da córnea; P e P': primeiro e segundo pontos principais, N e N': primeiro e segundo ponto nodal; M: Centro da Fóvea (área macular); α : ângulo entre os eixos ópticos e visuais.

Tabela 3.2 Características do Olho Esquemático Simplificado de Gullstrand #2

Características-chave
3 Superfícies de refacção
Índice de refacção do cristalino aumentou para 1.416 para compensar as perdas do gradiente de índice
Emetrópico

OLHOS ESQUEMÁTICOS REDUZIDOS

Até mesmo o olho simplificado é demasiado pesado para a maioria de aplicações clínicas. Então Listing, seguido de outros investigadores, reduziu a óptica do olho para uma única superfície esférica de refração. A justificação de Listing para colocar toda potência refractiva do olho numa única superfície decorre do facto que o primeiro e o segundo plano principal (e, portanto, o ponto nodal também) são separados por uma distância muito pequena - apenas cerca de 0.25 mm. Uma vez que uma única superfície refractiva esférica tem apenas um plano principal (que corresponde ao vértice da superfície, ou seja, o ponto de interseção com o eixo óptico) e um ponto nodal (que corresponde ao centro de curvatura da superfície refractiva), Listing combinou dois planos principais do olho e os dois pontos nodais em pontos únicos, representando o centro de curvatura e o vértice, respectivamente, de uma superfície refractiva esférica equivalente. A posição da superfície refractiva reduzida de Listing está assim, a cerca de 1.5 mm atrás da córnea, separando o espaço objecto (ar) e espaço imagem (vítreo).

Nota: Para qualquer sistema óptico quando os índices de refração em ambos os lados do sistema óptico são diferentes, o sistema óptico pode ser substituído por uma única superfície de refração - chamada geralmente de superfície equivalente - cujo vértice se encontra no segundo ponto principal e cujo centro de curvatura corresponde ao segundo ponto nodal.

O modelo de olho reduzido que será usado neste curso foi calculado por Emsley e é ilustrado na Figura 3.6 e Tabela 3.3. O olho reduzido do Emsley é um olho emetropico com um comprimento axial de 23.9 mm. A única superfície de refração está localizada a 1.67 mm atrás da córnea (22.22 mm em frente à retina) e tem um raio de curvatura de 5.55 mm. O índice de refração do espaço da imagem é $4/3$ e, assim, a superfície refractiva tem uma potência refractiva de +60.00 D.

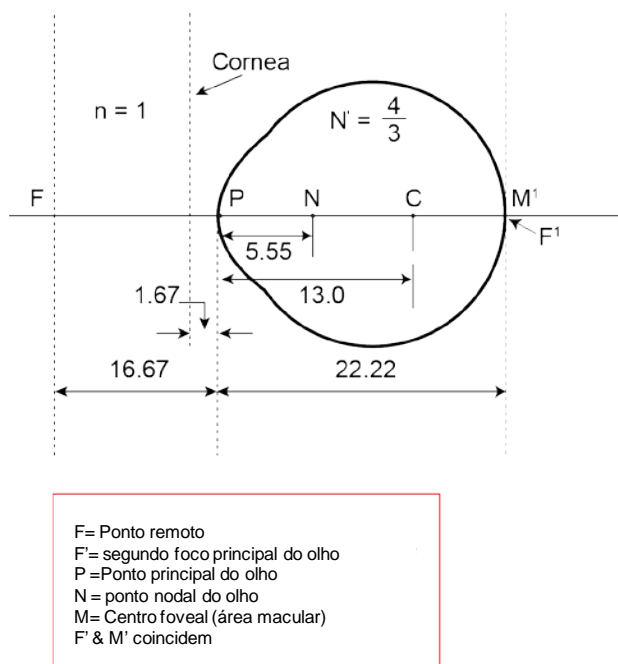


Figura 3.6: Olho Reduzido de Emsley (Emsley 1955)

F: Ponto remoto; F': segundo foco principal do olho; P: ponto principal do olho, N: ponto nodal do olho; M: centro da fóvea (área macular); F' e M' coincidem.

Tabela 3.3 Características do Olho Reduzido de Emsley

Características Chave
1 Superfície refractiva posicionada 1.67 mm atrás da córnea

Emetrópico
Potência total +60 D

EFEITOS DAS MUDANÇAS DAS CONSTANTES ÓPTICAS

O estado refractivo do olho é dependente do equilíbrio entre as características das componentes refractivas do olho e do seu comprimento axial. Os efeitos da alteração do comprimento axial são bastante óbvios. Supondo que os componentes ópticos são inalterados, aumentar o comprimento axial do olho fará o olho mais míope/menos hipermetrópe. Diminuir o comprimento axial produz uma mudança relativa de miopia em direcção à hipermetropia. No entanto, prever os efeitos das alterações das características de uma superfície refractiva individual, **isoladamente**, não é tão óbvio. Uma vez que certas condições patológicas (por exemplo, diabetes) e estratégias de tratamento (por exemplo, uso de lente de contato) podem produzir tais alterações, é importante entender como o estado refractivo de um paciente pode ser modificado por alterações nas constantes ópticas do olho. A este respeito, o conhecimento do funcionamento das constantes dos vários olhos esquemáticos ajudarão a prever como o estado refractivo do olho está dependente dos seus componentes ópticos. Existem três tipos básicos de alterações que podem substancialmente alterar o estado refractivo do olho.

1. Curvatura das superfícies de refacção

Os efeitos da alteração da curvatura das superfícies refractivas do olho são relativamente fáceis de prever. Com uma excepção, o aumento da curvatura ou encurvamento de uma superfície refractiva (ou seja, uma diminuição no raio de curvatura) aumenta a potência refractiva do olho (ou seja, o olho tornar-se-á mais míope/menos hipermetrópe). A excepção é a superfície posterior da córnea. Uma vez que a parte posterior da superfície da córnea tem um efeito refractivo negativo no olho, um aumento do encurvamento ou curvatura da superfície posterior da córnea resulta numa diminuição na potência refractiva total.

2. Posição dos componentes refractivos

Os efeitos das variações da posição de uma estrutura refractiva podem ser previstos a partir do conhecimento do efeito das estruturas refractivas no olho (ou seja, mais ou menos) e a fórmula para a potência equivalente de uma lente espessa.

$$F_{eq} = F_1 + F_2 - (t/n)(F_1)(F_2)$$

Por exemplo, se o cristalino é movido para a frente em direcção à córnea, há um aumento na potência refractiva do olho. Neste caso, a córnea e a lente têm efeitos de refacção positivos, assim, o factor de distância $[-t/n(F_1F_2)]$ na fórmula de potência equivalente será menor (porque 't' está a ficar menor) e resulta numa maior potência refractiva total (ver Figura 3.7).

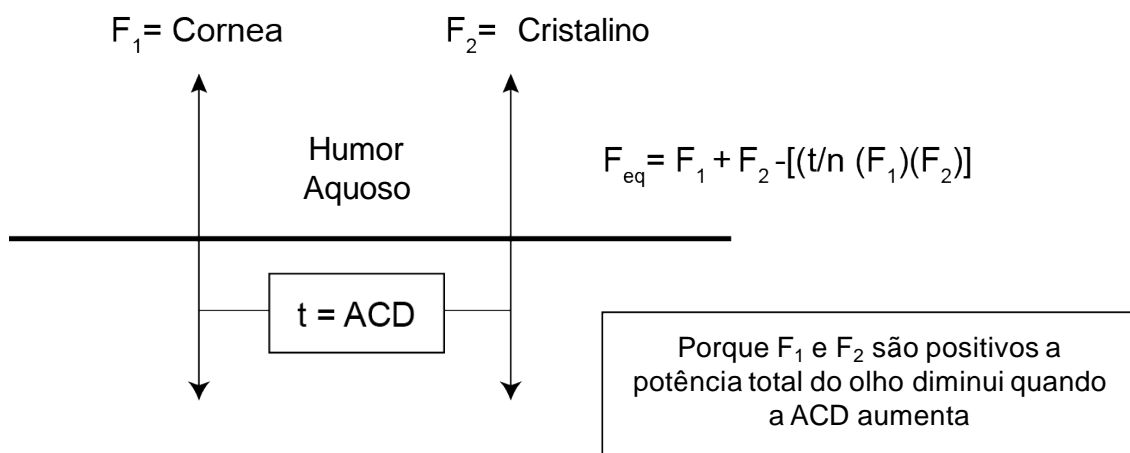


Figura 3.7: Os efeitos ópticos das variações na ACD apenas são relativamente pequenos. Por exemplo, um deslocamento de 1 mm para a frente do cristalino aumenta a potência total do olho por cerca de 1.4 D.

3. Índice de Refracção

Os efeitos das alterações no índice de refração podem ser previstos de forma simples introduzindo conceptualmente uma camada fina de ar entre os meios oculares adjacentes. Ao introduzir ar entre os meios a direcção dos raios refractados não será afectada. Quando os meios são separados por ar, cada um dos elementos ópticos forma uma lente positiva ou negativa excepto para o vítreo que pode ser considerada uma superfície refractiva esférica simples (ver Figura 3.8) Um aumento no índice de refração irá aumentar ou diminuir a potência refractiva total dependendo se o efeito refractivo de um elemento particular no ar é positivo ou negativo. Por exemplo, o humor aquoso e o núcleo do cristalino formam lentes positivas no ar e assim, um aumento no índice de refração irá resultar num aumento na potência a refractiva total (isto é, um deslocamento na direcção da miopia ou menos hipermetropia). Em comparação, os restantes elementos formaram lentes negativas e assim, um aumento nos seus índices de refração irá causar um desvio relativo na direcção da hipermetropia.

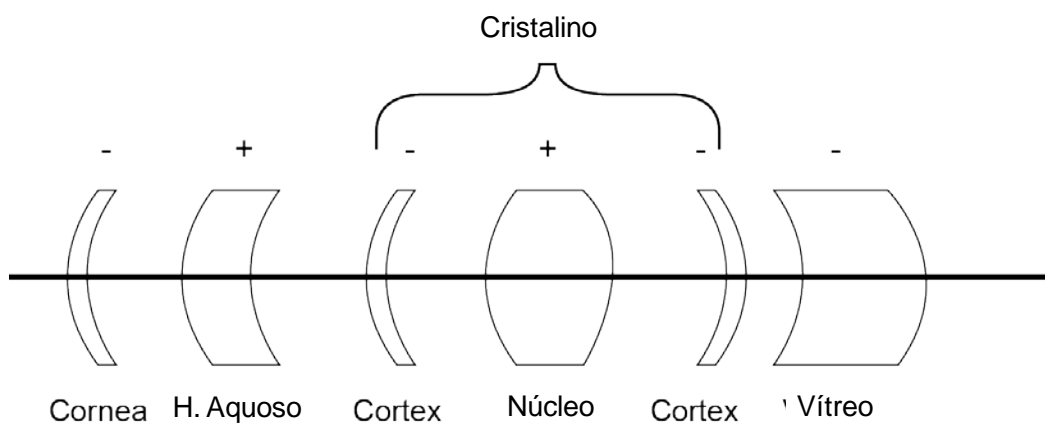


Figura 3.8: Um aumento no índice de refração irá aumentar ou diminuir a potência refractiva total do olho dependendo se o efeito de refração da estrutura no ar é positiva ou negativa (de Fry)

Os seguintes cálculos das potências das superfícies frontal e posterior da córnea demonstram que um aumento no índice de refração da córnea irá diminuir a potência refractiva total positiva da córnea.

Suponha que a córnea tem as seguintes propriedades:

Raio Anterior = 7.8 mm

Raio Posterior = 6.8 mm

Índice de Refracção (córnea) = 1.376

Índice de Refracção (aquoso) = 1.336

A potência refractiva da superfície anterior seria:

$$F = \frac{1.376 - 1.0}{0.0078 \text{ m}} = \frac{0.376}{0.0078 \text{ m}} = +48.2 \text{ D}$$

A potência refractiva da superfície posterior seria:

$$F = \frac{1.336 - 1.376}{0.0068 \text{ m}} = \frac{-0.04}{0.0068 \text{ m}} = -5.88 \text{ D}$$

Agora, suponha que o índice de refração da córnea foi aumentado para 1.386.

A nova potência de refração da superfície anterior seria:

$$F = \frac{1.386 - 1.0}{0.0078 \text{ m}} = \frac{0.386}{0.0078 \text{ m}} = +49.5 \text{ D}$$

ou seja, aumentando o índice de refração da córnea 0.010 produziu um aumento de + 1,3 D na potência refractiva da superfície anterior.

A nova potência refractiva da superfície posterior seria:

$$F = \frac{1.336 - 1.386}{0.0068 \text{ m}} = \frac{-0.05}{0.0068 \text{ m}} = -7.35 \text{ D}$$

Ou seja, o aumento no índice de refração fez com que a córnea posterior manifestasse um -1.47 D adicional de potência negativa. Em conjunto, a mudança líquida na potência refractiva para toda a córnea produzida pelo aumento de 0,01 no índice de refração seria de aproximadamente -0.2 D. Esta diminuição na potência total faria com que o olho se tornasse mais hipermetrope ou menos miope. Em essência, a mudança no índice resultou num efeito de refração líquida negativa porque teve impacto relativamente maior sobre a diferença dos índices de refração entre a córnea posterior e o humor aquoso (ou seja, na interface que tem um efeito refractivo negativo) do que sobre a diferença entre o ar e a córnea anterior.

BIBLIOGRAFIA

- Stenstrom S. Acta Ophthalmologica December 1948. 26 (4):582.
- H. H. Emsley Visual Optics, Vol. 1 (Hatton, London, 1955).