



TAMANHO DA IMAGEM RETINIANA

AUTOR

Prof. Earl L. Smith III: University of Houston

REVISOR

Prof. Emeritus Barry L. Cole: University of Melbourne

INTRODUÇÃO E SUMÁRIO

Este capítulo inclui uma revisão de:

- Tamanho da imagem formada pela óptica do olho
- Tamanho da imagem retiniana (imagem retiniana nítida)
- Tamanho da imagem retiniana na ametropia axial não corrigida
- Tamanho da imagem retiniana na ametropia refractiva não corrigida
- Tamanho da imagem nas ametropias corrigidas
- MO e MOR em olhos ametrópicos corrigidos
- Ametropias axiais corrigidas com óculos
- Ametropias axiais corrigidas com lentes de contacto
- Ametropias refractivas corrigidas com óculos
- Ametropias refractivas corrigidas com lentes de contacto
- Tamanho da imagem retiniana em várias condições
- Cálculo da imagem retiniana

Ao criar uma imagem retiniana nítida, as lentes correctivas alteram quase sempre o tamanho da imagem retiniana produzida por um dado objecto. Enquanto as alterações induzidas pelas lentes na magnificação da imagem retiniana podem em determinados casos melhorar o desempenho visual, as lentes podem efectivamente diminuir a imagem retiniana ou produzir um desequilíbrio no tamanho das imagens retinianas entre os dois olhos que interfira com um desempenho visual ideal. Consequentemente, é importante para os optometristas ter um conhecimento prático sobre os efeitos das lentes correctivas no tamanho da imagem retiniana.

Existe uma plenitude de formas para determinar o tamanho da imagem formada pelo sistema óptico do olho e o tamanho da imagem retiniana. Os olhos esquemáticos descritos em VSII-5, em particular o olho reduzido de Emsley, são muito úteis no cálculo do tamanho das imagens. Em particular, qual o olho seleccionado e qual a abordagem utilizada para calcular o tamanho da imagem é algo dependente da situação específica a ser estudada (exemplo, a imagem retiniana está “em foco” ou “desfocada”? Pretende conhecer o tamanho da imagem retiniana ou simplesmente o tamanho da imagem produzido se a retina não estiver presente?). O que se segue é uma série de exemplos de como calcular o tamanho da imagem em várias condições diferentes.

TAMANHO DA IMAGEM FORMADA PELA ÓPTICA DO OLHO

O tamanho e posição da imagem formada pela óptica do olho (assumindo que a retina não interfere com a formação da imagem) é determinado usando os olhos esquemáticos exacto ou simplificado de Gullstrand e uma abordagem clássica de óptica geométrica. Por exemplo, assuma um objecto de 10 cm posicionado a 1.0 m em frente do primeiro plano principal do olho esquemático simplificado de Gullstrand, a versão sem acomodação. No olho emetropico, o plano imagem está atrás da retina. Qual seria do tamanho da imagem nítida (isto é, o tamanho da imagem que seria formada atrás do olho se a retina não interferisse com a formação da imagem) e onde é que a imagem seria formada? No diagrama da Figura 4.1 a posição, postura e o tamanho da imagem são localizados por traçado de raios. Um raio proveniente da parte superior do objecto é direccionado em direcção ao ponto focal anterior (f) do olho. Este raio intersecta o primeiro plano principal (p) e emerge no segundo plano principal (p') paralelo ao eixo óptico. Um segundo raio direccionado para o primeiro ponto nodal (N) sofre refacção no primeiro plano principal. Emerge do segundo plano principal e passa através do segundo ponto nodal (N') viajando na mesma direcção que o raio direccionado para N no espaço objecto. Um terceiro raio que é paralelo ao eixo óptico, deixa o segundo plano principal e passa através do segundo ponto focal do olho (f').

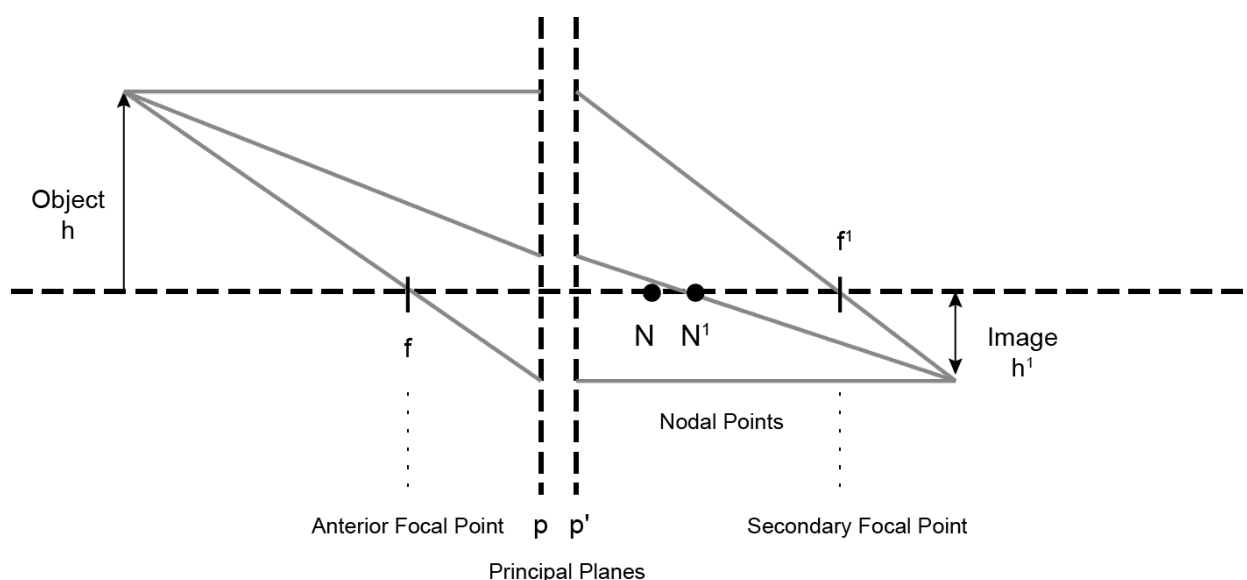


Figura 4.1: Diagrama de raios da posição, tamanho e postura da imagem retiniana

Nota: Sendo o olho emetropico, o segundo ponto focal corresponde com a intersecção da retina e o eixo óptico. A intersecção destes três raios no espaço imagem indica que o plano no qual a imagem irá ser formada (assumindo que a retina não bloqueia a luz).

Para determinar a posição da imagem com respeito à retina requer conhecimento das características do olho esquemático e implica resolver um problema relativamente simples de vergência. A informação seguinte respeitante ao olho esquemático é necessária:

Potência equivalente do olho:	$F = +59.6 \text{ D}$
Posição do segundo plano principal:	$p' = 1.75 \text{ mm}$
Índice de refacção do espaço imagem:	$n' = 1.336$
Comprimento axial:	fóvea = 24.17 mm

O primeiro passo para resolver o problema é determinar a vergência da luz no espaço objecto (L).

$$L = n/l$$

n = índice de refração do espaço objecto (1.0 para o ar)

l = distância de p até ao objecto, seguindo a convenção de sinais -1.0 m

$$L = 1.0/-1.0 \text{ m} = -1.0 \text{ D}$$

Determinando a vergência da luz no espaço imagem (L'), é possível calcular a distância da imagem a partir de p' (isto é, l').

$$L' = L + F$$

$$L' = -1.0 \text{ D} + 59.6 \text{ D} = +58.6 \text{ D}$$

A distância imagem é l' = n'/L'.

$$l' = 1.336/+58.6 \text{ D} = 0.0228 \text{ m}$$

Isto é a imagem é formada a 22.8 mm a partir de p', o segundo plano principal. Uma vez que o p' está 1.75 mm a partir da córnea, a imagem é formada a 24.55 mm (1.75 mm + 22.8 mm) a partir do polo da córnea. O comprimento axial do olho é 24.17 m.

Assim, o plano imagem irá estar 0.38 mm atrás da retina.

O tamanho da imagem pode ser determinado usando a equação para a magnificação linear.

$$M = L/L' = h'_{(\text{imagem})}/h_{(\text{objecto})}$$

$$M = -1.0 \text{ D}/+58.6 \text{ D}$$

$$M = -0.01706$$

Nota: O sinal negativo indica que a imagem está invertida.

Desta forma,

$$h' = h(M)$$

$$h' = 10 \text{ cm} (-0.01706) = -0.1706 \text{ cm}$$

isto é, o tamanho da imagem é 1.706 mm.

É importante perceber que este procedimento não determina o tamanho da imagem desfocada que, neste exemplo, irá ser formada na retina. Embora o tamanho da imagem formado pela óptica do olho (não necessariamente a imagem retiniana) seja de interesse em determinadas situações, não é normalmente de interesse em situações clínicas.

TAMANHO DA IMAGEM RETINIANA (IMAGEM RETINIANA NÍTIDA)

Quando a imagem é formada na retina está “em foco” (isto é, quando o objecto está conjugado com a retina), o tamanho da imagem retiniana pode ser facilmente determinado usando o olho reduzido e os raios das extremidades do objecto que passam através do ponto nodal do olho (por vezes estes raios são designados de raios principais). Sabendo que a imagem é formada na retina, é necessário determinar a intersecção com a retina de um raio de entre um conjunto de raios possíveis. Os raios que atravessam o ponto nodal fornecem uma abordagem simples ao problema uma vez que não são desviados durante a refacção. Assim, o ângulo que o objecto subtende no ponto nodal irá ser igual ao ângulo que a imagem retiniana subtende no ponto nodal.

Nota: Uma superfície refractiva esférica simples tem um ponto principal que corresponde ao vértice da superfície refractiva e um ponto nodal que corresponde ao centro de curvatura da superfície refractiva.

A Figura 4.2 ilustra como o tamanho da imagem retiniana pode ser calculado usando raios que atravessam o ponto nodal do olho reduzido. O olho reduzido apresentado é o olho emetropo de Emsley. Assuma um objecto em infinito que subtende um **ângulo visual** de 0.1 radianos (rad)

Nota: O ângulo visual subtendido por um objecto é classicamente definido como o ângulo formado pelas extremidades do objecto no ponto nodal. Por vezes o ângulo visual subtendido por um objecto é referido como o seu tamanho aparente. No entanto, quando a imagem retiniana não está em foco, o seu tamanho é determinado pelo raio que passa pelo centro da pupila de entrada. Assim, o ângulo visual é por vezes medido com respeito ao centro da pupila de entrada.

Nota: Na generalidade, é muito mais fácil especificar ângulos visuais em termos de radianos que em raios. Uma vez que os cálculos do tamanho da imagem envolvem raios paraxiais, a quantidade de erro introduzido nos cálculos é pequena.

Uma vez que o objecto subtende 0.1 rad no ponto nodal, a imagem deve também subtender 0.1 rad no ponto nodal (isto é, $\theta = \theta'$). Assim, para calcular o tamanho da imagem, q' é multiplicado pela distância entre o ponto nodal e a retina. Para o olho emetropo reduzido de Emsley, esta distância é igual a 16.67 mm (22.2 mm - 5.55 mm).

Desta forma:

$$\text{Tamanho imagem} = (0.1 \text{ rad}) \times (16.67 \text{ mm}) = 1.67 \text{ mm}.$$

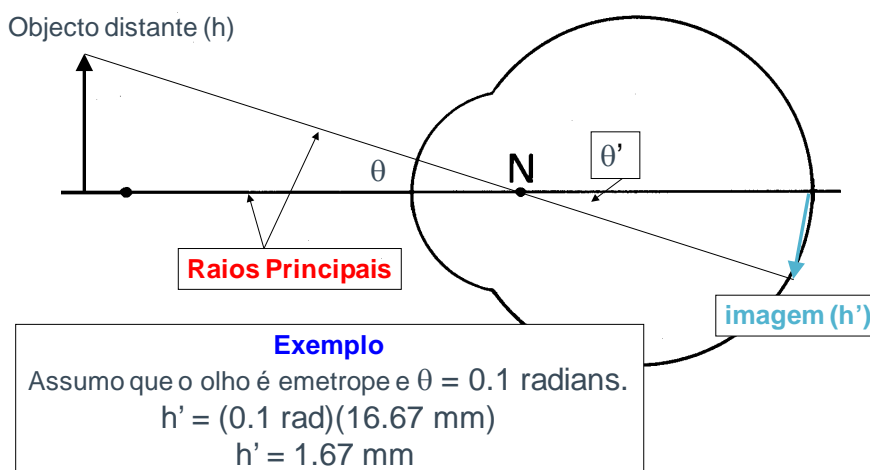


Figura 4.2: Usando o olho reduzido emetropo de Emsley para calcular o tamanho imagem

TAMANHO IMAGEM NA AMETROPIA AXIAL NÃO CORRIGIDA

Ao examinar a imagem retiniana em olhos ametropes, a presença de um erro refractivo é normalmente atribuída a uma de duas causas – um comprimento axial do olho anómalo (isto é, uma ametropia axial) ou uma componente refractiva anómala (ametropia refractiva). Na realidade, as etiologias dos erros refractivos não podem ser separadas de forma tão linear em duas categorias distintas. Não obstante, esta dicotomia artificial fornece uma perspectiva sobre as características dos olhos ametropes. Assim, por definição, uma **ametropia axial** é um erro refractivo que é causado por um comprimento axial inapropriado. A potência refractiva (isto é, a óptica do olho) de um ametrope axial é normal. Assim em termos de modelo esquemático, uma ametropia axial pode ser representada pela mesma superfície refractiva que um olho emetrope, mas a retina irá estar numa posição diferente. Para **míopes axiais**, o comprimento axial irá ser maior que o normal. Para **hipermetropes axiais**, o comprimento axial irá ser menor que o normal. Em comparação, uma **ametropia refractiva** é um erro refractivo causado por um componente óptico anómalo. O comprimento axial é normal, no entanto o olho tem ou demasiada potência refractiva (isto é, míope refractivo) ou pouca potência refractiva (isto é, hipermetrope refractivo). Os modelos esquemáticos reduzidos para ametropias refractivas têm o mesmo comprimento axial que o olho emetrope reduzido; mas a curvatura da superfície equivalente é diferente. O raio de curvatura para a superfície refractiva é mais curto que o normal para míopes refractivo e vice-versa para hipermetropes refractivos.

O diagrama na Figura 4.3 ilustra 3 olhos esquemáticos reduzidos representando um emetrope, um míope axial de 5.0 D e um hipermetrope axial de 5.0 D. Uma vez que os exemplos são duas ametropias axiais, as potências dióptricas dos olhos são as mesmas como no olho emetrope padrão de Emsley, assim os pontos nodais e as superfícies refractivas para os três olhos são idênticas. Assuma que tem 3 objectos diferentes, coloque um em infinito de forma a subtender um ângulo ade 0.1 rad no ponto nodal do olho emetrope, coloque outro no ponto de longe do olho míopico de forma que também subtende 0.1, e coloque um terceiro objecto (um objecto virtual) no ponto de longe do olho hipermetrope de forma a subtender 0.1 rad (ver Figura 4.4). Nestas circunstâncias os raios provenientes de pontos extremos dos objectos através dos pontos nodais podem ser usados para calcular o tamanho da imagem retiniana. A acrescentar estes raios fornecem uma comparação directa dos tamanhos de imagem nestes três tipos de olhos. Uma vez que as intersecções dos raios que atravessam os pontos nodais com as respectivas retinas definem os tamanhos das imagens retinianas, isto pode ser visto **na ametropia axial não corrigida, o tamanho da imagem retiniana é directamente proporcional ao comprimento axial**. A imagem no olho míope irá ser maior que a do olho emetrope que por sua vez irá ser maior que a imagem no olho hipermetrope.

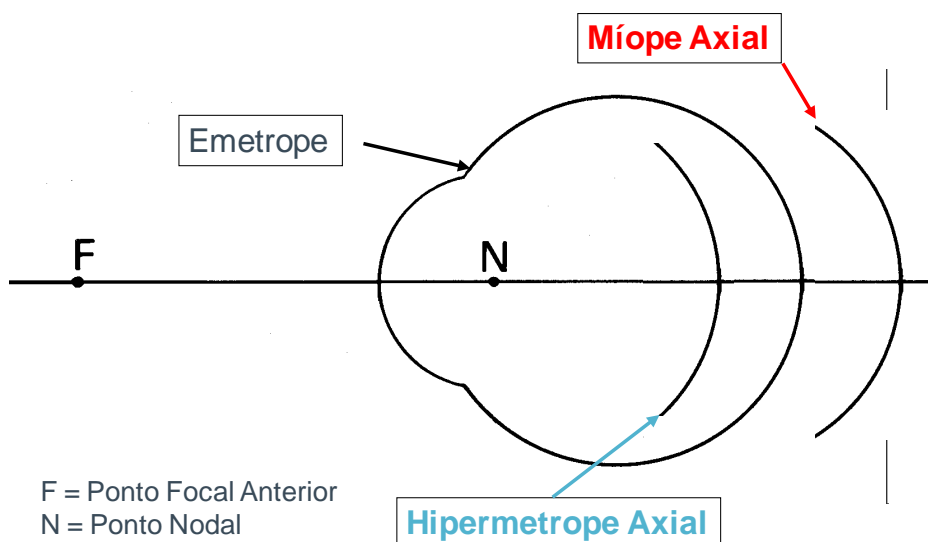


Figura 4.3: Mostra diferentes comprimentos de onda, na hipermetropia axial, emetropia e miopia. Note que o ponto focal anterior e o ponto nodal são equivalentes.

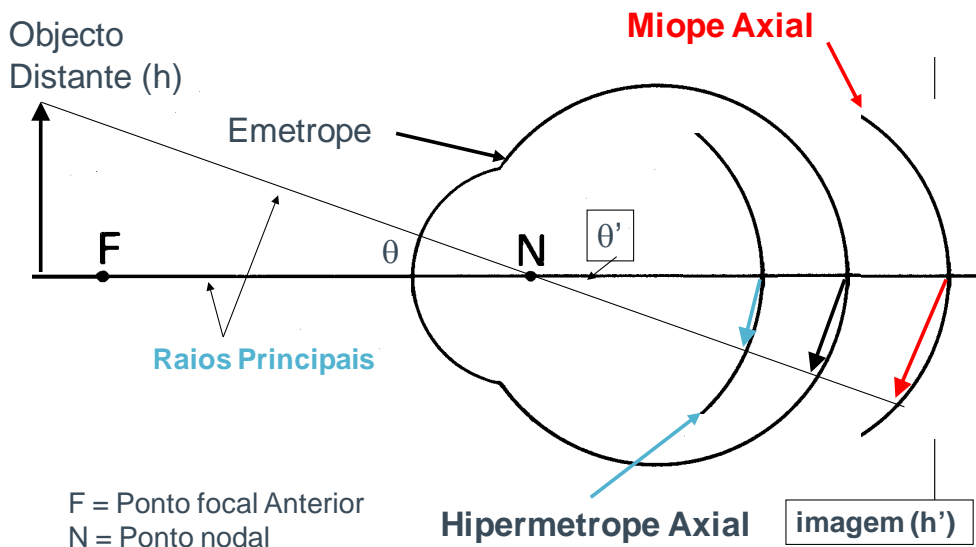


Figura 4.4: O tamanho imagem numa ametropia axial é directamente proporcional ao comprimento axial

Para calcular o tamanho da imagem retiniana em olhos ametrópicos, a distância entre o ponto nodal e a retina deve ser determinada. (Para um olho emetropico esta distância é 16.67 mm e é simplesmente uma característica do olho reduzido de Emsley. Esta distância pode ser determinada a partir da vergência de luz no espaço imagem necessária para focar a luz em retinas de olhos ametropes (ver Figura 4.5). A equação do foco conjugado pode ser usada para calcular a vergência apropriada no espaço imagem.

$$L' = L + F$$

Onde:

L' = vergência no espaço imagem

L = vergência no espaço objecto

F = potência refractiva do olho

Uma vez que estas são ametropias axiais, a potência refractiva nos três olhos é a mesma, isto é +60.0 D. Para o míope, a vergência da luz no espaço objecto (L) deve ser igual a -5.0 D para a luz que se foca na retina.

Assim, para o míope:

$$L' = -5.0 \text{ D} + 60.0 \text{ D}$$

$$L' = +55.0 \text{ D}$$

Isto é, a luz deve abandonar a superfície refractiva com uma vergência de +55.0 D para se focar na retina. A distância imagem (l') associada) com a vergência do espaço imagem acima pode ser calculada da seguinte forma:

$$L' = n'/l'$$

$$l' = 1.333/+55.0 \text{ D}$$

$$l' = 0.02424 \text{ m} = 24.24 \text{ mm}$$

Isto é, a distância da superfície refractiva até à retina é 24.24 mm. A distância da superfície refractiva ao ponto nodal para os três olhos é 5.55 mm. Assim, a distância entre o ponto nodal e a retina míope é:

$$24.24 \text{ mm} - 5.55 \text{ mm} = 18.69 \text{ mm}$$

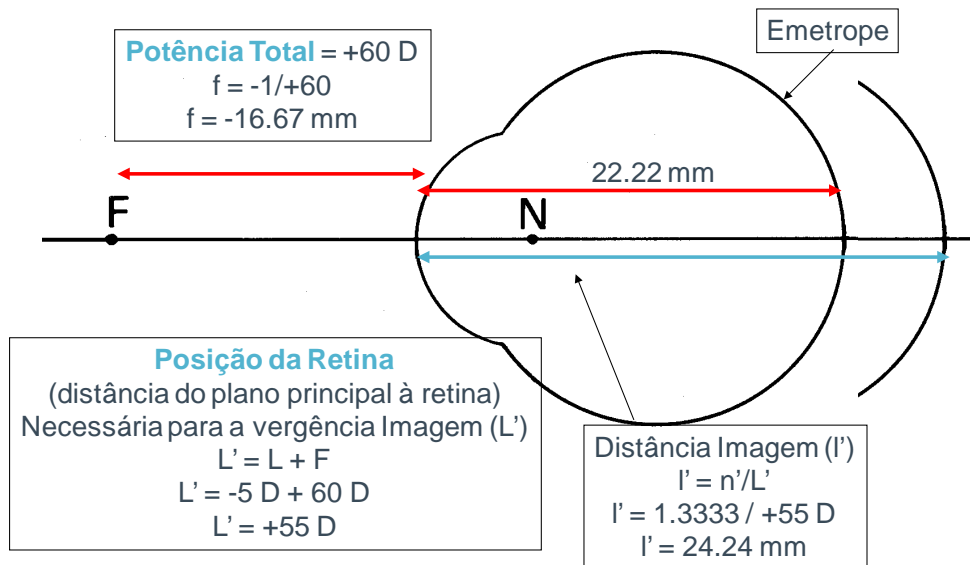


Figura 4.5: Determinação da distância imagem em relação à superfície refractiva num míope axial de 5D permite o cálculo subsequente da distância do ponto nodal à retina e do tamanho da imagem.

O tamanho da imagem retiniana (h') no olho míope é determinado simplesmente multiplicando o ângulo subtendido pela imagem no ponto nodal (0.1 rad) pela distância do ponto nodal à retina.

$$h' = (18.69 \text{ mm}) \times (0.1 \text{ rad})$$

$$h' = 1.87 \text{ mm}$$

Foi previamente determinada que a imagem produzida no olho emetropo por um objecto que subtende um ângulo visual de 0.1 rad é 1.67 mm (pagina 4). Uma comparação entre um míope e um emetropo mostra que a imagem no olho míope é cerca de 12% maior que num olho emetropo.

Para o olho hipermetropo:

L' – a vergência de luz necessária no espaço imagem para focar a imagem na retina

$$L' = +5.0 \text{ D} + 60.0 \text{ D}$$

$$L' = +65.0 \text{ D}$$

l' – a distância entre a superfície refractiva e a retina (ver Figura 4.6).

$$l' = 1.333/+65.0 \text{ D}$$

$$l' = 20.51 \text{ mm}$$

A distância entre o ponto nodal e a retina deste olho hipermetrope é:

$$20.51 \text{ mm} - 5.55 \text{ mm} = 14.96 \text{ mm}$$

h' – o tamanho da imagem retiniana.

$$h' = (14.96 \text{ mm}) \times (0.1 \text{ rad})$$

$$h' = 1.50 \text{ mm}$$

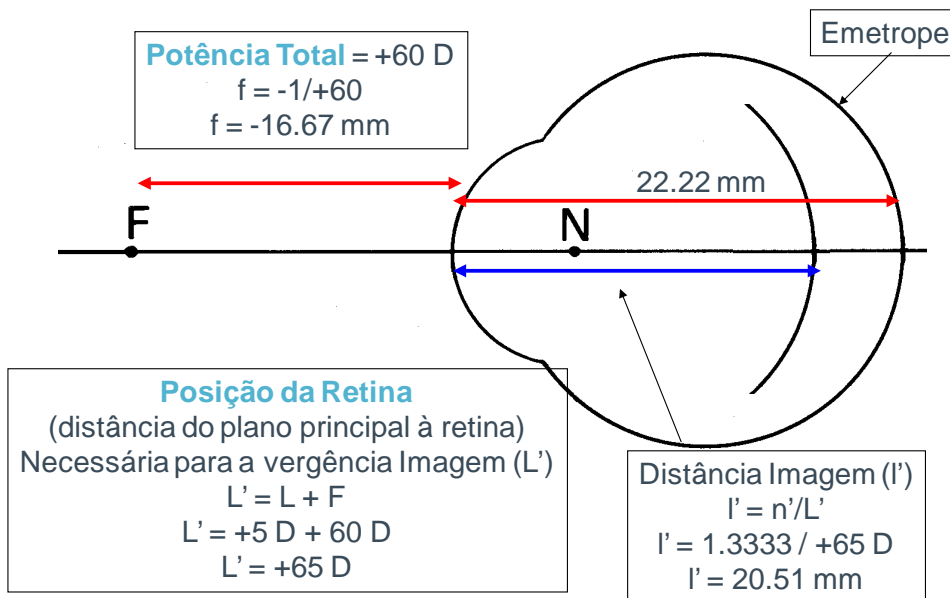


Figura 4.6: Determinação da distância imagem em relação à superfície refractiva num hipermetrope axial de 5 D permite o cálculo subsequente da distância do ponto nodal à retina e o tamanho imagem.

Nota. Nos exemplos acima, a magnitude do erro refractivo foi especificada com respeito ao plano principal do olho. As correcções refractivas especificadas desta forma são referidas como **refracções no plano principal** ou **refracções oculares**. Nas situações clínicas padrão, a magnitude do erro refractivo do paciente é especificada com respeito ao plano dos óculos (na realidade ao plano do foróptero) e é conhecido como **plano de refração dos óculos**. As refrações oculares podem ser calculadas a partir da refração do plano dos óculos se a distância vertex for conhecida e vice-versa. A menos que especificado em contrário, os erros refractivos nestas notas irão ser especificados com respeito aos planos principais.

TAMANHO IMAGEM NA AMETROPIA REFRACTIVA NÃO CORRIGIDA

Quando um objecto não está conjugado com a retina, a imagem formada na retina não irá estar em foco em cada ponto objecto e irá ser representada por um círculo de desfocagem. Para um objecto em infinito, o tamanho do círculo de desfocagem irá depender principalmente da magnitude do erro refractivo e do tamanho da pupila. Em determinadas situações é desejável determinar o tamanho da imagem desfocada. Neste caso, o tamanho da imagem não pode ser determinado usando o raio que passa pelo ponto nodal do olho. Em vez disso, os raios provenientes da extremidade do objecto que passam através do **centro da pupila de entrada** (os **raios chefe**) são utilizados para determinar o tamanho da imagem retiniana. Os raios chefe são usados por o tamanho da imagem retiniana desfocada é definida como a distância entre os centros dos círculos de desfocagem associados com as extremidades do objecto. Enquanto, os raios que passam pelo ponto nodal não formam os **centros** dos círculos de desfocagem, os raios chefe intersectam a retina no centro de um dado círculo de desfocagem. A este respeito, o raio chefe pode ser também usado para determinar o tamanho da imagem retiniana nítida. No entanto, é importante perceber que o tamanho da imagem determinado pelo raio chefe não representa o tamanho físico real da imagem desfocada. Como ilustrado na Figura 4.7, o **tamanho físico** da imagem irá ser igual ao tamanho da imagem indicado pelo raio chefe mais o diâmetro de um dos círculos de desfocagem.

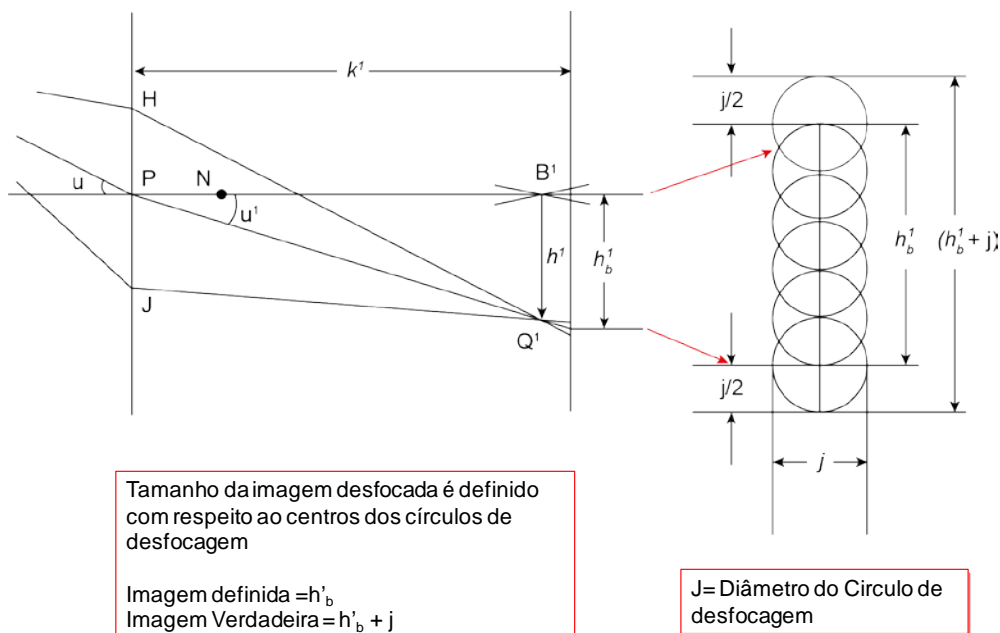


Figura 4.7: O tamanho físico da imagem irá ser igual ao tamanho da imagem indicado pelo raio chefe mais diâmetro de um dos círculos de desfocagem.

O seguinte é um exemplo de como um raio chefe pode ser usado para determinar o tamanho da imagem retiniana. Assuma que existe um objecto em infinito que subtende um ângulo de 0.1 rad na pupila de entrada de olho emetrope reduzido de Emsley. Ao contrário do raio que passa pelo ponto objecto, o raio chefe irá ser desviado ao ser refractado no plano principal. Assim o ângulo subtendido pela imagem na pupila de entrada irá ser menor que 0.1 rad (ver Figura 4.8).

Para calcular o tamanho da imagem retiniana, a distância entre o plano principal e a retina deve ser conhecido e o ângulo de refacção do raio chefe deve ser calculado. Pode ser usada uma versão simplificada da Lei de Snell para determinar o ângulo de refacção.

Lei de Snell,

$$n(\sin(i)) = n'(\sin(i'))$$

Uma vez que os ângulos de incidência para raios paraxiais são relativamente pequenos, os ângulos podem ser expressos em radianos e as funções seno pode ser omitidas. Desta forma,

$$n i = n' i'$$

$$i' = n i / n'$$

Sendo $n = 1$ e $n' = 4/3$ (para o olho reduzido de Emsley):

$$i' = 3/4(i) = 0.75i$$

Para o exemplo ilustrado acima:

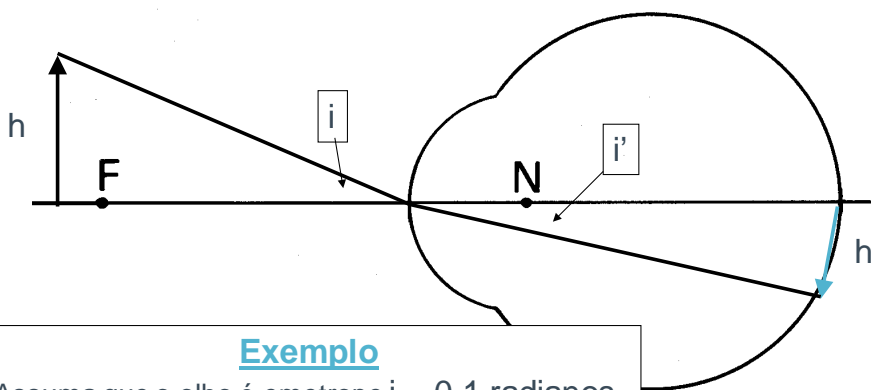
$$i' = 0.1 \text{ rad}(3/4) = 0.075 \text{ rad}$$

O tamanho da imagem retiniana (h'):

$$h' = i'(\text{distância entre o plano principal e retina})$$

$$h' = 0.075 \times 22.22 \text{ mm}$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$



Exemplo

Assuma que o olho é emetropo $i = 0.1$ radianos.

$$i' = 0.1/1.3333 = 0.075 \text{ rad}$$

$$h' = (0.075 \text{ rad})(22.22 \text{ mm})$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

Figura 4.8: Usando o ângulo de refração do raio chefe para calcular o tamanho da imagem

Uma das características importantes do raio chefe é que pode ser usado para demonstrar a relação entre o tamanho da imagem retiniana formada num **olho ametropo não corrigido** e a formada por um **olho emetropo**. Considere a imagem retiniana formada num olho com miopia refractiva de 5.0 D por um objecto em infinito que subtende 0.1 rad no centro da pupila de entrada. Tal como ilustrado na Figura 4.9, o comprimento axial de um míope refractivo de 5.0 D é idêntico ao do olho emetropo, no entanto a potência refractiva total é 5.0 D maior (isto é, $F = +65.0\text{D}$) que a do olho emetropo. Como resultado uma imagem nítida do objecto em infinito pode ser formada no ponto X. A luz irá divergir de X para formar um círculo de desfocagem na retina. Por definição, o tamanho da imagem neste míope refractivo não corrigido irá ser determinado pelo raio chefe. Uma vez que o ângulo de incidência é 0.1 rad, o ângulo que o raio chefe assume a seguir à refração irá ser de 0.075 rad. Neste caso, o ângulo de refração irá ser o mesmo para um ametropo não corrigido e para um emetropo.

O tamanho axial irá ser o mesmo (22.22 mm; na realidade a distância entre o plano principal e a retina). Como resultado, o tamanho da imagem “definido” no olho ametrópico não corrigido irá ser igual ao tamanho da imagem no olho emetrópico (isto é, $22.22 \text{ mm} \times 0.75 \text{ rad} = 1.67 \text{ mm}$ imagem retiniana).

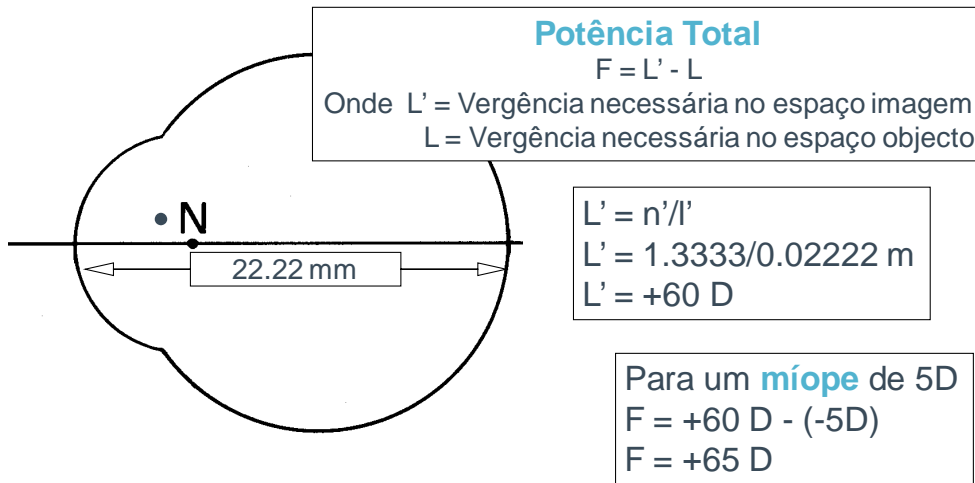


Figura 4.9: O tamanho axial de um míope refractivo de 5.0 D é idêntico ao do olho emetrope, no entanto, a potência refractiva total é 5.0 D maior (isto é, $F = +65.0 \text{ D}$)

No entanto, da Figura 4.7 deve ser óbvio que o **tamanho físico** (não o tamanho da imagem definida) da imagem desfocada no míope refractivo irá ser maior que a imagem nítida formada pelo mesmo objecto no olho emetrope.

O tamanho físico da imagem desfocada pode ser determinado calculando o diâmetro de um dos círculos de desfocagem. Se for assumido que o diâmetro da pupila de um míope de 5.0 D é de 5 mm (lembrar que a pupila coincide com a superfície refractiva no olho reduzido), o tamanho do círculo de desfocagem pode ser calculado usando as relações de triângulos semelhantes. Para fazer isto, a posição do ponto X deve ser determinada da seguinte forma:

$$L' = L + F$$

(Um vez que o objecto está em infinito $L = 0$)

$$L' = 0 + 65.0 \text{ D} = +65.0 \text{ D}$$

$$l' = n'/L'$$

(l' = a distância da superfície de refacção a X)

$$l' = 1.333/+65.0 \text{ D}$$

$$l' = 20.51 \text{ mm}$$

Uma vez que o triângulo ABX é semelhante ao triângulo CDX, o rácio das bases dos triângulos (isto é, o rácio do tamanho da pupila com o tamanho do círculo de desfocagem) irá ser igual ao rácio das alturas dos triângulos (isto é, o rácio das distâncias do plano principal a X e de X à retina).

$$\frac{\text{CD (círculo de desfocagem)}}{5 \text{ mm (tamanho de pupila)}} = \frac{1.71 \text{ mm (X à retina)}}{20.51 \text{ mm (plano principal a X)}}$$

$$\text{CD} = 0.417 \text{ mm}$$

(isto é, o diâmetro do círculo de desfocagem = 0.417 mm)

Assim, o tamanho físico real da imagem desfocada é:

$$0.417 \text{ mm} + 1.67 \text{ mm} = 2.087 \text{ mm}$$

TAMANHO IMAGEM NA AMETROPIA CORRIGIDA

O primeiro objectivo de uma lente oftálmica é o de focar a luz vinda de infinito no ponto remoto de um olho ametrope. Para além de eliminar a desfocagem retiniana, as lentes oftálmicas alteram o tamanho da imagem formada no olho ametrope. O efeito da potência das lentes correctivas no tamanho da imagem retiniana pode ser descrito por dois factores, **magnificação oftálmica** e **magnificação oftálmica relativa**.

A **magnificação oftálmica (MO)** descreve como a lente correctiva afecta o tamanho da imagem não corrigida. É definida como o rácio do tamanho da imagem de um objecto **distante** no **olho ametrope corrigido** com o tamanho da imagem desfocada no **olho ametrope não corrigido**. Isto é,

$$MO = \frac{\text{Tamanho da imagem corrigida}}{\text{Tamanho da imagem não corrigida}}$$

Pode ser demonstrado que a MO também é igual a:

$$MO = \frac{\text{distância entre o PR e a lente oftálmica}}{\text{distância entre o PR e o 1º plano principal}}$$

(PR = Punctum Remotum, isto é, ponto remoto)

A relação acima indica que a MO depende da magnitude do erro refractivo e da posição da lente correctiva. A MO é sempre um número positivo. Para os hipermetropes, uma vez que o ponto remoto está atrás do olho enquanto o plano oftálmico está sempre em frente ao olho, a MO é sempre maior que 1.0 (no entanto ver a secção sobre olhos afáquicos). Para os míopes, quer o ponto remoto e o plano oftálmico estão em frente do olho e uma vez que o ponto remoto está normalmente mais longe do olho que a lente correctiva, a MO será menor que 1.0. Quer para hipermetropes quer para míopes, quanto maior a distância vertex, maior o efeito da lente no tamanho da imagem não corrigida, isto é, mais a MO se afasta de 1.0.

A magnificação oftálmica é designada como magnificação angular (em contraste com a magnificação linear, isto é, $M = h'/h = L/L'$) porque a contribuição da óptica de um olho ametrope para o tamanho da imagem é igual quer no estado corrigido e não corrigido. O rácio das imagens (corrigida/não corrigida) reflecte simplesmente a diferença nos ângulos subtendidos pelos **raios chefe** na superfície refractiva nas condições corrigida e não corrigida.

Nota: Do ponto de vista clínico, a MO é importante porque pode ser usada para prever algumas das alterações na percepção espacial produzidas pelas lentes oftálmicas. Por exemplo, assuma um jovem hipermetrope não corrigido que tem capacidade para compensar o seu erro refractivo. Quando corrigido com óculos, o objecto ao longe irá estar nítido (agora o olho não está acomodado), mas irá ser maior que no estado não corrigido. Em geral, quando um objecto está magnificado, o sistema visual interpreta a alteração do tamanho como uma alteração na posição do objecto. Assim, quando usa os óculos pela primeira vez os objectos irão ser percebidos como mais próximos que quando no estado não corrigido.

Magnificação Oftálmica Relativa (MOR) descreve como o tamanho imagem no olho ametropo corrigido é comparável como o tamanho **no olho emetropo médio**. É definido como o rácio dos tamanhos das imagens retinianas produzidas por um objecto de longe no olho ametropo corrigido e no olho emetropo médio, isto é,

$$MOR = \frac{\text{potência equivalente do olho emetrópico}}{\text{potência equivalente do olho ametrópico e lente correctiva}}$$

Nota: Do ponto de vista clínico, a MOR é importante porque o rácio da MOR determinada para o olho direito e esquerdo de um paciente indica os tamanhos relativos das imagens nos dois olhos.

Para qualquer sistema óptico, o tamanho da imagem de um objecto distante irá ser directamente proporcional à distância focal equivalente do sistema óptico. Uma vez que a distância focal de um sistema óptico é o recíproco da potência refractiva equivalente (assumindo que o sistema óptico está no ar), o tamanho imagem é inversamente proporcional **à potência refractiva equivalente**.

Assim:

$$MOR = \frac{+60.00 \text{ D}}{F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - d(F_{\text{olho}}) \cdot (F_{\text{lente}})}$$

A potência equivalente da combinação olho ametrópico-lente pode ser calculada usando a seguinte equação para a potência equivalente da lente do sistema.

$$F_{\text{eq}} = F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - d/n(F_{\text{olho}}) \cdot (F_{\text{lente}})$$

Onde,

F_{eq} = potência equivalente total

F_{olho} = potência do olho ametrópico

F_{lente} = potência da lente correctiva

n = índice de refração entre a lente e o olho (normalmente 1.0)

d = distância em metros (metros) entre o segundo plano principal da lente e o plano principal do olho

Nota: d não é igual à distância ao vértice. Clinicamente a distância ao vértice de uma lente oftálmica é medida do vértice anterior da córnea ao vértice posterior da lente.

Assumindo que o olho reduzido de Emsley é utilizado como o olho emetropo padrão, a relação acima para a MOR torna-se:

$$MOR = \frac{+60.00 \text{ D}}{F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - d(F_{\text{olho}}) \cdot (F_{\text{lente}})}$$

(Lembrar que a potência equivalente do olho emetrópico reduzido de Emsley é de +60.00 D).

Esta relação forma a base da **Lei de Knapp**, historicamente uma das regras clínicas mais importantes.

Lei de Knapp: Para ametropias **axiais**, MOR irá ser igual a 1.0 quando o segundo plano principal da lente correctiva coincidir com o ponto focal anterior do olho (ver Figura 4.10).

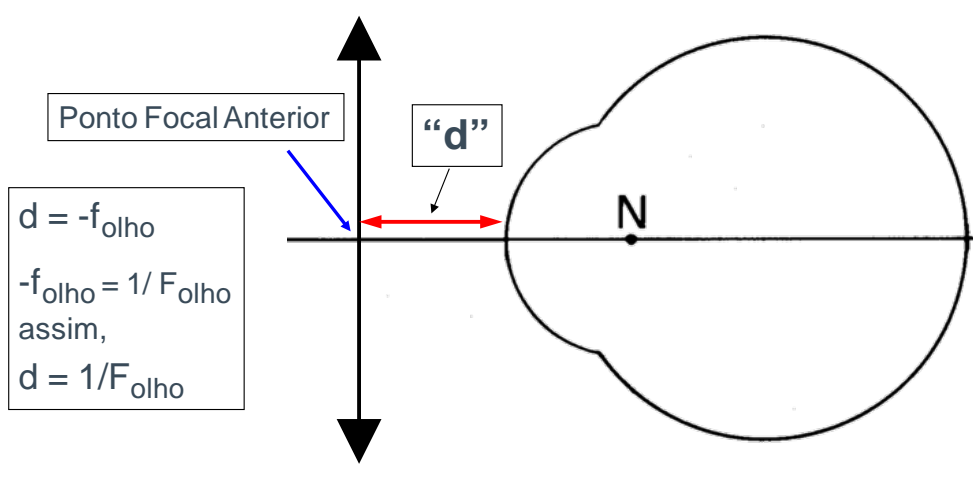


Figura 4.10: A lei de Knapp verifica-se para ametropias axiais, a MOR é igual a 1 quando o segundo plano principal da lente correctiva coincide com o ponto focal anterior do olho.

Considere o que acontece à equação acima para a MOR quando a lente correctiva é colocada no ponto focal anterior do olho. Com a lente correctiva no ponto focal anterior, d é igual à distância focal anterior do olho (f_{olho}).

Uma vez que:

$$f_{\text{olho}} = -1 / F_{\text{olho}} = -d$$

(Nota. d irá ser sempre um valor positivo)

Substituir $1/F_{\text{olho}}$ por d

$$\text{MOR} = \frac{F(\text{olho emetropico, isto é } +60.0 \text{ D})}{F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - d(F_{\text{olho}}) \cdot (F_{\text{lente}})}$$

E simplificando

$$\text{MOR} = \frac{+60.0 \text{ D}}{F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - F_{\text{lente}}}$$

$$\text{MOR} = \frac{+60.0 \text{ D}}{F_{\text{olho}}}$$

$$\text{MOR} = \frac{(\text{potência do olho esquemático})}{(\text{potência do olho ametrópico})}$$

Por outras palavras, quando a lente correctiva é colocada no ponto focal anterior do olho, a potência equivalente da combinação olho-lente é igual à potência do olho ametrópico. Uma vez que a potência refractiva de um olho com ametropia axial é igual à potência de um olho emetropo (isto é, +60 D quando é utilizado do olho reduzido de Emsley):

$$\text{MOR} = \frac{+60.0 \text{ D}}{+60.0 \text{ D}} = 1.0$$

Quando a lente correctiva é colocada no ponto focal anterior de um **ametropia axial**, o tamanho da imagem retiniana nítida no olho ametropia irá ser igual ao tamanho da imagem formada no olho emetropia. Este ponto pode ser ilustrado graficamente. Na Figura 4.1, estão sobrepostos três olhos (um emetropia, um hipermetropia axial e um míope axial). Pelo facto de a potência refractiva de cada um destes três olhos ser igual as distâncias focais anteriores são iguais. Para demonstrar que a MOR=1.0 para um míope e hipermetropia corrigidos no ponto focal anterior, considere os raios das extremidades de um objecto de longe que são direccionados para o ponto focal anterior dos três olhos. Os centros ópticos da lente correctiva para o míope e hipermetropia irá coincidir com os pontos focais anteriores e desta forma os raios direccionados na direcção dos pontos focais anteriores irão passar através dos centros ópticos das lentes sem serem desviados. Os raios irão intersectar os planos principais dos três olhos e podem ser refractados paralelamente ao eixo óptico. Uma vez que as imagens formadas nos três olhos estão todas em foco, a intersecção dos raios através do ponto focal anterior e das respectivas retinas de cada olho irá definir os tamanhos das imagens nítidas. Uma vez que após a refacção os raios que atravessam o ponto focal anterior irão ser paralelos ao eixo óptico, o tamanho da imagem retiniana irá ser independente do comprimento axial.

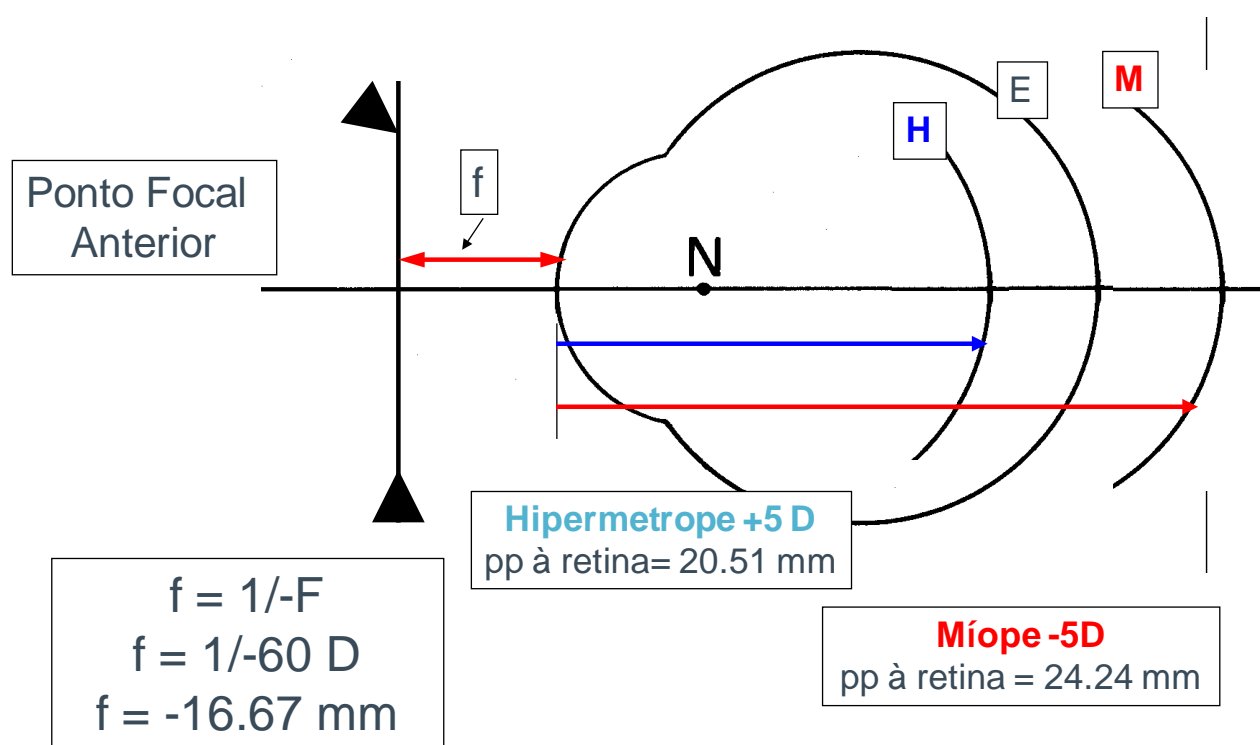


Figura 4.11: Ametropias axiais corrigidas no ponto focal anterior

MO E MOR EM OLHOS AMETROPES CORRIGIDOS

Os seguintes exemplos ilustram:

1. Os efeitos das lentes correctivas no tamanho da imagem retiniana na ametropia axial e refractiva,
2. As diferenças no tamanho imagem em olhos míopes vs hipermetropes corrigidos, e
3. As diferenças no tamanho imagem associadas com a correcção do olho ametrópico no ponto focal anterior (isto é, com lentes de óculos) vs no plano principal do olho (isto é, com lentes de contacto).

Nota. Na maioria dos pacientes o ponto focal anterior irá estar próximo, mas ligeiramente em frente do plano oftálmico (compare a posição do ponto focal anterior do Olho de Gullstrand #1 com um óculo com uma distância ao vértice de 13 ou 14 mm). Deve ser referido que uma vez que os planos principais do olho estão no humor aquoso, na realidade não é possível colocar a lente correctiva no plano principal (assumindo que não está a utilizar uma lente intraocular). Mas o efeito aproximado da lente de contacto pode ser facilmente demonstrado considerando que a correcção está no plano principal do olho reduzido de Emsley.

AMETROPIAS AXIAIS CORRIGIDAS COM ÓCULOS

Assuma um paciente que tem uma refração ocular (ou **refração no plano principal**) de -5.00 D (isto é um míope de 5.00 D) e um segundo paciente hipermetrope tem uma refração ocular de +5.00 D. Assuma que o plano dos óculos com os **pontos focais anteriores** dos olhos ametropes (isto é, assuma que p' da lente correctiva coincide com f dos olhos ametrópicos).

Nota: Lembrar que uma vez que são ametropias axiais, as distâncias focais anteriores dos olhos ametropes são iguais à distância focal anterior do olho emetrope.

$$f = 1/-F$$

$$F = +60.00 \text{ D}$$

Desta forma,

$$f = 1/-60.00 \text{ D}$$

$$f = -16.67 \text{ mm}$$

isto é, o ponto focal anterior está a 16.67 mm em frente do plano principal (a superfície refractiva equivalente).

Podem ser usadas uma série de abordagens para calcular a MO e MOR para estes olhos ametropes. A primeira abordagem que irá ser ilustrada envolve o cálculo dos tamanhos das imagens retinianas formadas nos olhos ametropes corrigidos e não corrigidos e o tamanho da imagem retiniana formada pelo mesmo objecto num olho emetrope. Neste caso é conveniente começar por calcular os tamanhos das imagens retinianas no estado não corrigido. Por conveniência, assuma que o objecto distante em questão subtende um ângulo visual de 0.1 radianos.

Nota: O tamanho do objecto seleccionado não é crítico, isto é, os valores da MO e MOR não são dependentes do tamanho exacto do objecto seleccionado. Seleccionar um objecto que subtende 0.1 rad é conveniente uma vez que simplifica a matemática.

No diagrama da Figura 4.12, são mostrados os raios chefe provenientes de um objecto longínquo para olhos ametropes não corrigidos e para um olho emetrope padrão. De forma a calcular a imagem retiniana destes três olhos, os ângulos subtendidos pelas imagens retinianas nos planos principais devem ser determinados e a distância entre os planos principais e a retina devem ser conhecidos. O ângulo de refração dos raios chefe (isto é, o ângulo

subtendido pelas imagens retinianas na superfície refractiva) pode ser calculado usando a Lei de Snell, tal como simplificado para os raios paraxiais.

$$\begin{aligned} n_i &= n_i' \\ i' &= i/n \\ i' &= 0.1 \text{ rad}/1.333 \\ i' &= 0.075 \text{ rad} \end{aligned}$$

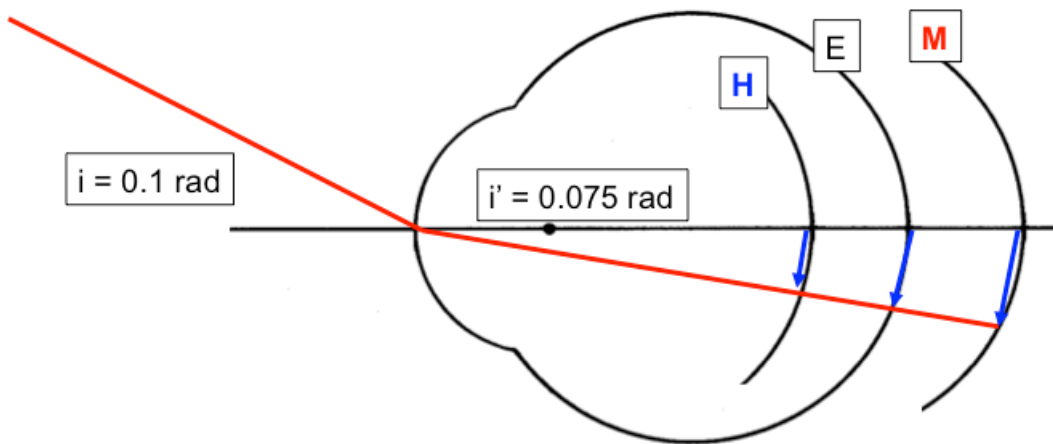


Figura 4.12: O ângulo de refração do raio chefe de um objecto de longe pode ser calculado usando a Lei de Snell para olhos ametrópicos não corrigidos.

A distância entre a superfície de refração e a retina é de 22.22 mm para o olho emetropico reduzido de Emsley. Esta distância pode ser calculada para o olho míope e hipermetrope. Tal como demonstrado anteriormente (páginas 6 e 7), isto envolve o cálculo da vergência da luz no espaço imagem (L') que é necessário para produzir foco nas retinas ametropes e a distância imagem (l') associada com a vergência do espaço imagem. A distância entre as superfícies refractivas e as retinas para um míope axial de 5 D e um hipermetrope axial de 5 D são de 24.24 mm e 20.51 mm, respectivamente.

Os tamanhos das imagens retinianas (ver Figura 4.13) para o olho emetropico e para os olhos ametropes não corrigidos:

Emetropico

$$\begin{aligned} h' &= (0.075 \text{ rad}) \times (22.22 \text{ mm}) \\ h' &= 1.67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hipermetrope axial não corrigido

$$\begin{aligned} h' &= (0.075 \text{ rad}) \times (20.51 \text{ mm}) \\ h' &= 1.54 \text{ mm} \end{aligned}$$

Míope axial não corrigido

$$\begin{aligned} h' &= (0.075 \text{ rad}) \times (24.24 \text{ mm}) \\ h' &= 1.82 \text{ mm} \end{aligned}$$

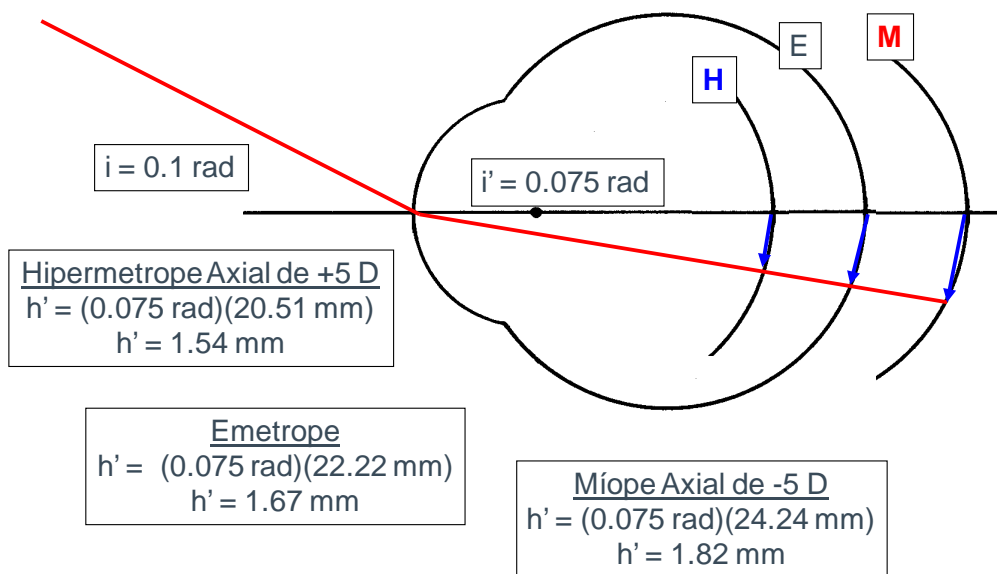


Figura 4.13: O tamanho da imagem pode ser calculado usando a distância entre a superfície refractiva e a retina para olho com ametropia axial.

Quando estes olhos ametropes são corrigidos com óculos colocados no ponto focal anterior, os ângulos de incidência dos raios chefe nos planos principais dos olhos ametropes irão ser alterados pela refração das lentes correctivas (ver Figura 4.14). No caso de um míope, o novo ângulo de incidência para os raios chefe das extremidades do objecto irá ser menor que 0.1 rad. Para o hipermetrope, o ângulo de incidência irá ser maior que 0.1 rad. Nesta situação, os raios mais simples de utilizar para calcular o tamanho da imagem retiniana são os raios que passam pelo ponto focal anterior dos olhos ametrópicos. Se for assumido que a lente correctiva é infinitamente fina e que o centro óptico da lente correctiva coincide com o ponto focal anterior do olho, então os raios de uma objecto distante direccionados para o ponto focal anterior não irão ser desviados na lente correctiva (isto é, $q' = q$). Quando estes raios atingem os planos principais do olho, eles irão ser refraccionados de forma paralela ao eixo óptico e irão intersectar as retinas definindo os tamanhos das imagens retinianas. Uma vez que estes raios são paralelos ao eixo óptico no espaço imagem, a distância entre a intersecção destes raios e o plano principal no eixo óptico (distância designada como X na Figura 4.14) irá ser igual ao tamanho da imagem retiniana. Para determinar a distância X, o ângulo subtendido pelo objecto no ponto focal anterior e a distância focal anterior devem ser conhecidas. Uma vez que o objecto está no infinito óptico, pode ser assumido que o objecto irá subtender o mesmo ângulo no ponto focal anterior como o faz no centro da pupila de entrada (uma vez que o objecto está no infinito óptico e uma vez que a diferença entre as distâncias objecto medidas no ponto focal anterior e o plano principal irão ser pequenas, esta suposição não irá afectar os cálculos). Assim, de forma a calcular o tamanho imagem nos olhos ametrópicos corrigidos, multiplica-se a distância focal anterior pelo ângulo subtendido pelo objecto.

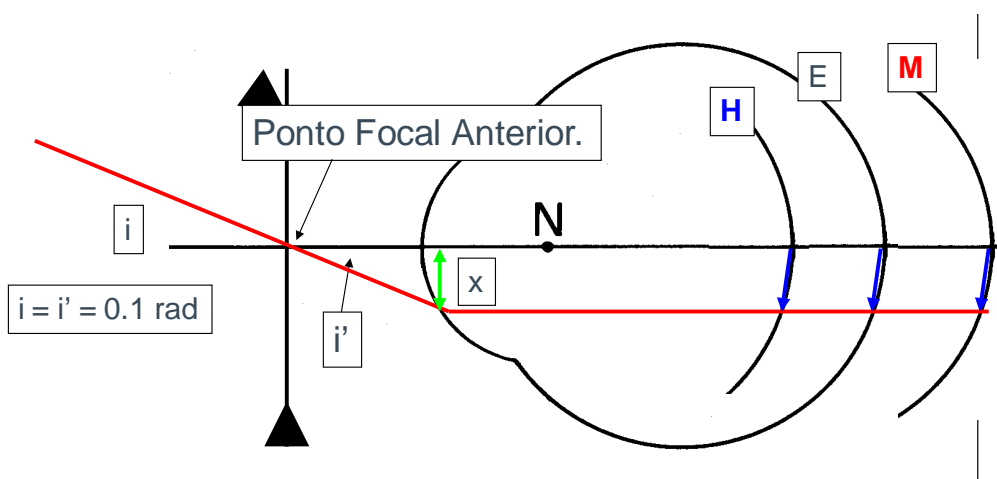


Figura 4.14: De forma a calcular o tamanho da imagem nos olhos ametropes corrigidos, multiplique a distância focal anterior pelo ângulo subtendido pelo objecto.

Hipermetrope (tamanho da imagem corrigida)

$$h' = (16.67 \text{ mm}) \times (0.1 \text{ rad})$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

Assim,

$$MO = \text{tamanho da imagem corrigida} / \text{tamanho da imagem não corrigida}$$

$$MO = 1.67 \text{ mm} / 1.54 \text{ mm} = 1.08$$

Isto é, a imagem corrigida é cerca de 8% maior que o tamanho da imagem não corrigida.

$$MOR = \text{tamanho da imagem corrigida} / \text{tamanho imagem do olho emetrope}$$

$$MOR = 1.67 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm} = 1.0$$

Míope (tamanho da imagem corrigida)

$$h' = (16.67 \text{ mm}) \times (0.1 \text{ rad})$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

Assim,

$$MO = 1.67 \text{ mm} / 1.82 \text{ mm}$$

$$SM = 0.92$$

$$MOR = 1.67 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm}$$

$$MOR = 1.0$$

AMETROPIAS AXIAIS COM LENTES DE CONTACTO

Neste exemplo iremos considerar as duas ametropias axiais usadas na secção anterior (isto é, um míope de 5.0 D e um hipermetrope de 5.0 D) e iremos assumir que as lentes de contacto estão efectivamente adaptadas nos planos principais dos olhos. A figura 4.15 ilustra os efeitos nos tamanhos das imagens retinianas das lentes correctivas no plano principal no olho míope e hipermetrope. Assumindo que os olhos ametropes e as lentes correctivas estão “centradas” (isto é, os centros ópticos das superfícies refractivas caem sobre um eixo comum), então os centros ópticos das lentes correctivas irão coincidir com os vértices da superfície refractiva equivalente do olho (os centros das pupilas de entrada). Como resultado, os raios chefe das extremidades de um objecto irão intersectar os centros ópticos das lentes correctivas e assim não irão ser desviados pela lente correctiva. Claro que estes raios irão ser desviados por refacção (desviados na direcção do eixo óptico) nas superfícies refractivas equivalentes do olho. No entanto, porque as lentes correctivas não desviaram os raios chefe, os seus ângulos de incidência irão ser os mesmos no estado corrigido tal como o são no estado não corrigido. Assim, os ângulos que as imagens subtendem nos planos principais do olho irão ser os mesmos nas condições corrigidas e não corrigidas (estes valores foram calculados previamente na página 17). Uma vez que as imagens das imagens não corrigidas não são alteradas pelas lentes correctivas (as lentes apenas colocaram as imagens em foco), assim,

$$MO = 1.0$$

Para o hipermetrope axial e míope axial.

Tal como indicado pela lei de Knapp, a MOR no ametropes axiais corrigidos com lentes de contacto no plano principal não irá ser igual a 1.0. Em vez disso,

Para o **hipermetrope**,

$$MOR_H = 1.54 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm}$$

$$MOR_H = 0.92$$

Para o **míope**,

$$MOR_M = 1.818 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm}$$

$$MOR_M = 1.089$$

Nota: O tamanho imagem relativamente grande (isto é uma $MOR > 1.0$) que resulta quando os míopes axiais são corrigidos com lentes de contacto é uma razão pela qual indivíduos com este tipo de erro refractivo têm melhor visão (acuidades visuais mais elevadas) com lentes de contacto. Pelo menos com respeito ao tamanho imagem, o oposto é verdadeiro para os hipermetropes axiais.

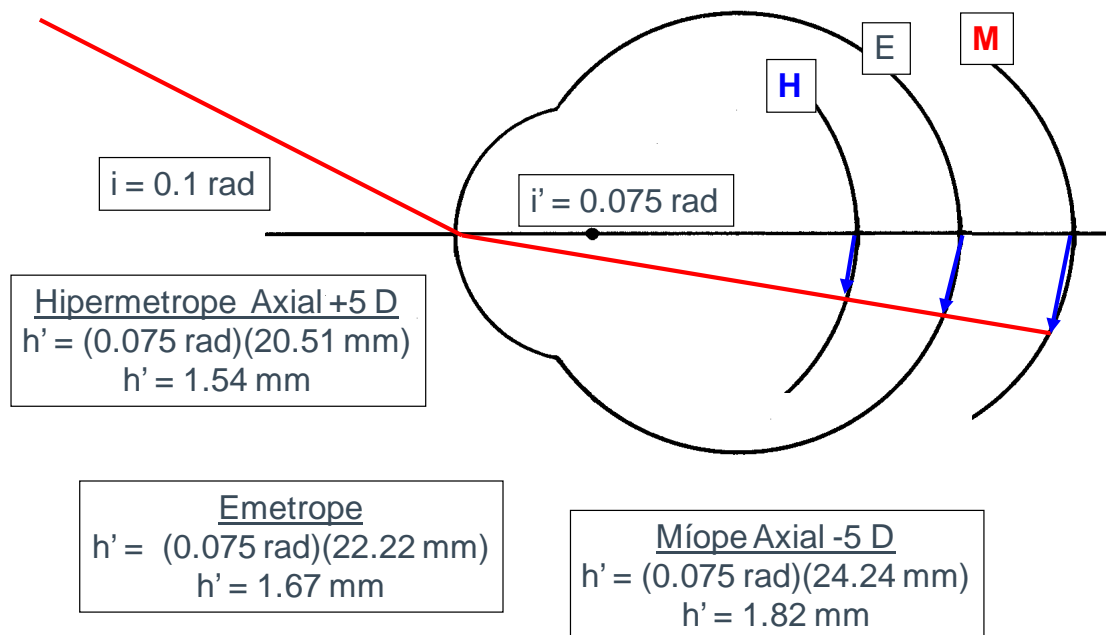


Figura 4.15: Se as lentes correctivas estiverem colocadas no plano principal o tamanho imagem irá ser o mesmo que no olho não corrigido (tal como demonstrado na Figura 4.13)

AMETROPIAS REFRACTIVAS CORRIGIDAS COM ÓCULOS

Assuma que um paciente tem uma miopia refractiva de 5.0 D e que um segundo paciente tem uma hipermetropia refractiva de 5.0 D. Tal como no último exemplo com ametropias axiais, iremos primeiro determinar os tamanhos das imagens desfocadas nos olhos não corrigidos.

A Figura 4.16 demonstra uma característica importante das ametropias refractivas. No estado não corrigido, os raios chefe provenientes de um objecto padrão distante (isto é, um objecto que subtende 0.1 radianos) irão ser refractados na mesma quantidade nos olhos ametropes que no olho emetrope padrão. Como resultado os ângulos subtendidos pelas imagens nos planos principais do olho irão ser os mesmos que no olho emetrope padrão, independentemente da magnitude do erro refractivo. Porque, por definição os comprimentos axiais dos olhos com ametropia refractiva são iguais aos do olho emetrope padrão, as imagens retinianas não corrigidas no olho ametropes irão ser iguais ao tamanho da imagem formado no olho emetrope.

Isto é, para um objecto de 0.1 rad em infinito,

$$h' = (0.075 \text{ rad}) \times (22.22 \text{ mm}) = 1.67 \text{ mm}$$

Uma vez que os tamanhos da imagem não corrigida nos olhos ametropes são iguais aos formados no olho emetrope, independentemente de como os erros refractivos são corrigidos (lentes de contacto ou óculos), a MO irá igualar MOR. Esta propriedade das ametropias refractivas é simplesmente resultado das seguintes relações:

$$MO = \frac{\text{tamanho da imagem corrigida}}{\text{tamanho da imagem não corrigida}}$$

$$MOR = \frac{\text{tamanho da imagem corrigida}}{\text{tamanho da imagem no olho emetrope}}$$

Porque os tamanhos das imagens não corrigidas são idênticos ao tamanho da imagem no olho emetrope, estas relações são obviamente equivalentes.

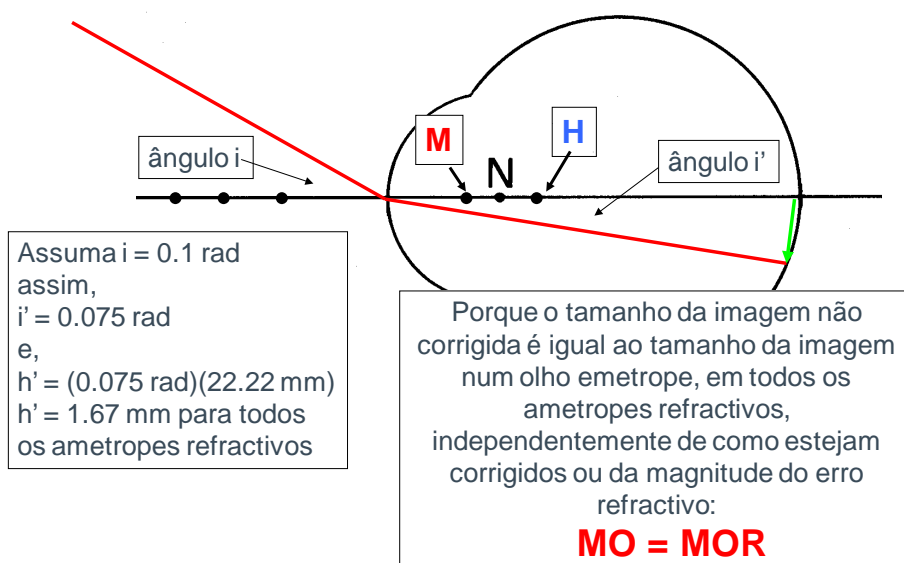


Figura 4.16: Para um dado objecto distante, o ângulo de incidência e o ângulo de refração dos raios chefe irá ser o mesmo para todas as ametropias refractivas.

A Figura 4.17 ilustra os efeitos no tamanho da imagem retiniana ao colocar uma lente correctiva no ponto focal anterior numa ametropia refractiva. Tal como mostrado, as distâncias focais anteriores nas ametropias refractivas não são as mesmas. O sistema óptico de um míope refractivo é caracterizado por ter muita potência refractiva. Neste caso, para um erro refractivo de 5.0 D no plano principal, a potência refractiva equivalente total do olho míope é de +65.0 D. A distância focal anterior para este olho é de $1/65.0$ D (assumindo que o olho está no ar) ou 15.4 mm. O sistema óptico de um hipermetrope de 5.0 D não tem potência suficiente para focar luz paralela do espaço objecto na retina. Uma vez que o olho hipermetrope tem menos potência refractiva que o olho emetrope ou míope, irá ter uma distância focal superior ($1/55.0$ D; 18.8 mm).

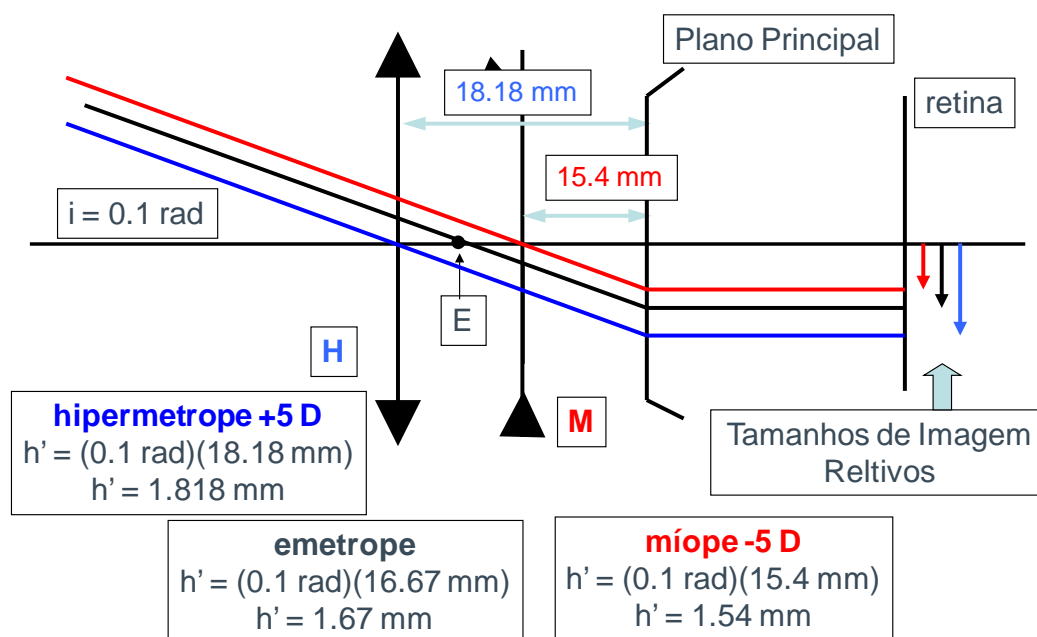


Figura 4.17: As ametropias refractivas no ponto focal anterior e os tamanhos de imagem relativos

Quando estes olhos ametropes são corrigidos com lentes de óculos colocados no ponto focal anterior, os tamanhos das imagens retinianas são directamente proporcionais às distâncias focais respectivas dos olhos. Este ponto é ilustrado considerando os raios através dos pontos focais anteriores destes dois olhos. Uma vez que os centros ópticos das lentes correctivas são coincidentes com os pontos focais anteriores, estes raios não irão ser desviados pelas lentes correctivas. Quando estes raios atingem as superfícies refractivas equivalentes, eles irão ser refractados de forma paralela ao eixo óptico e as suas intersecções com as retinas irão definir as imagens focadas. É óbvio pela geometria da situação que o raio que passa pelo ponto focal anterior do olho hipermetrope irá intersectar o plano principal do olho antes das intersecções dos raios correspondentes dos olhos emetrope e míope. O tamanho imagem pode ser calculado determinando a distância entre o eixo óptico (o raio da parte inferior do objecto) e a intersecção dos raios das extremidades do objecto na superfície refractiva do olho.

Para o **hipermetrope**,

$$h' = (0.1 \text{ rad}) \times (18.18 \text{ mm})$$

$$h' = 1.818 \text{ mm}$$

Para o **míope**,

$$h' = (0.1 \text{ rad}) \times (15.4 \text{ mm})$$

$$h' = 1.54 \text{ mm}$$

Para o **emetrope**,

$$h' = (0.1 \text{ rad}) \times (16.67 \text{ mm})$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

A magnificação oftálmica e relativa pode ser determinada calculando os rácios de imagem apropriados. Assim,

Para o **hipermetrope**,

$$MO_H = MOR_H = 1.818 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm} = 1.089$$

Para o **míope**,

$$MO_M = MOR_M = 1.54 \text{ mm} / 1.67 \text{ mm} = 0.92$$

Uma avaliação das MOR para as ametropias refractivas mostra que os hipermetropes refractivos corrigidos com óculos irão beneficiar de uma tamanho imagem maior dado por esta estratégia de correcção.

AMETROPIAS REFRACTIVAS CORRIGIDAS COM LENTES DE CONTACTO

Com ametropias refractivas, à medida que a lente correctiva é movida na direcção do plano principal do olho, a MO e MOR aproxima-se de 1. Como ilustrado na Figura 4.18, quando a lente correctiva é posicionada no plano principal a $MO=MOR=1.0$. Como discutido acima, quando o centro óptico da lente correctiva coincide com o centro da pupila de entrada do olho esquemático (isto é, o vértice da superfície refractiva), a lente correctiva não altera a trajectória do raio chefe. Assim, o ângulo que a imagem retiniana forma na superfície refractiva não é afectado pela presença da lente correctiva. A este respeito, a lente correctiva apenas melhor a imagem em foco. Porque as ametropias refractivas têm o mesmo comprimento axial que os olhos emetropes, o tamanho das imagens em foco na ametropia refractiva irão ser iguais ao tamanho imagem produzido no olho emetrope padrão.

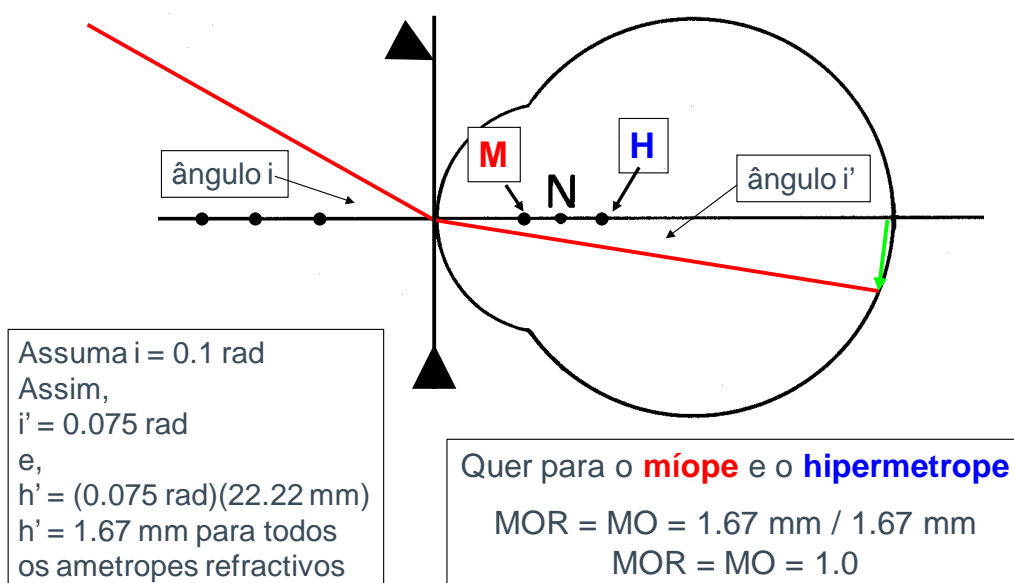


Figura 4.18: Com ametropias refractivas, quando a lente correctiva é posicionada no plano principal, $MO = MOR = 1.0$

COROLÁRIOS CLÍNICOS DA LEI DE KNAPP

1. Se um paciente tem uma anisometropia que é devido à diferença de comprimento axial entre os dois olhos (isto é, uma anisometropia axial), o paciente deve ser corrigido com lentes de óculos para reduzir a quantidade de aniseiconia ao mínimo.
2. Se um paciente tem uma anisometropia que é devido à diferença de potências refractivas dos dois olhos (isto é, uma anisometropia refractiva), o paciente deve ser adaptado com lentes de contacto para reduzir a quantidade de aniseiconia ao mínimo.

REGRA CLINICA

Se a Lei de Knapp for violada e um individuo com uma anisometropia axial for corrigido com lentes de contacto, a estratégia correctiva irá resultar numa diferença de cerca 2% do tamanho da imagem retiniana entre os olhos direito e esquerdo por cada 1 dioptria de anisometropia. Se uma anisometrope refractivo é corrigido com óculos, o procedimento refractivo irá resultar em cerca de 1.5% de diferença de tamanho de imagem entre os olhos, por cada dioptria de anisometropia.

Nota: É muito importante reconhecer que estes corolários clínicos são baseados na suposição que o tamanho da imagem percebida é uma função simples do tamanho físico da imagem retiniana. No entanto, experiências recentes sugerem que alterações na densidade dos receptores retinianos podem compensar as diferenças no tamanho físico da imagem retiniana em indivíduos que têm anisometropia axial. É aparente que à medida que o olho se torna maior, o mosaico retiniano dos elementos neuronais estica. Como resultado, em anisometropias axiais, as diferenças do comprimentos axial interoculares podem produzir tamanhos de imagem fisicamente diferentes, mas o mesmo numero (ou proporção) de receptores neuronais pode estar estimulado em cada olho. Se esta ideia estiver correcta, então a melhor estratégia para evitar aniseiconia é corrigir os anisometropes com lentes de contacto independentemente de se as diferenças interoculares no erro refractivo são de natureza axial ou refractiva.

TAMANHO DA IMAGEM RETINIANA EM VÁRIAS CONDIÇÕES

A LENTE NÃO ESTÁ NO PONTO FOCAL ANTERIOR

Na secção acima, a imagem retiniana e os valores de MO e MOR foram calculados para posições de lentes correctivas que eram convenientes, mas não necessariamente práticas. Por exemplo, num olho ametrópico normal, não é possível colocar a lente correctiva no plano principal do olho. De igual forma, o ponto focal anterior está para além da distância ao vértice comum para uma correcção com óculos. Nesta secção, iremos examinar os procedimentos para o cálculo do tamanho da imagem para uma distância vértice mais comum.

EFFECTIVIDADE DAS LENTES CORRECTIVAS

Para um dado olho ametrope (isto é, para um dado plano principal de refração), o erro refractivo pode ser corrigido por um conjunto de lentes de potências diferentes colocadas a distâncias ao vértice diferentes. Em muitos pacientes irá querer colocar a posição do vértice posterior da lente correctiva a uma distância diferente de onde o foróptero foi posicionado durante o exame. Deve ser capaz de determinar a potência efectiva apropriada necessária para corrigir o olho com respeito a uma distância ao vértice específica. É útil ter um conhecimento prático sobre a efectividade das lentes correctivas no cálculo da imagem retiniana quando a lente correctiva não está numa posição ocular conveniente (isto é, no plano principal etc).

Nota: Em ambientes clínicos, a **potência ao vértice posterior** é usada para expressar a potência refractiva de uma dada lente (isto é, os valores da potência mostrados no foróptero são as “potências ao vértice posterior”). A distância vértice é especificada com respeito ao vértice posterior da lente correctiva. Especialmente, a distância vértice é definida como a distância entre o ponto visual da lente (a intersecção do eixo visual da lente com a superfície posterior da lente) e a córnea.

Normalmente os livros fornecem a seguinte fórmula para o cálculo da potência efectiva apropriada para uma lente de óculo.

$$F_{ef} = \frac{K}{1+d(K)}$$

Onde,

F_{ef} = potência refractiva necessária

K = é o plano principal de refração

d = distância ao vértice desejada (em metros)

A seguinte equação é normalmente fornecida para calcular a alteração na potência que é necessária para compensar uma determinada alteração na distância ao vértice de uma lente correctiva.

$$F_{novo} = \frac{F_{antigo}}{1-(d_1-d_2)F_{antigo}}$$

Onde,

F_{novo} = a potência efectiva necessária

F_{antigo} = a potência à distância ao vértice antiga

d_1 = distância ao vértice antiga

d_2 = distância ao vértice nova

Para a maioria das correcções ametropes, os efeitos da alteração da distância vértice da lente correctiva são relativamente pequenos e não são clinicamente significativos. No entanto, para níveis mais elevados de ametropia (exemplo: maior que cerca 7.00 D), alterações pequenas na distância ao vértice podem produzir alterações clinicamente significativas na potência efectiva. Por exemplo, considere as alterações na potência efectiva necessária para corrigir de forma apropriada o olho hipermetrope ilustrado na Figura 4.19. Assuma que efectua um exame ao paciente com o foróptero posicionado a uma distância de 15 mm ao vértice e determina que o paciente tem um erro refractivo de +10.00 D. Mas para reduzir a quantidade de magnificação decide corrigir o paciente a uma distância vertex de 10 mm. Qual é a potência da lente necessária para uma distância ao vértice de 10 mm?

$$F_{novo} = \frac{+10.00 \text{ D}}{1-(0.015 \text{ m}-0.01 \text{ m})10.0 \text{ D}}$$

$$F_{novo} = +10.53 \text{ D}$$

Isto é, quando a lente correctiva está posicionada a uma distância ao vértice de 10 mm, a potência ao vértice posterior deve ser incrementada 0.53 D para produzir o efeito desejado.

Alteração na potência necessária para compensar uma alteração na distância ao vértice.

$$F_{\text{nova}} = \frac{F(\text{antigo})}{1 - (d_1 - d_2)F_{\text{antigo}}}$$

onde

F_{nova} = potência necessária

F_{antiga} = potência ao vértice antigo

d_1 = Vértice antigo

d_2 = nova distância ao vértice

$F_{\text{Antigo}} = +10 \text{ D}$ a 15 mm de distância vértice.
 Qual é a potência necessária para uma distância ao vértice de 10 mm?
 $F_{\text{nova}} = 10 \text{ D} / [1 - 0.015 \text{ m} - 0.01 \text{ m}](10 \text{ D})]$
 $F_{\text{nova}} = +10.53 \text{ D}$

Figura 4.19: Alteração na potência necessária para compensar a alteração na distância ao vértice num hipermetrope de +10.0 D

Este exemplo e as equações acima indicam que quando a distância ao vértice de uma lente correctiva para um hipermetrope é diminuída, a potência da lente deve ser aumentada para corrigir de forma apropriada o erro refractivo do paciente. Para os miópes, a potência da lente correctiva deve ser diminuída se a distância ao vértice é diminuída.

Pela minha experiência, é comum trocar d_1 e d_2 na equação acima e isto cria um erro ao determinar a potência apropriada da lente correctiva. O meu conselho é o de que não memorize as fórmulas acima, mas em vez lembre-se qual o objectivo de qualquer lente correctiva. Se perceber o objectivo da lente correctiva e a definição de ponto remoto do olho, é fácil determinar a potência necessária para qualquer distância ao vértice.

Ponto remoto: Por definição, o ponto remoto é o ponto no espaço que é conjugado com a retina quando o olho está no estado não acomodado.

Objectivo das lentes correctivas: O objectivo de qualquer lente correctiva é o de focar a luz de um objecto infinitamente distante no ponto remoto do olho (isto é, formar uma imagem do objecto de longe no ponto remoto do olho).

Conhecer os requisitos para uma lente correctiva adequada, a distância focal da lente correctiva deve ser igual à distância entre o ponto remoto do olho e o plano dos óculos desejado. O inverso desta distância é igual à distância apropriada da potência da lente.

CÁLCULOS DO TAMANHO IMAGEM

Assuma que o paciente é um míope axial de -5.00 D (refracção no plano principal) que será corrigido com óculos colocados a 10 mm em frente do plano principal (ver Figura 4.20). Assuma que o paciente está a ver um objecto ao longe que subtende um ângulo de 0.1 radianos na superfície refractiva do olho não corrigido. Calcule o tamanho da imagem retiniana no estado corrigido.

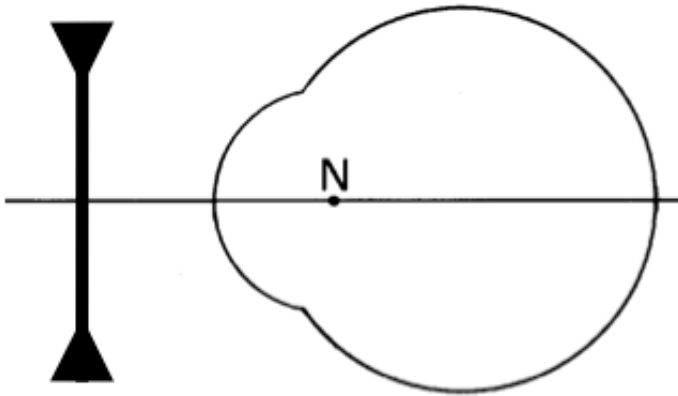


Figura 4.20: Assuma que o paciente é um míope axial de -5.00 D (refracção no plano principal) que será corrigido com óculos colocados a 10 mm em frente do plano principal.

ABORDAGEM GEOMÉTRICA

Com esta abordagem, será calculado o tamanho da imagem do objecto de longe formado no ponto remoto do olho. Esta imagem irá ser tratada como o objecto que gera a imagem retiniana. Ao calcular o tamanho deste novo "objecto" (isto é, a imagem do objecto de longe formado no ponto remoto do olho através da refracção da lente de correcção), o ângulo de incidência do raio chefe pode ser calculado (no plano principal do olho seguido de refracção pela lente correctiva). Uma versão simplificada da lei de Snell pode ser usada para calcular o ângulo que a imagem retiniana forma na superfície refractiva do olho. Assim, se a distância entre a superfície refractiva e a retina for conhecida, a imagem retiniana pode ser calculada directamente.

Primeiro, calcule a distância entre a superfície refractiva do olho e a retina.

$$l' = n'/L'$$

$$l' = 1.3333 / +55.0 \text{ D}$$

$$l' = 24.24 \text{ mm}$$

Segundo, calcule o tamanho da imagem formada no ponto remoto do olho. Sabe que a imagem irá ser formada no ponto remoto do olho (neste caso a 20 cm em frente do olho, isto é, o paciente é um míope de 5.00 D) e a distância entre a lente correctiva e o ponto remoto é 19 cm (20 cm menos 1 cm da distância ao vértice). Para determinar o tamanho imagem, considere simplesmente o raio que provem da parte superior do objecto de longe que passa através do centro óptico da lente correctiva. Não irá sofrer desvio e irá formar a parte superior do objecto virtual no ponto remoto do olho (assume-se que a parte inferior do objecto coincide com o eixo óptico). Uma vez que sabe que a imagem é formada no plano do ponto remoto, apenas terá que considerar um raio. Uma vez que o ângulo de incidência do raio que passa pelo centro óptico da lente é 0.1 rad e não é desviado pela refracção, a imagem formada no plano do ponto remoto irá também subtender um ângulo de 0.1 rad no centro óptico da lente correctiva. Assim, o tamanho da imagem formada no plano do ponto remoto pode ser calculada facilmente.

$$h' = (0.1 \text{ rad}) \times (19.0 \text{ cm})$$

$$h' = 1.9 \text{ cm}$$

A imagem no plano do ponto remoto actua como o objecto para o olho. Neste caso, o ângulo subtendido por este objecto virtual no centro da pupila de entrada do olho pode ser calculado e o tamanho da imagem retiniana resultante determinada usando os raios chefe. O ângulo subtendido pelo objecto virtual,

$$\text{ângulo} = 1.9 \text{ cm} / 20 \text{ cm} = 0.095 \text{ rad}$$

isto é, a lente negativa reduz o ângulo de incidência dos raios chefe das extremidades de um objecto (de 0.1 rad para 0.095 rad).

O ângulo que a imagem retiniana forma no plano principal forma no plano principal do olho pode ser determinado calculando o ângulo de refacção do raio chefe usando a versão simplificada da Lei de Snell.

$$i' = i/n$$

$$i' = 0.095 \text{ rad} / 1.333$$

$$i' = 0.07125 \text{ rad}$$

O tamanho da imagem retiniana pode ser calculado multiplicando i' pela distância entre a superfície refractiva do olho e a retina.

$$h' = (0.07125 \text{ rad}) \times (24.24 \text{ mm}) = 1.73 \text{ mm}$$

Os efeitos das lentes correctivas no tamanho da imagem retiniana podem ser sumarizados através do cálculo da MO e MOR.

$$MO = \frac{1.73 \text{ mm (tamanho da imagem corrigida)}}{1.818 \text{ mm (tamanho da imagem não corrigida)}}$$

$$MO = 0.95$$

Isto é, a lente correctiva diminui o tamanho da imagem retiniana não corrigida.

$$MOR = \frac{1.73 \text{ mm (tamanho da imagem corrigida)}}{1.67 \text{ mm (tamanho imagem no emetrope)}}$$

$$MOR = 1.036$$

Isto é, embora a lente correctiva provoque uma redução no tamanho da imagem retiniana não corrigida, a imagem nítida resultante é ainda maior (cerca de 3.6%) que a imagem retiniana formada no olho emetrope padrão (ver Figura 4.21).

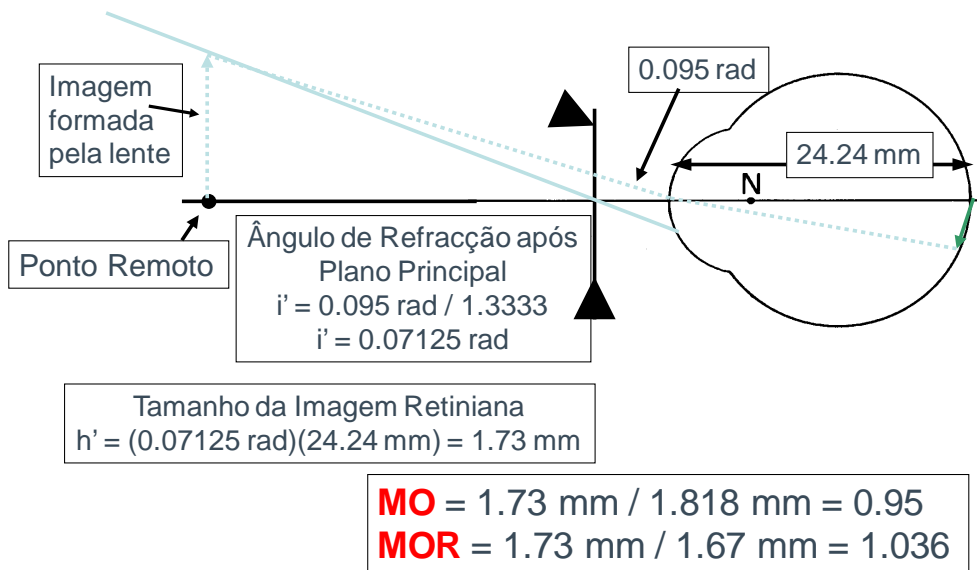


Figura 4.21: A abordagem geométrica do cálculo do tamanho da imagem retiniana

ABORDAGEM DA MAGNIFICAÇÃO LINEAR

Uma vez determinado tamanho da imagem formada pela lente correctiva no plano do ponto remoto do olho, o tamanho da imagem retiniana pode ser calculado usando fórmulas padrão para magnificação linear. Isto é, no entanto, importante para perceber que esta abordagem pode ser apenas usada quando a imagem retiniana está em foco (ver Figura 4.22).

O primeiro passo para esta abordagem consiste em calcular a magnitude da magnificação linear.

$$M = h' / h = L / L'$$

Isto é, magnificação, o rácio do tamanho imagem (h') pelo tamanho objecto (h), é igual ao rácio da vergência da luz no espaço objecto e espaço imagem.

Vergência objecto (L)

(Determinada em relação ao plano principal do olho)

$$L = 1 / -0.2 \text{ m} = -5.0 \text{ D}$$

Vergência imagem (L')

$$L' = L + F = -5.0 \text{ D} + 60.0 \text{ D} = +55.0 \text{ D}$$

Magnificação (M)

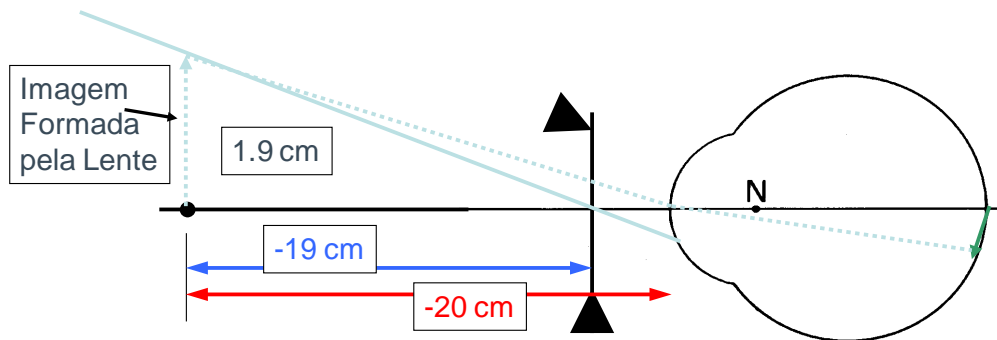
$$M = -5.00 \text{ D} / +55.0 \text{ D}$$

$$M = -0.09091$$

(Lembre-se que o sinal negativo indica que a imagem está invertida)

O tamanho da imagem retiniana (h')

$$\begin{aligned} h' &= h(M) \\ h' &= 1.9 \text{ cm} (-0.09091) \\ h' &= -1.73 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Mag} &= h' / h = L / L' \\ L &= \text{Vergência Objecto} = 1 / -0.2 \text{ m} = -5 \text{ D} \\ L' &= L + F = -5 \text{ D} + 60 \text{ D} = +55 \text{ D} \\ M &= -5 \text{ D} / +55 \text{ D} = -0.09091 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tamanho Imagem} \\ h' &= (h)(\text{Mag}) \\ h' &= (1.9 \text{ cm})(-0.09091) \\ h' &= -1.73 \text{ mm} \end{aligned}$$

Figura 4.22: A abordagem da magnificação linear para o cálculo do tamanho da imagem retiniana

ABORDAGEM DA MAGNIFICAÇÃO OPTÁLMICA

Uma técnica relativamente directa para determinar o tamanho da imagem retiniana envolve primeiro calcular a MO e o tamanho da imagem retiniana não corrigida (ver Figura 4.23). A relação seguinte pode ser normalmente empregue para determinar a MO:

$$MO = \frac{\text{distância entre o plano dos óculos e o ponto remoto}}{\text{distância entre o plano principal e ponto remoto}}$$

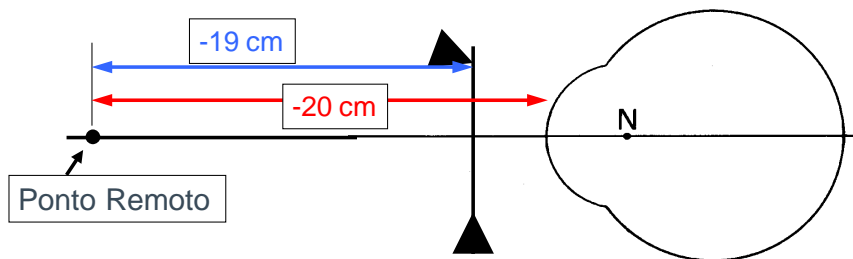
Para este exemplo,

$$\begin{aligned} MO &= -19 \text{ cm} / -20 \text{ cm} \\ MO &= 0.95 \end{aligned}$$

O tamanho da imagem retiniana não corrigida (1.818 mm) foi calculado acima. O tamanho da imagem corrigida pode ser determinado multiplicando o tamanho da imagem não corrigida pela MO.

$$MO = \frac{h'_c (\text{imagem corrigida})}{h'_{un} (\text{imagem não corrigida})}$$

$$\begin{aligned} h'_c &= MO (h'_{un}) \\ h'_c &= (0.95) \times (1.818 \text{ mm}) = 1.73 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$MO = \frac{\text{distância entre o plano dos óculos e ponto remoto}}{\text{distância entre ponto principal e ponto remoto}}$$

$$SM = -19 \text{ cm} / -20 \text{ cm} = 0.95$$

$$MO = h'(\text{corrigida}) / h'(\text{não corrigida})$$

$$h'(\text{corrigida}) = (0.95)(1.818 \text{ mm}) = 1.73 \text{ mm}$$

Figura 4.23: Abordagem da magnificação oftálmica para o cálculo do tamanho da imagem retiniana

ABORDAGEM DA POTÊNCIA EQUIVALENTE

O tamanho da imagem retiniana corrigida pode ser determinado calculando a MOR a partir das potências equivalentes do olho emetropico e da combinação olho com ametropia-lente (ver Figura 4.24). Assim a imagem retiniana corrigida pode ser determinada multiplicando o tamanho da imagem no olho emetrope pela MOR. A seguinte relação pode ser usada para determinar a MOR:

$$MOR = \frac{F_{em} \text{ (isto é, potência do olho emetrope)}}{F_e + F_l - dF_e F_l \text{ (isto é, potência do olho+lente)}}$$

Nota: Para usar esta relação deve conhecer a potência efectiva da lente correctiva – não apenas a refração ocular.

Potência efectiva da lente correctiva (1 cm de distância ao vértice),

$$F_l = 1 / -0.19 \text{ m}$$

$$F_l = -5.26 \text{ D}$$

(Lembre-se que a distância focal da lente correctiva deve ser igual à distância entre o plano dos óculos e o ponto remoto do olho)

Por definição, a potência refractiva numa ametropia axial é:

$$F_e = +60.00 \text{ D}$$

Magnificação oftálmica relativa,

$$MOR = \frac{+60.0 \text{ D}}{60.0 \text{ D} - 5.26 \text{ D} - 0.01(60.0 \text{ D})(-5.26 \text{ D})}$$

$$MOR = \frac{+60.0 \text{ D}}{+57.898 \text{ D}}$$

Tamanho da imagem retiniana,

$$h'_{\text{olho corrigido}} = \text{RSM (olho emetrope)}$$

$$h'_c = (1.036) \times (1.67 \text{ mm})$$

$$h'_c = 1.73 \text{ mm}$$

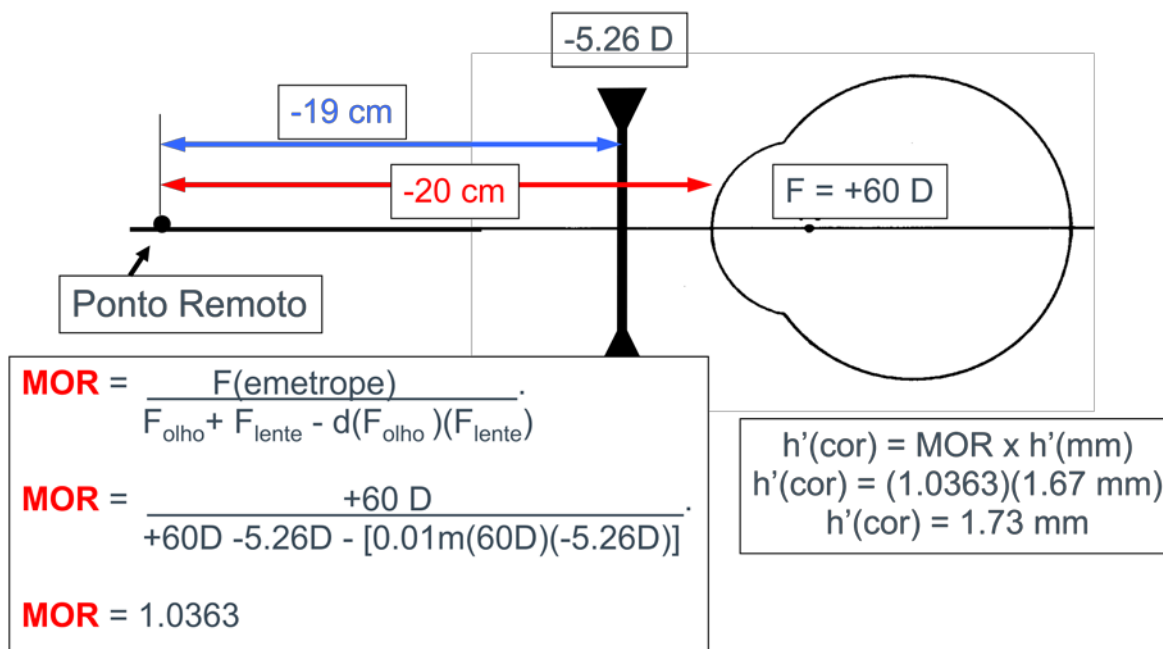


Figura 4.24: Cálculo do tamanho da imagem retiniana usando a abordagem da potência equivalente