



# ACOMODAÇÃO

## 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:

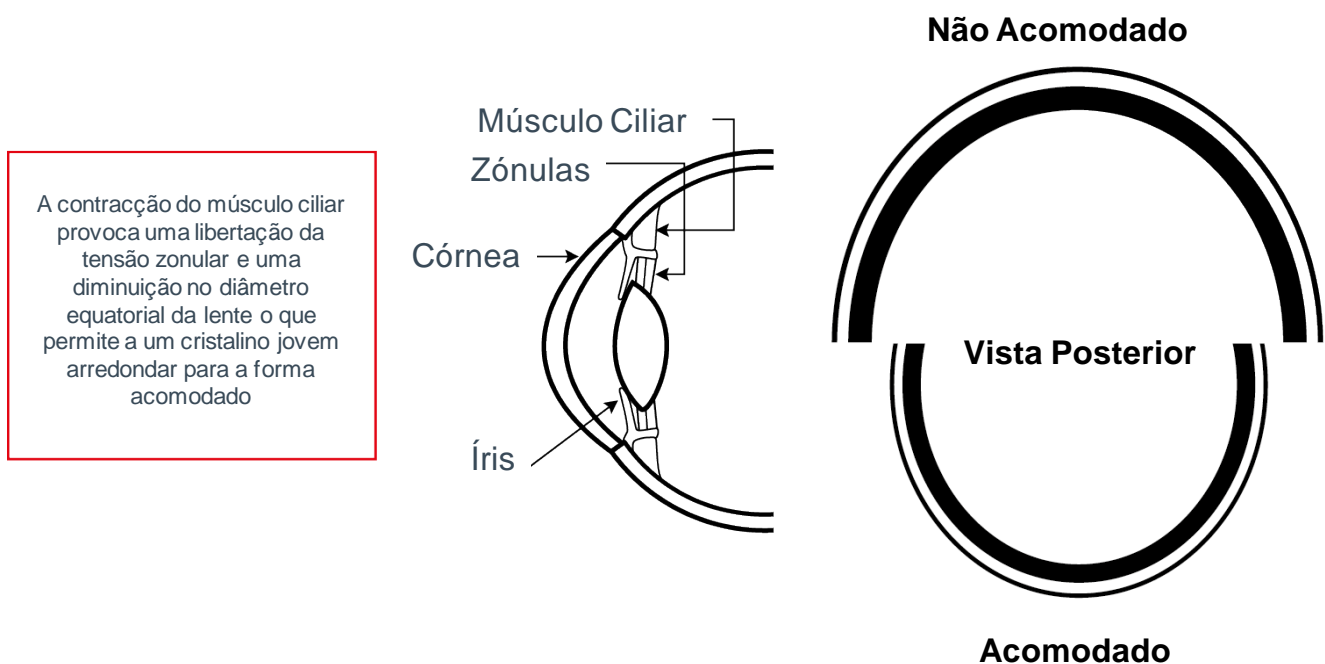
- Mecanismo da Acomodação
- Alterações lenticulares e ópticas na acomodação
- Acomodação oftálmica versus ocular
- Efeitos da acomodação no tamanho da imagem retiniana

**Acomodação** é o processo pelo qual a potência dióptrica do olho é alterada para trazer objectos posicionados a diferentes distâncias em foco. O aumento na potência refractiva total do olho associado ao foco de um objecto de longe (exemplo, no ponto remoto do olho) para um objecto próximo é designado acomodação positiva. O termo acomodação negativa refere-se à diminuição da potência associada com o foco de um objecto de perto para um objecto distante.

## MECANISMO DA ACOMODAÇÃO

O cristalino num indivíduo jovem consiste em material celular mole e facilmente moldável inserido dentro de uma capsula elástica. A forma do cristalino é determinada inicialmente por forças de contração da capsula elástica, a qual se não tiver oposição, tende a moldar o cristalino numa forma mais esférica. No olho, as forças elásticas da capsula são contrariadas por forças de tracção das fibras zonulares (isto é, a Zónula de Zinn). O grau de tensão exercida no cristalino é determinado pelo estado de contração do músculo ciliar.

Quando o olho está no estado não acomodado (isto é, quando o ponto remoto está conjugado com a retina), o músculo ciliar está no seu estado relaxado, não contraído e o músculo dispõe-se horizontalmente contra a superfície interna da esclera. Neste estado não contraído, as fibras zonulares exercem uma força que puxa a parte equatorial da capsula do cristalino. Esta força é contrária à força de contração da capsula do cristalino, e assim, mantém o cristalino numa forma física relativamente plana. Durante a acomodação positiva, o músculo ciliar contrai. A acção do músculo ciliar faz com que o corpo ciliar se mova ligeiramente para a frente e para dentro na direcção do cristalino (ver Figura 6.1). Ambos os movimentos levam as ligações das fibras zonulares na direcção do cristalino e consequentemente, reduzem a tensão que a zónula exerce sobre a capsula do cristalino. A capsula elástica do cristalino pode então contrair e aumentar a convexidade do cristalino. A redução dos raios de curvatura das superfícies do cristalino resulta numa aumento na potência refractiva positiva.

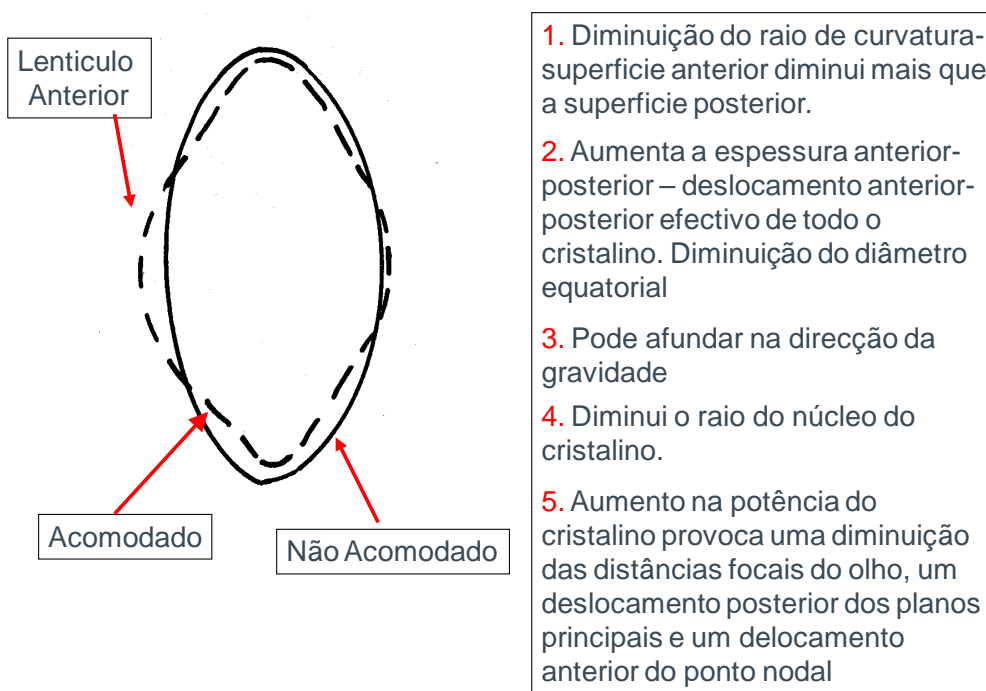


**Figura 6.1:** Mecanismo de Acomodação

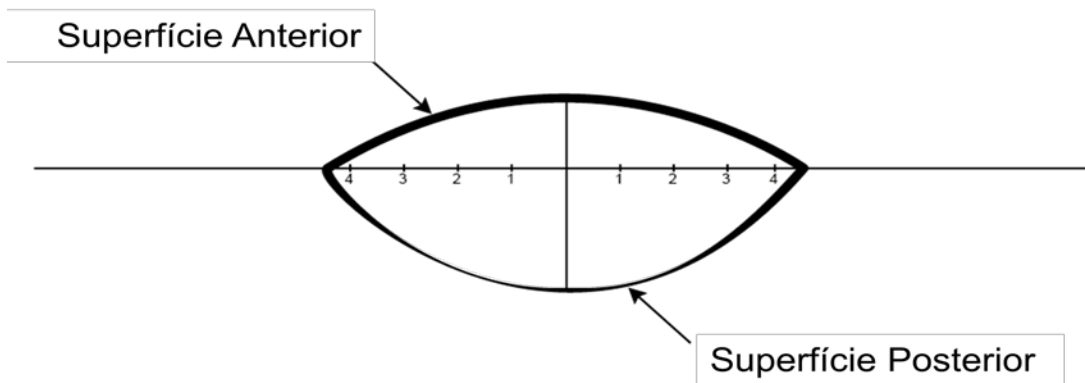
## ALTERAÇÕES LENTICULARES E ÓPTICAS NA ACOMODAÇÃO

Quando o olho acomoda de longe para perto, podem ser observadas as seguintes alterações no cristalino:

1. Os raios de curvatura das superfícies anterior e posterior do cristalino diminuem. No entanto, as alterações na curvatura da superfície anterior são muito maiores do que aquelas que ocorrem na superfície posterior do cristalino (lembre-se que durante a acomodação o tamanho da terceira imagem de Purkinje altera-se muito mais que a quarta imagem de Purkinje). Para além disto, as alterações que ocorrem na curvatura, particularmente na superfície anterior, não são uniformes, isto é, não esféricas. Em vez disso, como ilustrado na Figura 6.2, a porção central da superfície anterior do cristalino aumenta a curvatura para um nível muito maior que as partes mais periféricas do cristalino (isto é, existe um maior aumento na potência refractiva positiva na zona central, pupilar do cristalino). Este abaulamento da parte central do cristalino é muitas vezes referido como **lenticulo fisiológico anterior**. As alterações assimétricas na superfície do cristalino estão associadas principalmente a variações na espessura da capsula do cristalino. A capsula periférica é mais espessa que a capsula central (ver Figura 6.3). Sabe-se que durante a acomodação, o “anel” mais espesso da capsula rodeia a parte central mais fina e exerce uma força de contracção superior para dentro no cristalino. Como resultado, a parte central mais frágil permite que o cristalino se abaula para a frente de forma pronunciada no polo anterior.
  2. O cristalino fica mais espesso na dimensão antero-posterior, mas o seu diâmetro equatorial diminui. Assim a posição da superfície posterior do cristalino não se altera durante a acomodação, o aumento na espessura causa um deslocamento anterior efectivo do cristalino para mais perto da córnea (isto é, existe uma diminuição na profundidade da câmara anterior).
- (Nota: Movendo duas lentes positivas mais perto uma da outra aumenta a sua potência equivalente total. Assim, este deslocamento anterior efectivo irá resultar num pequeno aumento na potência refractiva do olho).
3. Se o grau de acomodação for suficientemente grande (isto é, se existir diminuição suficiente da tensão exercida pela zónula), o cristalino irá cair na direcção da gravidade.
  4. Os raios de curvatura efectivos do núcleo do cristalino também diminuem. Durante a acomodação, as alterações na curvatura das superfícies exteriores por si só não são suficientes para justificar o aumento total na potência efectiva de todo o cristalino. Um aumento adicional na potência produzido por alterações na curvatura das zonas internas do cristalino que têm maiores índices de refacção que o córtex do cristalino.
  5. O aumento na potência do cristalino produzido pela acomodação é reflectido pela diminuição das distâncias focais do olho, um deslocamento posterior dos planos principais do olho, e um deslocamento anterior dos pontos nodais.



**Figura 6.2:** Sumário das alterações do cristalino durante a acomodação



**Figura 6.3:** Variações na espessura do cristalino com a espessura

## ACOMODAÇÃO OFTÁLMICA VERSUS OCULAR

A amplitude de acomodação de um indivíduo ou a quantidade de acomodação que um indivíduo deve exercer para focar um plano particular no espaço (isto é, a demanda acomodativa) é normalmente especificado numa de duas formas.

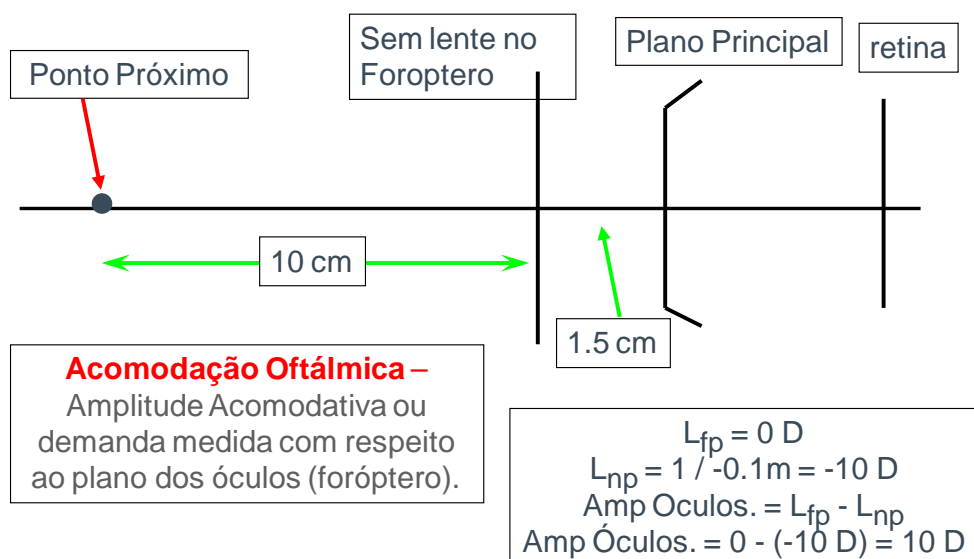
1. **Acomodação ocular** refere-se às alterações na potência dióptrica do olho medidas ou especificadas com respeito ao plano principal do olho (por vezes a acomodação ocular é referida como plano de acomodação principal). A acomodação ocular reflecte o verdadeiro esforço acomodativo (isto é, a verdadeira alteração de potência) que um olho deve exercer de forma a focar um objecto próximo.
2. **Acomodação oftálmica** indica a demanda acomodativa ou as alterações necessárias na potência do olho medidas relativamente ao plano dos óculos. Em contexto clínicos, a amplitude de acomodação do paciente e a demanda acomodativa para alvos próximos são sempre especificados com respeito ao plano oftálmico (ou mais normalmente, ao plano do foróptero). Embora especificar as demandas acomodativas e as amplitudes em termos de acomodação oftálmica pode ser algo enganador, tem várias vantagens práticas em relação às medidas de acomodação ocular.

### OBSERVADORES EMETROPES

As Figuras 6.4a e 6.4b ilustram a relação entre a acomodação oftálmica e acomodação ocular. Assuma que o paciente é emetrope e que o foróptero está posicionado a 15 mm em frente do plano principal do olho. Assuma também que com a técnica do “push-up” o ponto próximo do paciente (isto é, o ponto conjugado com a retina quando o olho está completamente acomodado) estava 10 cm à frente do plano oftálmico (isto é, do foróptero). Qual é a acomodação oftálmica e ocular do paciente?

A amplitude de acomodação é simplesmente a demanda acomodativa associada com o ponto próximo medido relativamente ao foróptero (isto é, a vergência da luz associada com o ponto próximo medido no foróptero. Mais precisamente, a diferença na vergência da luz do infinito óptico e do ponto de perto com respeito ao plano oftálmico.

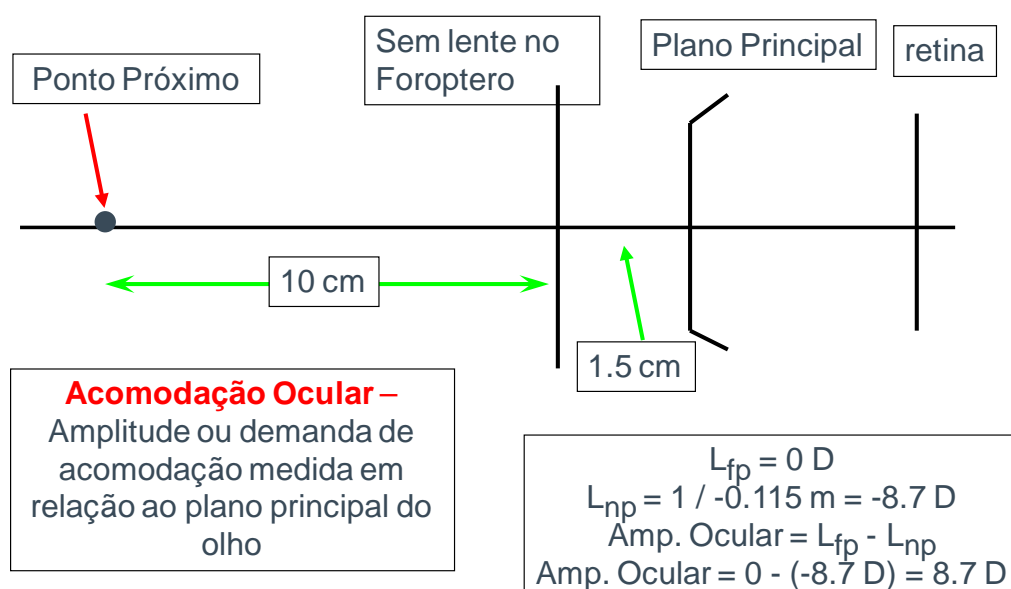
$$\text{Amplitude Oftálmica} = \frac{1}{0.01 \text{ m}} = 10.0 \text{ D}$$



**Figura 6.4a:** Acomodação oftálmica num observador emetropo

No entanto, o paciente não tem que aumentar a potência do olho em 10.00 D de forma a focar de infinito até ao ponto de perto medido. De forma a determinar o aumento necessário na potência dióptrica do olho, é necessário determinar a amplitude acomodação ocular do paciente (isto é, a vergência da luz associada com o ponto próximo medido no plano principal do olho. Ou novamente, mais precisamente a diferença na vergência da luz do infinito óptico, o ponto remoto do olho, e do ponto próximo medido com referência ao plano principal do olho).

$$\text{Amplitude Ocular} = \frac{1}{(0.10+0.015) \text{ m}} = 8.7 \text{ D}$$



**Figura 6.4b:** Acomodação ocular num observador emetropo

Embora num ambiente clínico a amplitude de acomodação deste paciente seria especificada como 10 D, este paciente apenas teria a capacidade para aumentar a potência do olho em 8.7 D. Para indivíduos emetropes ou ametropes não corrigidos, a amplitude da acomodação oftálmica irá ser sempre maior que a amplitude ocular. A magnitude desta diferença irá depender de dois factores, a distância vertex (isto é, a posição do foróptero com respeito ao plano principal do olho) e a amplitude de acomodação ocular do paciente. Quanto maior a distância vertex, maior é a diferença entre a acomodação oftálmica e ocular. Porque a vergência dióptrica determinada pelo inverso da distância em questão, quanto mais afastado o ponto próximo (isto é, menor a amplitude acomodativa), menor a diferença entre a acomodação ocular e oftálmica.

## INDIVÍDUOS AMETROPES CORRIGIDOS COM ÓCULOS

A quantidade de acomodação ocular que um olho ametrope deve exercer para focar um objecto próximo é afectado de forma significativa pela lente correctiva posicionada no plano oftálmico. Os exemplos abaixo ilustram a influência da potência das lentes correctivas na relação entre a acomodação ocular e oftálmica.

### Pacientes Miópicos

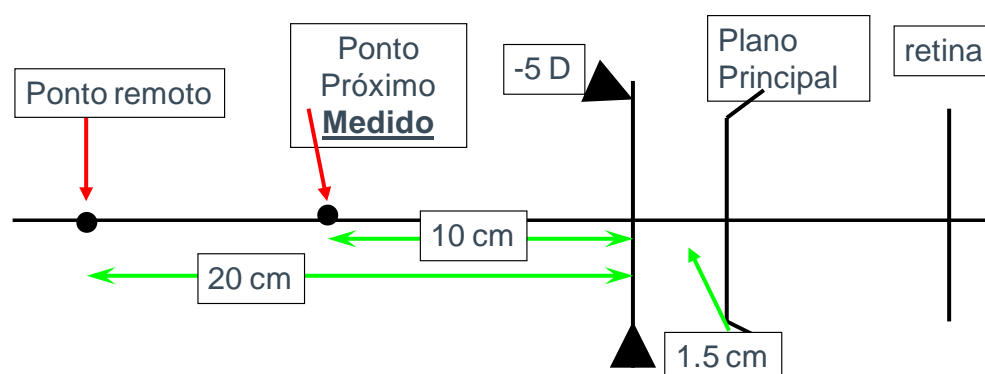
Um paciente miópico tem um erro refractivo de  $-5.00$  D no plano oftálmico.

(Nota: A natureza do erro refractivo, isto é, se é axial ou refractivo não é importante).

Com uma lente de  $-5.00$  D no foróptero (15 mm em frente ao plano principal do olho), o ponto próximo medido para o paciente é 10 cm em frente ao plano dos óculos ( Figura 6.5). Qual é a acomodação ocular e oftálmica do paciente?

$$\text{Amplitude oftálmica} = \frac{1}{0.01 \text{ m}} = 10.0 \text{ D}$$

A amplitude oftálmica é apenas a distância dióptrica entre o ponto próximo medido e o plano dos óculos.



#### Acomodação Oftálmica

$$\begin{aligned} L_{\text{dist}} &= 0 \text{ D} \\ L_{\text{np}} &= 1 / -0.1 \text{ m} = -10 \text{ D} \\ \text{Amp. Oftálmica} &= L_{\text{dist}} - L_{\text{np}} \\ \text{Amp. Oftálmica} &= 0 - (-10 \text{ D}) = 10 \text{ D} \end{aligned}$$

Figura 6.5: Acomodação oftálmica no míope corrigido

No entanto, neste caso a amplitude ocular não é simplesmente o recíproco da distância entre o ponto próximo medido e o plano principal. Para determinar a amplitude de acomodação do paciente, a influência da lente correctiva da lente correctiva, esta deve ser tida em conta. A amplitude acomodativa pode ser calculada determinando o intervalo dióptrico entre o ponto remoto **verdadeiro** (PR) e o ponto próximo **verdadeiro** medido no plano principal.

**Nota:** O verdadeiro ponto remoto do olho é o ponto no espaço conjugado com a retina no estado não acomodado e **não corrigido**. O verdadeiro ponto próximo é o ponto conjugado com a retina quando o olho está totalmente acomodado, mas **não corrigido**.

Com a lente correctiva no lugar, este intervalo dióptrico pode ser calculado determinando a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto em infinito e um objecto colocado no ponto próximo **medido** do paciente. A diferença na vergência da luz para estes dois objectos iria ser igual à amplitude de acomodação, porque após a refacção pela lente dos óculos as imagens destes objectos iriam ser formadas no ponto remoto verdadeiro e ponto próximo verdadeiro.

Para determinar a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto em infinito, primeiro, calcular a posição da imagem formada pela refacção através das lentes dos óculos.

$$\begin{aligned}L_{(\text{dist})} &= 0 \\F_{(\text{lente})} &= -5.00 \text{ D} \\L' &= F_{(\text{lente})} + L_{(\text{dist})} = -5.0 \text{ D}\end{aligned}$$

Assim,

$$l' = n' / L' = 1 / -5.0 \text{ D} = -0.20 \text{ m}$$

isto é, a imagem é formada no ponto remoto verdadeiro do olho ( $f_p$ ) 20 cm em frente ao plano dos óculos ou 21.5 cm em frente do plano principal do olho. Assim, a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto em infinito seria:

$$L_{(fp)} = 1 / -0.215 \text{ m} = -4.65 \text{ D}$$

$L_{(fp)}$  é o intervalo dióptrico entre o ponto remoto verdadeiro do olho e o seu plano principal.

Para determinar a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto no ponto próximo medido, determine a posição da imagem formada pela refacção através da lente dos óculos (ver Figura 6.6).

$$\begin{aligned}L_{(\text{próximo})} &= 1 / -0.1 \text{ m} = -10.0 \text{ D} \\F_{(\text{lente})} &= -5.0 \text{ D} \\L' &= -15.0 \text{ D}\end{aligned}$$

Assim,

$$l_{(\text{próximo})} = 1 / -15.0 \text{ D} = -0.0667 \text{ m}$$

isto é, a imagem formada no ponto próximo verdadeiro do olho 6.67 cm em frente da lente correctiva e 8.17 cm em frente do plano principal do olho. Assim, a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto no ponto próximo medido, mas observado através da lente correctiva, iria ser,

$$L_{(np)} = 1 / -0.0817 \text{ m} = -12.24 \text{ D}$$

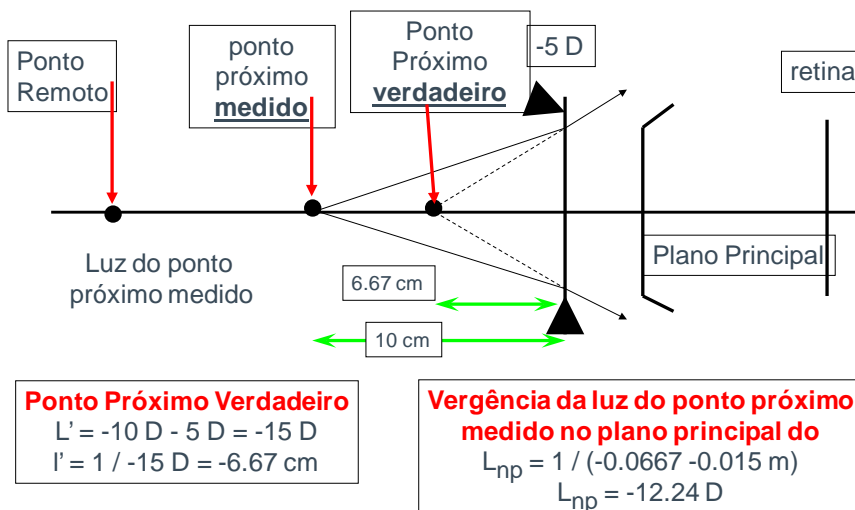


Figura 6.6: Vergência da luz do ponto próximo medido no plano principal

O esforço acomodativo total, a acomodação ocular total, necessária por este olho míopico para focar de longe até ao ponto próximo medido seria:

$$L_{(fp)} - L_{(np)} = -4.65 \text{ D} - (-12.24 \text{ D})$$

$$\text{Amplitude Ocular} = 7.59 \text{ D}$$

### Pacientes Hipermetropes

Um paciente hipermetrope tem um erro refractivo de +5.00 D no plano oftálmico (15 mm em frente do plano principal do olho). Com uma lente de +5.00 D no foróptero, o ponto próximo medido é, novamente, 10 cm em frente do foróptero (Figura 6.7). Qual é a amplitude de acomodação oftálmica e ocular do paciente?

$$\text{Amplitude Oftálmica} = \frac{1}{0.01 \text{ m}} = 10.0 \text{ D}$$

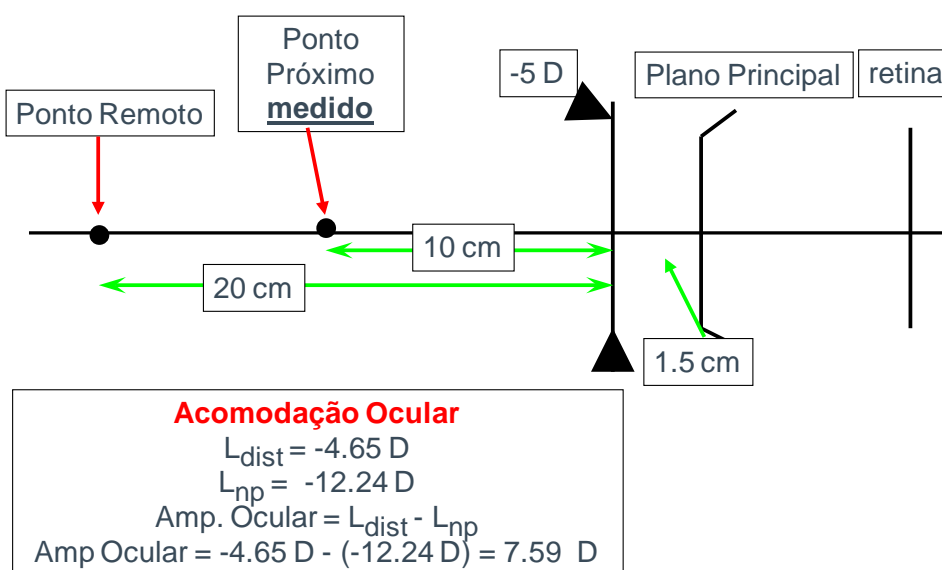


Figura 6.7: Acomodação oftálmica no hipermetrope corrigido



Para calcular a amplitude ocular, primeiro determinar a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto em infinito (isto é determinar a distância dióptrica para o ponto remoto verdadeiro do olho).

$$\begin{aligned}L_{(\text{dist})} &= 0.0 \text{ D} \\F_{(\text{lente})} &= +5.0 \text{ D} \\L' &= +5.0 \text{ D}\end{aligned}$$

Assim,

$$l' = 1 / +5.0 \text{ D} = 0.20 \text{ m}$$

isto é, ponto remoto verdadeiro deste olho hipermetrope está a 20 cm para trás do plano oftálmico ou 18.5 cm atrás do plano principal do olho. Assim a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto em infinito seria:

$$L_{(\text{fp})} = 1 / 0.185 \text{ m} = +5.41 \text{ D}$$

A posição do ponto próximo verdadeiro do olho pode ser calculada a partir da sua posição medida ou do ponto próximo artificial.

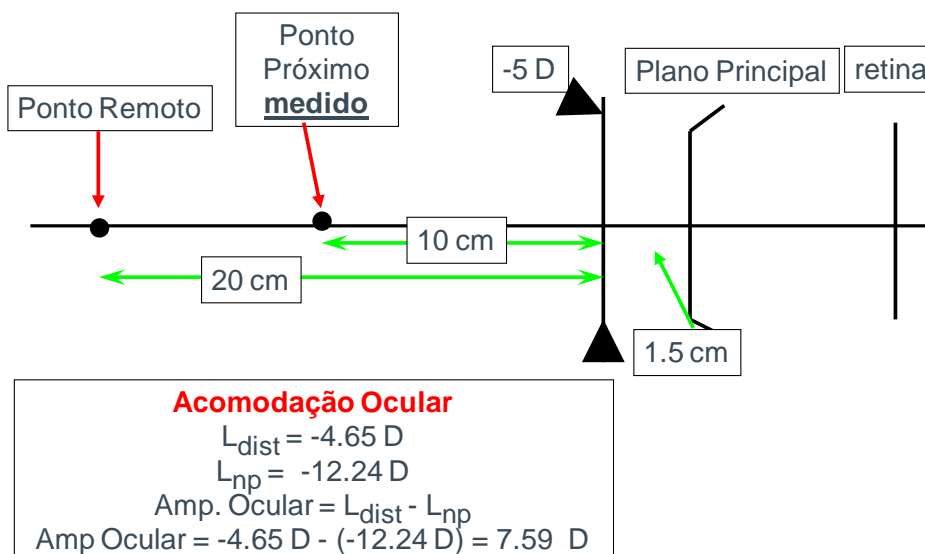
$$\begin{aligned}L_{(\text{perto})} &= 1 / -0.1 \text{ m} = -10.0 \text{ D} \\F_{(\text{lente})} &= +5.0 \text{ D} \\L' &= -5.0 \text{ D}\end{aligned}$$

Assim,

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

isto é, o verdadeiro ponto próximo está 20 cm em frente do plano oftálmico e 21.5 cm em frente do plano principal do olho (ver Figura 6.8). Assim, a vergência da luz no plano principal do olho para um objecto no ponto próximo medido, mas visto através da lente, seria:

$$L_{(\text{np})} = 1 / -0.215 \text{ m} = -4.65 \text{ D}$$



**Figura 6.8:** Acomodação oftálmica num olho hipermetrope

A acomodação ocular necessária por um olho hipermetrope para focar de infinito até ao ponto próximo medido (isto é, a amplitude acomodativa ocular) seria:

$$\text{Amplitude Ocular} = 5.41 \text{ D} - (-4.65 \text{ D}) = 10.06 \text{ D}$$

O exemplo acima ilustra vários pontos importantes no que respeita à acomodação ocular e oftálmica.

1. A magnitude da acomodação oftálmica é independente da potência da lente correctiva e independente do tipo de erro refractivo.

**[Nota:** Embora a acomodação oftálmica não indique o esforço de focagem verdadeiro do olho, é razoável usá-lo como uma medida da amplitude acomodativa em ambientes clínicos. Primeiro, é fácil de medir porque o plano oftálmico pode estar identificado. Não é influenciado pela correcção de longe do paciente. Fornece uma medida funcional do intervalo de visão nítida no espaço do paciente. A acrescentar, em pacientes com amplitude acomodativa baixa (isto é, quando as preocupações acomodativas são particularmente importantes), a amplitude oftálmica irá ser igual à amplitude ocular verdadeira).

2. Hipermetropes corrigidos com óculos não terão que exercer mais acomodação ocular (isto é, na realidade aumenta a potência do cristalino) que quer emetropes ou míopes corrigidos para focar um dado objecto de longe.
3. Quando corrigido com óculos, os míopes terão que exercer menos acomodação ocular para focar um objecto próximo que os emetropes ou hipermetropes corrigidos.

Quando os ametropes são corrigidos com lentes de contacto, as lentes correctivas tornam o olho emetrope e desta forma, não têm efeito na acomodação ocular (assumindo que a lente de contacto coincide com o plano principal do olho). Para um dado ponto no espaço, as demandas acomodativas para um olho ametrope corrigido com uma lente de contacto irão ser idênticas às de um olho emetrope. Consequentemente, deve estar atento ao alterar a forma de correcção das lentes do paciente quando o paciente tem uma amplitude acomodativa relativamente baixa (isto é um presbíta ou pré-presbíta). O que iria acontecer ao ponto próximo medido de um míope presbíta se o paciente trocar de óculos para LC. De facto, a lente de contacto iria resultar numa redução funcional na amplitude acomodativa e desta forma tornar o paciente mais presbíta.

## EFEITOS DA ACOMODAÇÃO NO TAMANHO DA IMAGEM RETINIANA

### OLHOS NÃO CORRIGIDOS

Considere um olho emetrope não corrigido que vê um objecto que tem 1 cm de tamanho e está posicionado 10 cm em frente do plano principal do olho. O que irá acontecer ao tamanho da imagem retiniana quando o olho acomoda para o objecto próximo?

Primeiro calcule o tamanho da imagem no estado não acomodado.

O ângulo visual associado a este objecto é:

$$1 \text{ cm} / 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ radianos}$$

Desta forma, o ângulo subtendido pela imagem no plano principal do olho é:

$$0.1 \text{ rad} / 1.333 = 0.075 \text{ rad}$$

Uma vez que a distância entre o plano principal do olho emetrope e a retina é 22.22 mm, o tamanho da imagem desfocada será:

$$\text{Tamanho imagem} = (0.075 \text{ rad}) (22.22 \text{ mm}) = 1.67 \text{ mm}$$

Para calcular o tamanho da imagem no estado acomodado deve considerar o que acontece à posição do plano principal relativamente à retina. À medida que o olho acomoda para perto, o plano principal desloca-se para mais perto da retina. Como resultado, não é possível simplesmente representar um aumento na acomodação positiva como um aumento na potência da superfície refractiva equivalente (isto é, de certo modo, existe uma pequena componente axial). Assuma que durante a acomodação, o plano principal do nosso olho reduzido se move 0.44 mm para trás (o deslocamento médio para trás dos planos principais para a versão acomodada (cerca de 10 D) no Olho Exacto de Gullstrand #1). O deslocamento para trás iria alterar a imagem retiniana de duas formas. Primeiro, o ângulo de incidência dos raios chefe iria estar ligeiramente reduzido. Segundo, a distância entre a superfície refractiva equivalente e a retina seria reduzida.

Novo ângulo de incidência no plano principal seria:

$$i = 1 \text{ cm} / 10.044 \text{ cm} = 0.0996 \text{ radianos}$$

Desta forma, o ângulo subtendido pela imagem após refacção seria:

$$i' = 0.0996 \text{ rad} / 1.3333 = 0.07467 \text{ radianos}$$

$$\text{Tamanho imagem} = (0.07467) (21.78 \text{ mm}) = 1.63 \text{ mm}$$

Os cálculos acima indicam que, baseado nas considerações da potência refractiva apenas, a imagem retiniana diminui em 0.04 mm durante a acomodação de longe para um objecto a 10 cm. No entanto, na prática não existem alterações substanciais no tamanho imagem. Uma vez que a posição da pupila de entrada é essencialmente não afectada pela acomodação, a imagem não irá variar substancialmente entre os estados não acomodado e acomodado.

## OLHOS AMETROPES CORRIGIDOS COM ÓCULOS

Assuma um míope axial com um erro refractivo de -5.0 D no plano principal acomoda para um objecto de 1 cm que está posicionado 10 cm em frente do plano oftálmico. A lente correctiva está a 15 mm em frente do plano principal do olho, assim, a potência da lente correctiva é de -5.14 D. Qual é o tamanho da imagem retiniana?

Uma vez que o tamanho actual do objecto é conhecido, o tamanho da imagem retiniana pode ser calculado determinando a magnificação linear quer para lente correctiva quer para o olho.

**Nota:** As equações para a Magnificação Oftálmica e Magnificação Oftálmica Relativa não podem ser usadas para determinar o tamanho da imagem em olhos acomodados porque as relações para estes factores de magnificação apenas se aplica para objectos no infinito óptico.

Magnificação linear,

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

Magnificação para a lente é:

$$M_{(lente)} = -10.0 \text{ D} / -15.41 \text{ D} = 0.649$$

Para calcular a magnificação linear para o olho, a posição do objecto próximo formada pela lente correctiva e subsequentemente, a vergência da luz que incide no plano principal do olho deve ser determinada.

$$L'_{(vergência \text{ após refração na lente})} = -10 \text{ D} - 5.41 \text{ D} = -15.41 \text{ D}$$

Assim, a posição da imagem do objecto após refração pela lente é:

$$l' = 1 / -15.41 \text{ D} = -6.5 \text{ cm em frente da lente correctiva}$$

A vergência da luz no plano principal do olho é:

$$L = 1 / (-0.065 - 0.015 \text{ m}) = -12.5 \text{ D}$$

Uma vez que o olho está acomodado para o objecto próximo, nós sabemos que a imagem está focada na retina. Assim, a vergência da luz após refração no plano principal do olho deve ser apropriada para a distância entre o plano principal do olho e a sua retina (para um míope axial de 5 D, 24.24 mm).

Assim, a vergência da luz dentro do olho é:

$$L' = 1.3333 / 0.02424 = +55.00 \text{ D}$$

Desta forma, a magnificação linear para o olho é:

$$M_{(olho)} = -12.50 \text{ D} / 55.0 \text{ D} = -0.2273$$

**(Nota:** O sinal negativo indica que a imagem está invertida)

A magnificação total para a combinação olho-lente é igual a:

$$M_{(olho)} \times M_{(lente)} = (-0.2273) (0.649) = -0.014752$$

Assim, o tamanho da imagem retiniana final é:

$$h' = (\text{tamanho objecto}) (\text{magnificação total})$$

$$h' = 1.0 \text{ cm} (-0.014752) = -1.475 \text{ mm}$$