BrienHoldenVisionInstitute

ĐIỀU TIẾT

TÁC GIẢ

GS. Earl L. Smith III: Đại học Houston

THẨM ĐỊNH

GS. Emeritus Barry L. Cole: Đại học Melbourne

GIỚI THIỆU VÀ ĐẠI CƯƠNG

Chương này bao gồm những nội dung:

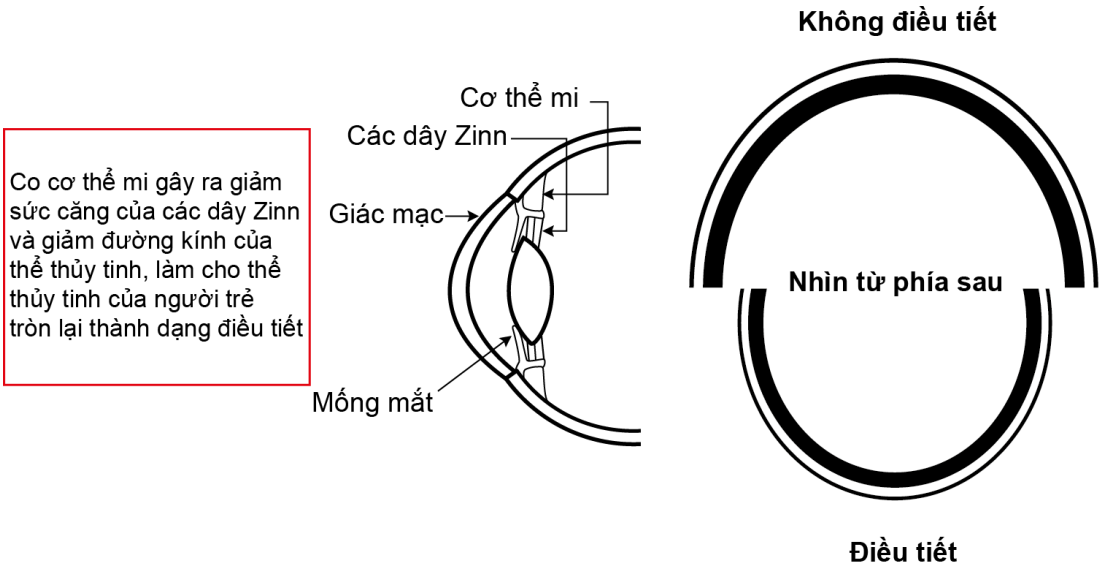
- Cơ chế điều tiết
- Những thay đổi của thể thủy tinh và quang học khi điều tiết
- So sánh điều tiết kính và điều tiết mắt
- Ảnh hưởng của điều tiết đối với kích thước ảnh võng mạc

Điều tiết là một quá trình trong đó công suất khúc xạ của mắt được thay đổi để đưa các vật ở các khoảng cách xa vào đúng tiêu điểm. Sự tăng tổng công suất khúc xạ do hội tụ từ một vật ở xa (thí dụ ở viễn điểm của mắt) tới một vật ở gần được gọi là **điều tiết dương**. Thuật ngữ **điều tiết âm** dùng để chỉ sự giảm tổng công suất do hội tụ từ một vật ở gần đến một vật ở xa hơn.

CƠ CHẾ CỦA ĐIỀU TIẾT

Thể thủy tinh ở người trẻ gồm có một mô tế bào mềm và dễ thay đổi hình dạng chứa trong một lớp bao đàn hồi. Hình dạng của thể thủy tinh chủ yếu được quyết định bởi các lực co của lớp bao đàn hồi, các lực co này (nếu không bị đối kháng) có xu hướng làm cho thể thủy tinh có dạng cầu hơn. Ở mắt, lực đàn hồi của lớp bao bị trung hòa bởi lực co của các sợi dây Zinn. Mức độ căng lên thể thủy tinh được quyết định bởi tình trạng căng của cơ thể mi.

Khi mắt ở trạng thái không điều tiết (tức là khi viễn điểm liên hợp với võng mạc), cơ thể mi ở trạng thái giãn và nằm dẹt ở mặt trong củng mạc. Ở trạng thái không co này, các sợi dây Zinn gây ra một lực kéo chủ yếu lên phần xích đạo của bao thể thủy tinh. Lực kéo này phản lại lực co của bao thể thủy tinh, do đó giữ cho thể thủy tinh ở hình dạng vật lí tương đối dẹt. Trong khi điều tiết dương thì cơ thể mi co. Hoạt động của cơ thể mi làm cho thể mi hơi di chuyển về phía trước và vào trong về phía thể thủy tinh (xem Hình 6.1). Cả 2 chuyển động này đưa chỗ bám của các dây Zinn về phía thể thủy tinh, do đó giảm sức căng của các dây Zinn lên bao thể thủy tinh. Lớp bao đàn hồi của thể thủy tinh lúc này được phép co và làm tăng độ lồi của thể thủy tinh. Sự giảm các bán kính cong của 2 mặt thể thủy tinh dẫn đến tăng công suất khúc xạ dương.



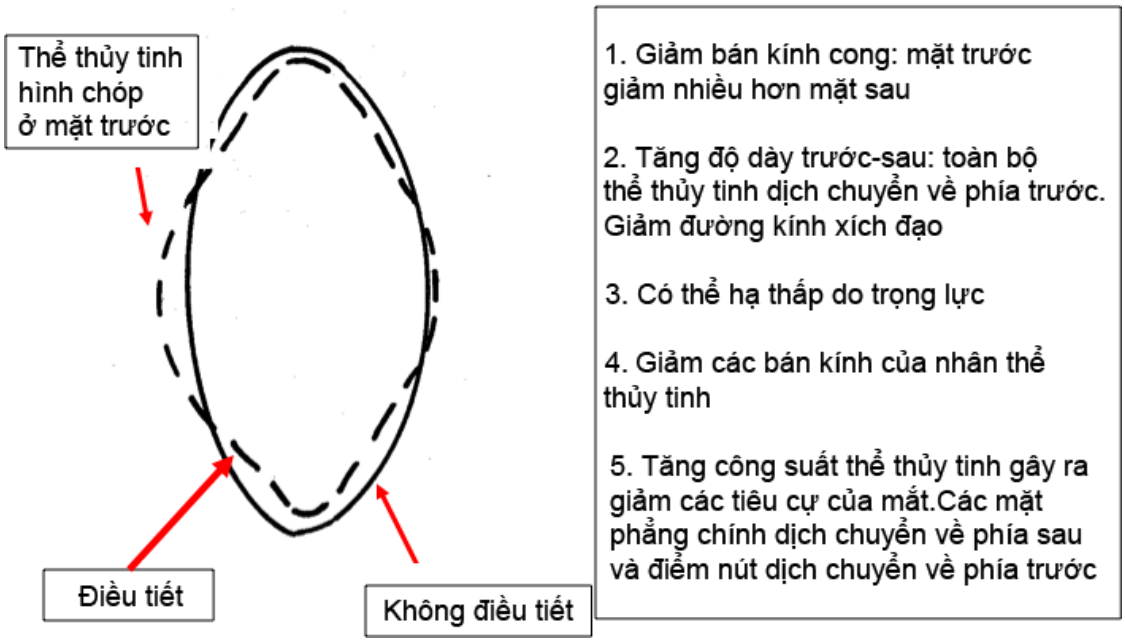
Hình 6.1: *Cơ chế của điều tiết*

NHỮNG THAY ĐỔI CỦA THỂ THỦY TINH VÀ QUANG HỌC KHI ĐIỀU TIẾT

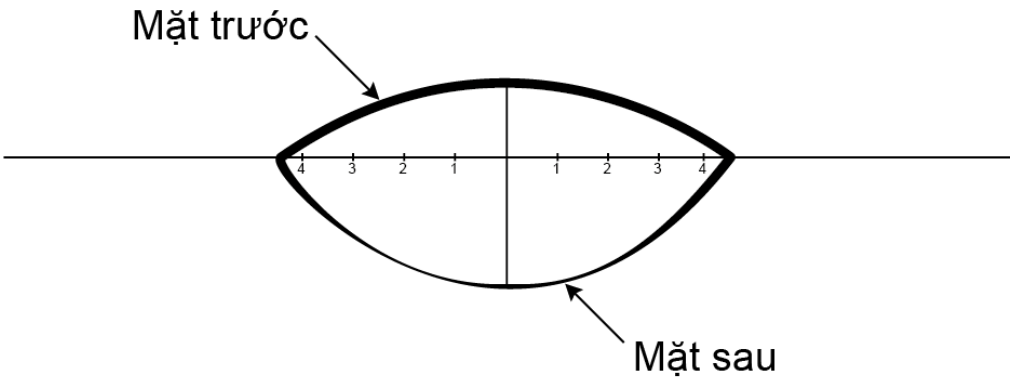
Khi mắt điều tiết từ xa đến gần, có thể thấy những thay đổi sau ở thể thủy tinh:

1. Bán kính cong của cả mặt trước và mặt sau thể thủy tinh đều giảm. Tuy nhiên, thay đổi độ cong mặt trước thì lớn hơn nhiều so với thay đổi ở mặt sau thể thủy tinh (nhớ rằng trong khi điều tiết thì kích thước của ảnh Purkinje thứ 3 thay đổi nhiều hơn so với ảnh Purkinje thứ 4). Ngoài ra, những thay đổi độ cong (đặc biệt ở mặt trước) xảy ra không đều, tức là không có hình cầu. Thay vào đó, như được minh họa trong Hình 6.2, phần trung tâm của mặt trước thể thủy tinh tăng độ cong tới một mức lớn hơn nhiều so với các phần chu vi của thể thủy tinh (tức là có tăng nhiều hơn công suất khúc xạ dương ở vùng đồng tử của thể thủy tinh). Thể thủy tinh có phần trung tâm lồi ra thành hình chóp đôi khi được gọi là **thể thủy tinh hình chóp mặt trước sinh lí**. Sự thay đổi bất cân đối ở bề mặt thể thủy tinh được cho là chủ yếu do thay đổi độ dày của bao thể thủy tinh. Bao thể thủy tinh ở chu vi dày hơn so với ở trung tâm (xem Hình 6.3). Người ta cho rằng, trong khi điều tiết, "vòng" dày hơn của bao ở xung quanh các phần trung tâm mỏng hơn gây ra một lực co lớn hơn vào phía trong đối với thể thủy tinh. Kết quả là phần trung tâm yếu hơn cho phép thể thủy tinh phồng lên về phía trước rõ ràng ở cực trước của nó.
2. Thể thủy tinh dày lên theo chiều trước-sau, nhưng đường kính xích đạo lại giảm đi. Do vị trí của mặt sau thể thủy tinh không thay đổi trong khi điều tiết nên sự tăng độ dày khiến cho thể thủy tinh thực tế dịch chuyển về phía trước, gần giác mạc hơn (tức là giảm độ sâu tiền phòng).

   (**Ghi chú:** Di chuyển 2 kính cộng lại gần nhau sẽ làm tăng tổng công suất tương đương của chúng. Do đó, sự dịch chuyển thực tế về phía trước này sẽ dẫn đến tăng nhẹ công suất khúc xạ của mắt)
3. Nếu độ điều tiết đủ lớn (tức là sức căng của các dây Zinn giảm đủ mức) thì thể thủy tinh sẽ hạ thấp theo hướng trọng lực.
4. Các bán kính cong hiệu dụng của nhân thể thủy tinh cũng giảm. Trong khi điều tiết, thay đổi độ cong của riêng các mặt ngoài không đủ để giải thích cho sự tăng công suất hiệu dụng của toàn bộ thể thủy tinh. Ngoài ra còn có tăng công suất do thay đổi độ cong của các vùng thể thủy tinh ở bên trong có chiết suất cao hơn so với lớp vỏ của thể thủy tinh.
5. Sự tăng công suất thể thủy tinh do điều tiết được phản ánh bằng sự giảm các tiêu cự ở mắt, sự dịch chuyển về phía sau của các mặt phẳng chính của mắt, và sự dịch chuyển về phía trước của các điểm nút.



Hình 6.2: *Tóm tắt những thay đổi của thể thủy tinh khi điều tiết*



Hình 6.3: *Sự thay đổi độ dày của bao thể thủy tinh*

ĐIỀU TIẾT KÍNH SO VỚI ĐIỀU TIẾT MẮT

Biên độ điều tiết (hoặc mức độ điều tiết) mà một người phải cố gắng để hội tụ vào một mặt phẳng cụ thể trong không gian (tức là yêu cầu điều tiết) thường được đo bằng một trong 2 cách:

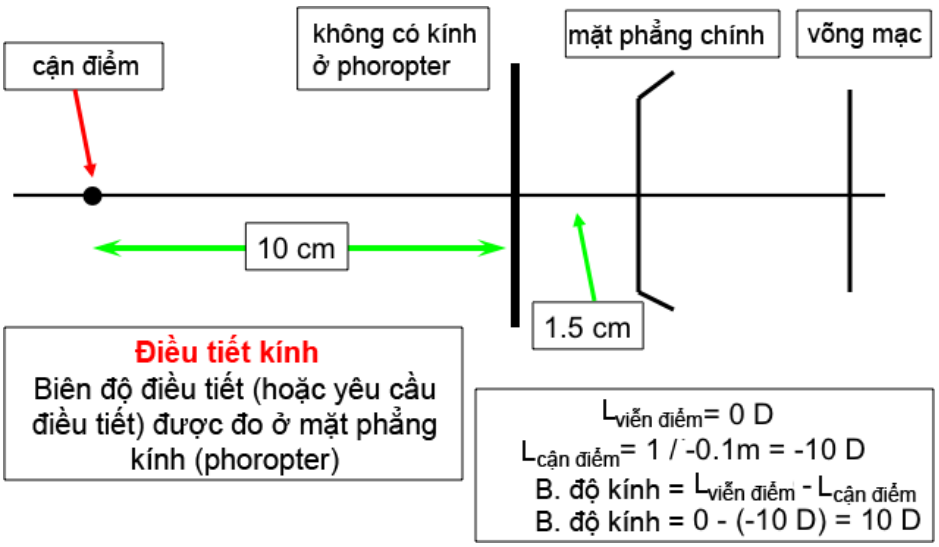
1. **Điều tiết mắt** (**ocular accommodation):** là những thay đổi công suất khúc xạ của mắt được đo ở mặt phẳng chính của mắt (đôi khi điều tiết mắt được gọi là điều tiết ở mặt phẳng chính). Điều tiết mắt phản ánh lực điều tiết thực (tức là sự thay đổi thực sự công suất) mà một mắt phải cố gắng để hội tụ vào một vật ở gần.
2. **Điều tiết kính** (**spectacle accommodation):** cho biết yêu cầu điều tiết hoặc những thay đổi công suất mắt cần thiết được đo ở mặt phẳng kính. Trên lâm sàng, biên độ điều tiết và yêu cầu điều tiết của bệnh nhân cho các công việc nhìn gần bao giờ cũng được đo ở mặt phẳng kính (hoặc mặt phẳng phoropter). Mặc dù việc xác định yêu cầu và biên độ điều tiết bằng điều tiết kính có thể dễ gây nhầm lẫn, nhưng nó có nhiều ưu điểm về mặt thực hành so với việc dùng các số đo điều tiết mắt.

NHỮNG NGƯỜI QUAN SÁT CHÍNH THỊ

Hình 6.4a và 6.4b minh họa mối tương quan giữa điều tiết kính và điều tiết mắt. Giả sử bệnh nhân chính thị và phoropter được đặt ở trước mặt phẳng chính của mắt 15 mm. Cũng giả sử là với phương pháp đưa vào gần (push-up) thì cận điểm của bệnh nhân (điểm liên hợp với võng mạc khi mắt điều tiết đầy đủ) ở trước mặt phẳng kính (phoropter) 10 cm. Biên độ điều tiết kính và biên độ của điều tiết mắt của bệnh nhân này là bao nhiêu?

Biên độ điều tiết kính đơn giản là yêu cầu điều tiết gắn với cận điểm đo được của bệnh nhân được xác định ở phoropter (tức là độ tụ ánh sáng gắn với cận điểm đo ở phoropter. Nói chính xác hơn thì đó là chênh lệch độ tụ ánh sáng từ viễn điểm quang học và từ cận điểm đo ở mặt phẳng kính).

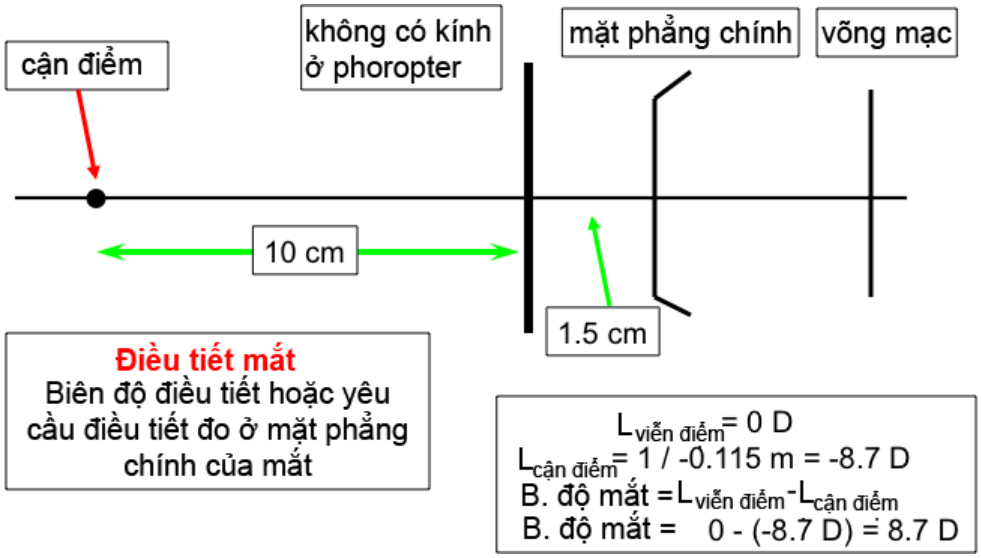
$$\text{Biên độ điều tiết kính} = \frac{1}{0.01\ \text{m}} = 10.0\ \text{D}$$



Hình 6.4a: *Điều tiết kính ở một người quan sát chính thị*

Tuy nhiên, bệnh nhân không phải tăng công suất của mắt 10.00 D để hội tụ từ vô cực tới cận điểm đo được. Để xác định độ tăng công suất khúc xạ của mắt cần thiết, cần xác định biên độ điều tiết mắt của bệnh nhân (tức là độ tụ ánh sáng gắn với cận điểm được đo ở mặt phẳng chính của mắt. Nói chính xác hơn thì đó là chênh lệch độ tụ ánh sáng từ vô cực quang học (viễn điểm của mắt) so với từ cận điểm đo ở mặt phẳng chính của mắt.).

$$\text{Biên độ điều tiết mắt} = \frac{1}{(0.10+0.015)\ \text{m}} = 8.7\ \text{D}$$



Hình 6.4b: *Điều tiết mắt ở một người quan sát chính thị*

Mặc dù trên lâm sàng thì biên độ điều tiết của bệnh nhân này được đo là 10 D nhưng bệnh nhân chỉ có khả năng tăng công suất của mắt 8.7 D. Đối với những mắt chính thị hoặc có tật khúc xạ không được chỉnh kính, biên độ điều tiết kính bao giờ cũng lớn hơn biên độ điều tiết mắt. Mức độ chênh lệch này phụ thuộc vào 2 yếu tố, khoảng cách đỉnh (tức là vị trí của phoropter so với mặt phẳng chính của mắt) và biên độ điều tiết mắt của bệnh nhân. Khoảng cách đỉnh càng lớn thì chênh lệch giữa điều tiết kính và điều tiết mắt càng lớn. Do độ tụ điốp được xác định bằng nghịch đảo của khoảng cách đang được xét, nên cận điểm càng xa (tức là biên độ điều tiết mắt nhỏ hơn) thì chênh lệch giữa điều tiết mắt và điều tiết kính càng nhỏ.

NHỮNG NGƯỜI CÓ TẬT KHÚC XẠ ĐƯỢC CHỈNH KÍNH GỌNG

Mức độ điều tiết mà một mắt bất chính thị phải thực hiện để hội tụ vào một vật ở gần bị ảnh hưởng đáng kể bởi kính chỉnh đặt ở mặt phẳng kính. Các thí dụ dưới đây minh họa ảnh hưởng của công suất của kính chỉnh đối với tương quan giữa điều tiết mắt và điều tiết kính.

Bệnh nhân cận thị

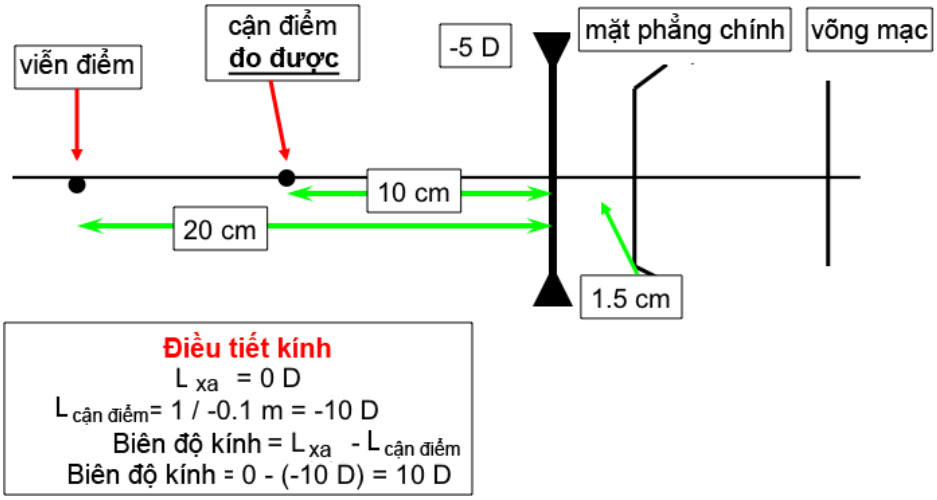
Một bệnh nhân cận thị có tật khúc xạ −5.00 D ở mặt phẳng kính

(**Ghi chú:** Bản chất của tật khúc xạ, tức là do trục hay do khúc xạ không quan trọng).

Với kính -5.00 D ở phoropter (trước mặt phẳng chính của mắt 15 mm), cận điểm đo được của bệnh nhân là trước mặt phẳng kính 10 cm (Hình 6.5). Biên độ điều tiết kính và biên độ điều tiết mắt của bệnh nhân là bao nhiêu?

$$\text{Biên độ điều tiết kính} = \frac{1}{0.01\ \text{m}} = 10.0\ \text{D}$$

Biên độ điều tiết kính đơn giản là khoảng cách điốp giữa cận điểm đo được và mặt phẳng kính.



Hình 6.5: *Điều tiết kính ở một mắt cận thị được chỉnh kính*

Tuy nhiên, trong trường hợp này biên độ điều tiết mắt không đơn giản là nghịch đảo của khoảng cách giữa cận điểm đo được và mặt phẳng chính của mắt. Để xác định biên độ điều tiết mắt của bệnh nhân, cần tính đến ảnh hưởng của kính chỉnh. Biên độ điều tiết mắt có thể được tính bằng cách xác định khoảng cách điốp giữa viễn điểm thực của mắt và cận điểm thực của nó (tức là chênh lệch độ tụ ánh sáng từ viễn điểm thực và cận điểm thực đo ở mặt phẳng chính của mắt.).

Ghi chú: Viễn điểm thực của mắt là điểm trong không gian liên hợp với võng mạc trong trường hợp không điều tiết và **không chỉnh kính**. Cận điểm thực của mắt là điểm liên hợp với võng mạc khi mắt điều tiết đầy đủ, nhưng **không chỉnh kính**.

Với kính chỉnh đặt ở mắt, khoảng cách điốp này có thể được tính bằng cách xác định độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở vô cực và một vật được đặt ở **cận điểm đo được** của bệnh nhân. Hiệu số độ tụ ánh sáng của 2 vật này sẽ bằng biên độ điều tiết mắt, bởi vì sau khi khúc xạ bởi mắt kính thì ảnh của các vật này sẽ được tạo thành ở viễn điểm thực và cận điểm thực của mắt.

Để xác định độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở vô cực, trước hết tính vị trí của ảnh tạo thành bởi khúc xạ của mắt kính.

$L_{(xa)} = 0$

$F_{(kính)} = -5.00$ D

$L' = F_{(kính)} + L_{(xa)} = -5.0$ D

Do đó,

$l' = n' / L' = 1 / -5.0D = -0.20$ m

tức là ảnh được tạo thành ở viễn điểm thực của mắt trước mặt phẳng kính 20 cm hoặc trước mặt phẳng chính của mắt 21.5 cm. Do đó, độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở vô cực sẽ là:

$L_{(viễn\ điểm)} = 1 / -0.215m = -4.65$ D

$L_{(viễn\ điểm)}$ là khoảng cách điốp giữa viễn điểm thực của mắt và mặt phẳng chính của nó.

Để xác định độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở cận điểm đo được, xác định vị trí của ảnh tạo thành do khúc xạ của mắt kính (xem Hình 6.6).

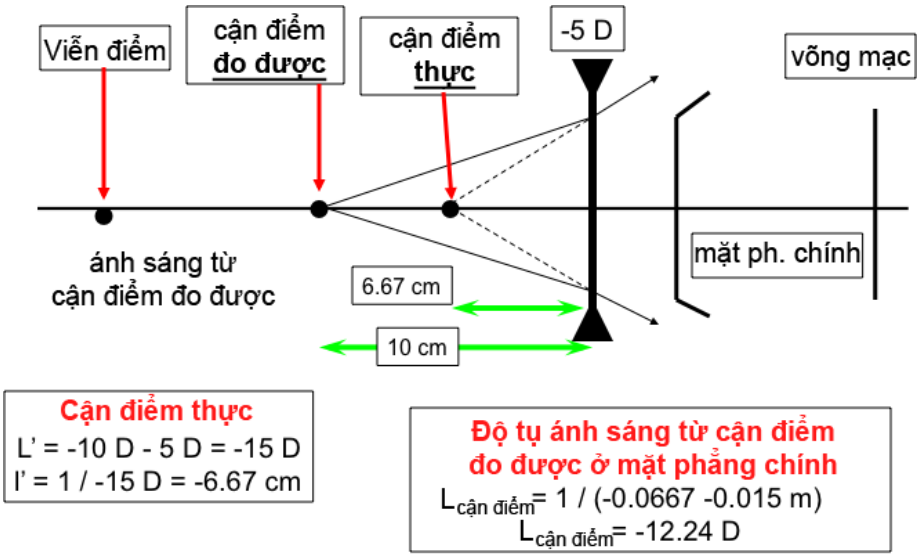
$L_{(gần)} = 1 / -0.1m = -10.0D$
$F_{(kính)} = -5.0\ D$
$L' = -15.0\ D$

Do đó,

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

tức là ảnh được tạo thành ở cận điểm thực của mắt trước kính điều chỉnh 6.67 cm và trước mặt phẳng chính của mắt 8.17 cm. Do đó, độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở cận điểm đo được, nhưng được nhìn qua kính chỉnh, sẽ là

$L_{(cận\ điểm)} = 1 / -0.0817m = -12.24\ D$



Hình 6.6: *Độ tụ ánh sáng từ cận điểm đo được ở mặt phẳng chính*

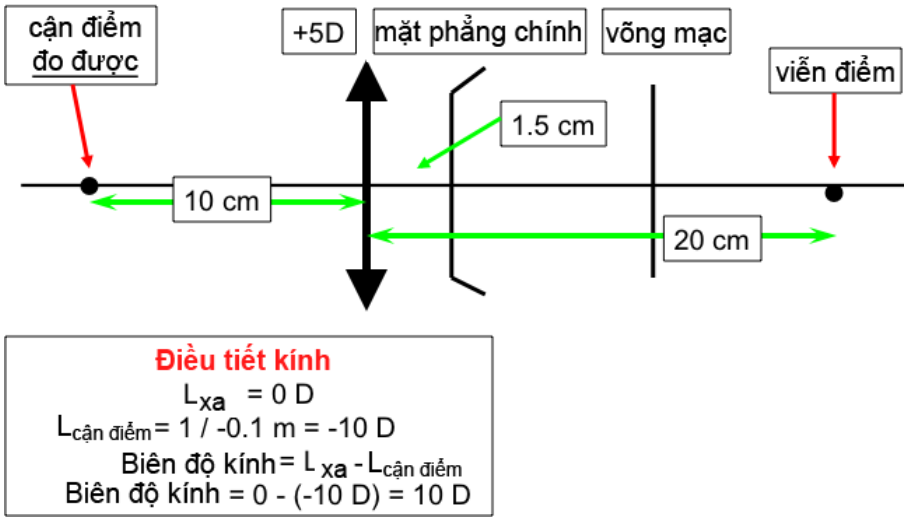
Lực điều tiết tổng cộng cần thiết bởi mắt cận thị này để hội tụ từ xa tới cận điểm đo được sẽ là:

$L_{(viễn\ điểm)} - L_{(cận\ điểm)} = -4.65\ D - (-12.24\ D)$
Điều tiết mắt = 7.59 D

Bệnh nhân viễn thị

Một bệnh nhân viễn thị có tật khúc xạ ở mặt phẳng kính là +5.00 D (trước mặt phẳng chính của mắt 15 mm). Với kính +5.0 D ở phoropter, cận điểm đo được cũng ở trước phoropter 10 cm (Hình 6.7). Biên độ điều tiết kính và biên độ điều tiết mắt của bệnh nhân là bao nhiêu?

$$\text{Biên độ điều tiết kính} = \frac{1}{0.01\ m} = 10.0\ D$$



Hình 6.7: *Điều tiết kính ở một mắt viễn thị được chỉnh kính*

Để tính biên độ điều tiết mắt, đầu tiên xác định độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở vô cực (tức là xác định khoảng cách điốp cho viễn điểm thực của mắt).

$L_{(xa)}$ = 0.0 D
$F_{(kính)}$ = +5.0 D
L' = +5.0 D

Do đó,

l' = 1 / +5.0 D = 0.20 m

tức là viễn điểm thực của mắt viễn thị này ở ngoài mắt kính 20 cm hoặc sau mặt phẳng chính của mắt 18.5 cm. Do đó, độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở vô cực sẽ là:

$L_{(viễn\ điểm)}$ = 1 / 0.185 m = +5.41 D

Vị trí của cận điểm thực của mắt có thể đo từ vị trí của cận điểm đo được hoặc cận điểm nhân tạo.

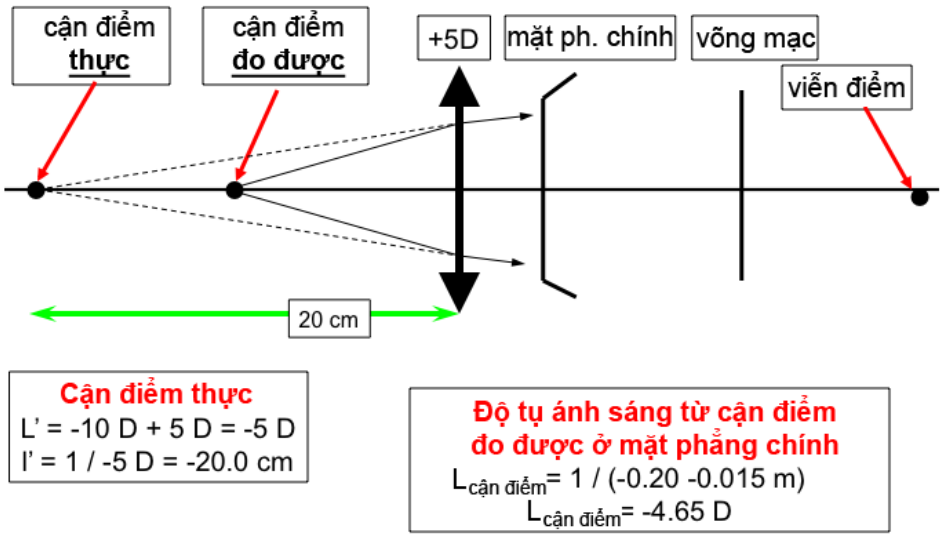
$L_{(gần)}$ = 1 / −0.1m = −10.0 D
$F_{(kính)}$ = +5.0 D
L' = −5.0 D

Do đó,

l' = 1 / −5.0 D = −0.2 m

tức là cận điểm thực của mắt ở trước mặt phẳng kính 20 cm và trước mặt phẳng chính của mắt 21.5 cm (Hình 6.8). Do đó, độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt của một vật ở cận điểm đo được (nhưng nhìn qua kính) sẽ là:

$L_{(cận\ điểm)}$ = 1 / −0.215 m = −4.65 D



Hình 6.8: *Điều tiết kính ở một mắt viễn thị được chỉnh kính*

Điều tiết mắt cần thiết bởi mắt viễn thị để hội tụ từ vô cực tới cận điểm đo được (tức là biên độ điều tiết mắt) sẽ là:

Biên độ điều tiết mắt = 5.41 D − (−4.65 D) = 10.06 D

Các thí dụ trên minh họa một số điểm quan trọng về điều tiết mắt và điều tiết kính.

1. Độ điều tiết kính không phụ thuộc vào công suất của kính điều chỉnh và không phụ thuộc vào loại tật khúc xạ.

[**Ghi chú:** Điều tiết kính mặc dù không cho biết lực hội tụ thực của mắt nhưng vẫn hợp lí khi sử dụng nó như là một số đo biên độ điều tiết trên lâm sàng. Thứ nhất, nó dễ đo bởi vì mặt phẳng kính có thể nhận biết dễ dàng. Nó không bị ảnh hưởng bởi kính nhìn xa của bệnh nhân. Nó cho số đo chức năng khoảng nhìn rõ của bệnh nhân trong không gian. Ngoài ra, ở những bệnh nhân có biên độ điều tiết thấp (tức là khi sự quan tâm về điều tiết là đặc biệt quan trọng) thì biên độ của kính sẽ gần với biên độ thực của mắt].

2. Những người viễn thị có kính chỉnh sẽ phải điều tiết mắt nhiều hơn (trên thực tế là tăng công suất của thể thủy tinh nhiều hơn) so với người chính thị hoặc người cận thị có chỉnh kính để hội tụ vào một vật ở gần đã cho.

3. Khi có kính chỉnh, những người cận thị sẽ phải điều tiết ít hơn để hội tụ vào một vật ở gần so với người chính thị hoặc người viễn thị được chỉnh kính.

Khi những người có tật khúc xạ được chỉnh kính tiếp xúc thì kính chỉnh về bản chất làm cho mắt trở thành chính thị, do đó không ảnh hưởng đến điều tiết mắt (giả sử là kính tiếp xúc trùng với mặt phẳng chính của mắt). Đối với một điểm đã cho trong không gian, yêu cầu điều tiết mắt của một mắt có tật khúc xạ được chỉnh kính tiếp xúc sẽ bằng yêu cầu điều tiết mắt của một mắt chính thị. Do đó, cần thận trọng khi thay đổi dạng kính chỉnh của một bệnh nhân khi bệnh nhân có biên độ điều tiết tương đối thấp (tức là người lão thị hoặc người tiền lão thị). Điều gì sẽ xảy ra đối với cận điểm đo được của một người cận thị tiền lão thị nếu bệnh nhân được chuyển từ kính gọng sang kính tiếp xúc? Trong thực tế, kính tiếp xúc sẽ dẫn đến giảm chức năng biên độ điều tiết đo được, do đó về mặt chức năng làm cho bệnh nhân trở thành lão thị hơn.

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU TIẾT ĐỐI VỚI KÍCH THƯỚC ẢNH VÕNG MẠC

MẮT KHÔNG ĐƯỢC CHỈNH KÍNH

Hãy xem xét một mắt chính thị không điều tiết đang nhìn một vật kích thước 1 cm được đặt ở trước mặt phẳng chính của mắt 10 cm. Điều gì xảy ra cho kích thước ảnh võng mạc khi mắt điều tiết cho vật ở gần?

Đầu tiên tính kích thước ảnh ở trạng thái không điều tiết.

Góc nhìn gắn với vật là:

1cm / 10cm = 0.1 radian

Do đó, góc đối diện với ảnh ở mặt phẳng chính của mắt là:

0.1 rad / 1.333 = 0.075 rad

Do khoảng cách giữa mặt phẳng chính của mắt chính thị và võng mạc là 22.22 mm, kích thước ảnh lệch tiêu sẽ là:

Kích thước ảnh = (0.075 rad) (22.22 mm) = 1.67 mm

Để tính kích thước ảnh ở trạng thái điều tiết, bạn phải xem xét điều gì xảy ra đối với vị trí của mặt phẳng chính so với võng mạc. Do mắt điều tiết cho vật ở gần, mặt phẳng chính di chuyển đến gần võng mạc hơn. Kết quả là không thể đơn giản miêu tả sự tăng điều tiết dương như là sự tăng công suất của mặt khúc xạ tương đương (tức là về một khía cạnh nào đó, có một thành phần trục nhỏ). Giả sử trong khi điều tiết, mặt phẳng chính của mắt rút gọn di chuyển về phía sau 0.44 mm (độ dịch chuyển trung bình về phía sau của mặt phẳng chính ở phiên bản điều tiết (khoảng 10 D) của mắt chính xác Gullstrand số 1). Sự dịch chuyển về phía sau sẽ thay đổi kích thước ảnh võng mạc theo 2 cách. Thứ nhất, góc tới của các tia chính sẽ hơi giảm. Thứ hai, khoảng cách giữa mặt khúc xạ tương đương và võng mạc sẽ bị giảm.

Góc tới mới ở mặt phẳng chính sẽ là:

i = 1 cm / 10.044 cm = 0.0996 radian

Do đó, góc đối diện với ảnh sau khúc xạ sẽ là:

i' = 0.0996 rad/1.3333 = 0.07467 radian
Kích thước ảnh = (0.07467) (21.78mm) = 1.63 mm

Các phép tính trên cho thấy rằng (dựa trên những xem xét chỉ riêng công suất khúc xạ) kích thước ảnh võng mạc giảm 0.04 mm trong khi điều tiết từ xa tới vật ở cách 10 cm. Tuy nhiên, về mặt thực hành thì thực sự không có thay đổi kích thước ảnh đáng kể. Do vị trí của đồng tử vào về cơ bản không bị ảnh hưởng bởi điều tiết nên kích thước ảnh được xác định sẽ không thay đổi giữa trạng thái không điều tiết và trạng thái điều tiết.

MẮT CÓ TẬT KHÚC XẠ ĐƯỢC CHỈNH KÍNH GỌNG

Giả sử một mắt cận thị trục có tật khúc xạ của mặt phẳng chính là -5.0 D điều tiết vào một vật 1 cm nằm ở trước mặt phẳng kính 10 cm. Kính chỉnh ở trước mặt phẳng chính của mắt 15 mm, do đó công suất của kính chỉnh là -5.41 D. Kích thước ảnh võng mạc là bao nhiêu?

Do kích thước thực tế của vật chưa biết nên kích thước ảnh võng mạc có thể được tính bằng cách xác định độ phóng đại dài của cả kính chỉnh và mắt.

Ghi chú: Có thể dùng các phương trình của độ phóng đại kính và độ phóng đại kính tương đối để xác định kích thước ảnh ở các mắt điều tiết bởi vì các hệ thức cho các hệ số phóng đại này chỉ áp dụng cho các vật ở vô cực quang học.

Độ phóng đại dài,

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

Độ phóng đại của kính là:

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

Để tính độ phóng đại dài của mắt, cần xác định vị trí của vật ở gần tạo thành bởi kính chỉnh và sau đó là độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt.

$$L'_{(\text{độ tụ sau khúc xạ bởi kính})} = -10\ D - 5.41\ D = -15.41\ D$$

do đó, vị trí của ảnh sau khúc xạ bởi kính là:

$$l' = 1 / -15.41\ D = -6.5\ \text{cm trước kính điều chỉnh}$$

Độ tụ ánh sáng ở mặt phẳng chính của mắt là:

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

Do mắt điều tiết cho vật ở gần, chúng ta biết rằng ảnh hội tụ vào võng mạc. Do đó, độ tụ ánh sáng sau khúc xạ ở mặt phẳng chính của mắt phải thích hợp cho khoảng cách giữa mặt phẳng chính của mắt và võng mạc (bằng 24.24 mm đối với một mắt cận thị trục 5 D).
Do đó, độ tụ ánh sáng ở trong mắt là:

$$L' = 1.3333 / 0.02424 = +55.00\ D$$

Do đó, độ phóng đại dài của mắt là:

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

(**Ghi chú:** Dấu trừ cho biết là ảnh đảo ngược).

Độ phóng đại tổng cộng của hệ thống mắt-kính sẽ bằng:

$$M_{(mắt)} \times M_{(kính)} = (-0.2273)\ (0.649) = -0.014752$$

Do đó, kích thước ảnh võng mạc cuối cùng là:

h' = (kích thước vật) (độ phóng đại tổng cộng)
h' = 1.0 cm (−0.014752) = −1.475 mm