MẮT GIẢN ĐỒ

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:

- Các thông số thường dùng ở mắt giản đồ
- Mắt giản đồ chính xác Gullstrand
- Ảnh hưởng của thay đổi các hằng số quang học

CÁC THÔNG SỐ CỦA MẮT THƯỜNG DÙNG Ở MẮT GIẢN ĐỒ

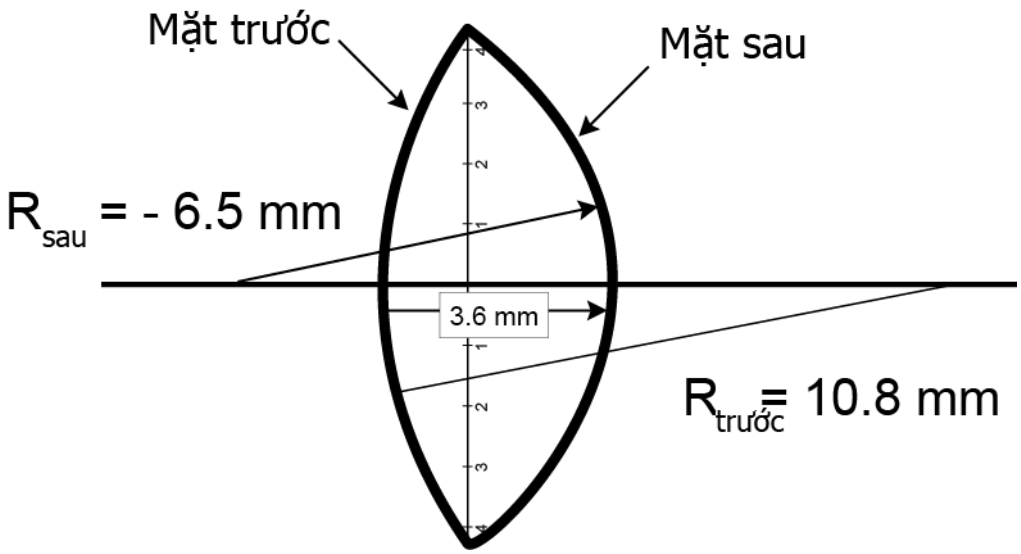
ĐỘ SÂU TIỀN PHÒNG

Độ sâu tiền phòng là khoảng cách giữa mặt sau giác mạc và đỉnh của mặt trước thể thủy tinh. Độ sâu tiền phòng thay đổi từ 2.7 đến 4.5 mm với giá trị trung bình là khoảng 3.45 mm.

CHIẾT SUẤT CỦA THỂ THỦY TINH

Các thông số của một thể thủy tinh bình thường được nêu trong Hình 3.1. Thể thủy tinh điển hình có bán kính cong mặt trước xấp xỉ 6mm và bán kính cong mặt sau vồng (cong) hơn, xấp xỉ 10mm.

Đo chiết suất của giác mạc (1.376), thủy dịch (1.336), và dịch kính (1.336) rất dễ dàng vì các môi trường này tương đối đồng nhất. Tuy nhiên, thể thủy tinh thì không đồng nhất, nó gồm có nhiều lá trong đó chiết suất tăng dần từ bề mặt về phía trung tâm của thể thủy tinh. Ở người trẻ, sự thay đổi chiết suất liên tục qua toàn bộ thể thủy tinh. Ở người nhiều tuổi, khi thể thủy tinh đã hoàn chỉnh thì chiết suất của các phần của thể thủy tinh tách biệt rõ ràng với lớp bên ngoài tạo thành các mặt đẳng chiết suất (iso-index surfaces) có thể quan sát được bằng đèn khe. Đặc biệt, phần nhân trung tâm của thể thủy tinh trở nên có ranh giới rõ rệt với phần **vỏ** bao quanh của thể thủy tinh. Sự gián đoạn chiết suất giữa phần nhân và phần vỏ là đủ để tạo thành các ảnh phản xạ ở mặt phân cách giữa phần nhân và phần vỏ.



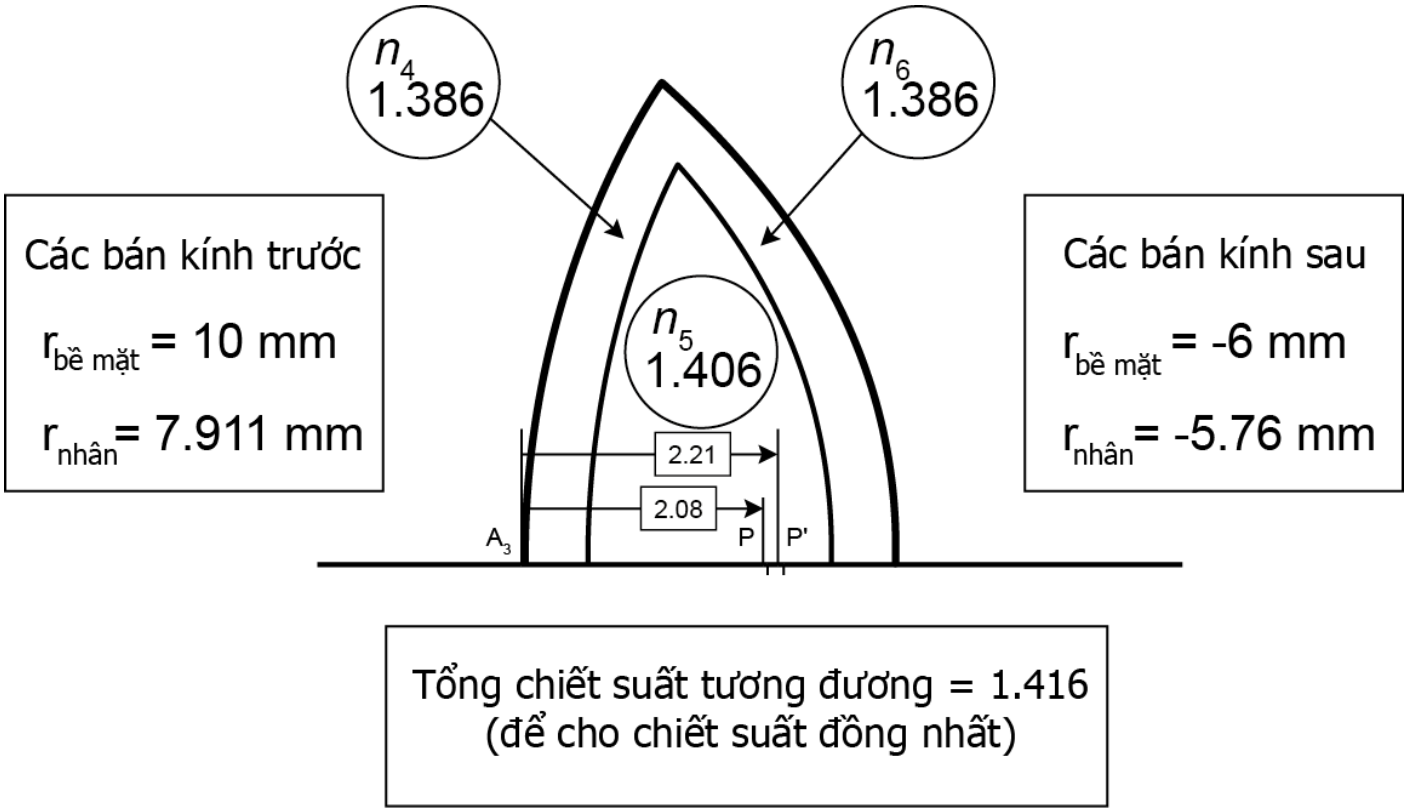
Hình 3.1: *Các thông số của một thể thủy tinh điển hình*

Chiết suất của các môi trường của mắt không thể đo được chính xác ở mắt người sống. Các giá trị chiết suất đã được dùng để phát triển các mô hình mắt giản đồ đều dựa trên các kết quả đo được trong các nghiên cứu ở tử thi. Dụng cụ thường dùng để đo chiết suất là **khúc xạ kế Abbe**. Khúc xạ kế này cấu tạo gồm có một kính ngắm quan sát và một lăng kính có chiết suất đã biết. Kính ngắm được dùng để tìm góc tới giới hạn của mặt phân cách giữa lăng kính và chất đang được xem xét. Khi một tia sáng rọi vào mặt phân cách ở góc tới hạn thì góc khúc xạ sẽ là 90°, tức là tia khúc xạ sẽ trùng với mặt phân cách. Do đó, sin của góc tới hạn của một môi trường đã cho thay đổi theo tỉ số giữa chiết suất của chất đang được xem xét và chiết suất của lăng kính ($n_{\text{không biết}}/n_{\text{lăng kính}}$).

Thể thủy tinh không có chiết suất đồng nhất. Ngay cả ở mắt bình thường, có thể thấy những vùng gián đoạn đồng tâm, có lẽ kèm theo các giai đoạn phát triển khác nhau. Các vùng gián đoạn có thể được thấy rất rõ khi một lớp bị đục.

Thể thủy tinh rất khó đo đạc về mặt quang học, nhưng việc thể thủy tinh không có chiết suất đồng nhất mà tăng dần từ mặt ngoài vào phía trung tâm lại có 2 ưu điểm quan trọng. Thứ nhất, cấu trúc này dẫn đến tổng công suất khúc xạ lớn hơn. Mặc dù thể thủy tinh không đồng nhất với chiết suất bằng chiết suất của phần trung tâm thể thủy tinh, thể thủy tinh nhân tương đương (tức là một thể thủy tinh có chiết suất tăng dần) sẽ có công suất khúc xạ lớn hơn. Thứ hai, cấu trúc nhân tương đương làm giảm độ cầu sai dương ở mắt.

Về mặt quang học, rất khó xử lí các cấu trúc có chiết suất thay đổi liên tục, do đó người ta thường coi thể thủy tinh là gồm 2 phần riêng biệt: phần **nhân** trung tâm 2 mặt lồi được bao quanh bởi một thấu kính 2 mặt lồi lớn hơn gọi là phần **vỏ**. Chiết suất của phần vỏ thường được coi là 1.386 và của phần nhân là 1.406. Các mô hình thể thủy tinh giản đồ gồm 2 phần riêng biệt (phần nọ nằm trong phần kia) có chiết suất khác nhau nhưng đồng nhất được gọi là **thể thủy tinh nhân tương đương** (equivalent core lens) (xem Hình 3.3).



Hình 3.3: *Sơ đồ cho thấy chiết suất đồng nhất cần thiết để đại diện cho một thể thủy tinh nhân tương đương của mắt*

CÔNG SUẤT THỂ THỦY TINH

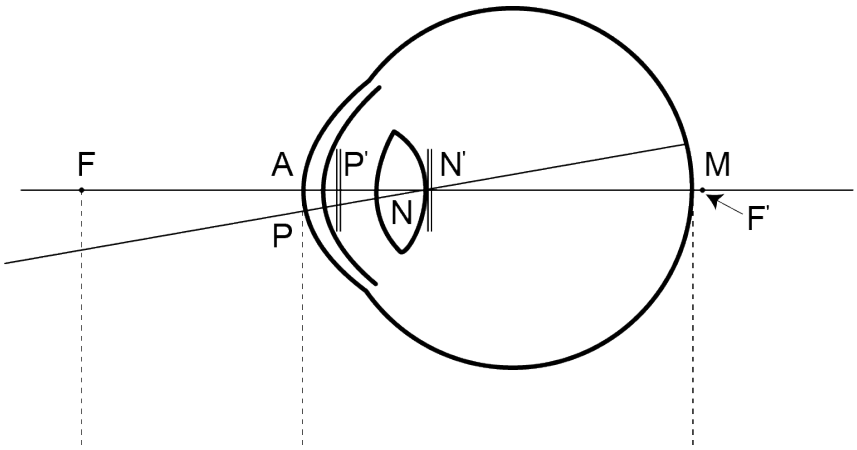
Ở trạng thái không điều tiết, công suất thể thủy tinh thường là khoảng +20.8 D. Tuy nhiên, những số liệu sẵn có rất khác nhau và phần lớn là những số ước tính của công suất.

ĐỘ DÀI TRỤC NHÃN CẦU

Phân phối tần số của các thành phần mắt riêng lẻ (ngoại trừ độ dài trục nhãn cầu) theo một phân phối Gauss chuẩn. Sorsby (1981) đã cho thấy rằng độ dài trục nhãn cầu được phân phối một cách ngẫu nhiên trong dân số chung. Mặc dù được chọn ngẫu nhiên, quần thể nghiên cứu vẫn là nhỏ. Stenstrom (1948) thấy rằng phân phối có dạng đường cong nhọn (leptokurtotic) hơn là dạng "chuẩn" và không đối xứng, bao gồm một số lượng lớn hơn của các mắt dài hơn (xem Hình 3.8). Do phân phối các tật khúc xạ có dạng đường cong nhọn nên không thể có liên kết tự do giữa các thành phần riêng lẻ. Tương quan cao nhất thường được thấy giữa tật khúc xạ và độ dài trục nhãn cầu.

MẮT GIẢN ĐỒ CHÍNH XÁC GULLSTRAND

Mắt giản đồ là các mô hình của hệ thống quang học của mắt. Có nhiều mắt giản đồ khác nhau bởi vì có nhiều người nghiên cứu mắt như là một dụng cụ quang học. Tuy nhiên, có 3 loại mắt giản đồ cơ bản khác nhau chủ yếu về độ phức tạp của chúng. Một trong những mô tả đầy đủ nhất về hệ thống quang học của mắt là **mắt giản đồ chính xác Gullstrand** (còn được gọi là mắt Gullstrand số 1; xem Hình 3.4 và Bảng 3.1 kèm theo). Mắt giản đồ chính xác Gullstrand là một mắt viễn thị (khoảng +1.00 D) và gồm có 6 mặt khúc xạ, 4 trong 6 mặt gắn với một thể thủy tinh nhân tương đương. Ưu điểm chính của mắt giản đồ chính xác Gullstrand là tất cả các hằng số quang học của mắt cho một giá trị xấp xỉ rất phù hợp với các kích thước của "mắt trung bình". Về mặt này, so sánh giữa các đặc điểm của mắt một bệnh nhân đã cho với mắt chính xác Gullstrand có thể cho biết bản chất tật khúc xạ của bệnh nhân (tức là tật khúc xạ **do trục** hay **do khúc xạ**?).



Hình 3.4: *Mắt giản đồ chính xác Gullstrand số 1 (Emsley 1955)*

F và F': tiêu điểm chính thứ nhất và thứ hai; A: đỉnh giác mạc; P và P': điểm chính thứ nhất và thứ hai, N và N': điểm nút thứ nhất và thứ hai; M: hoàng điểm.

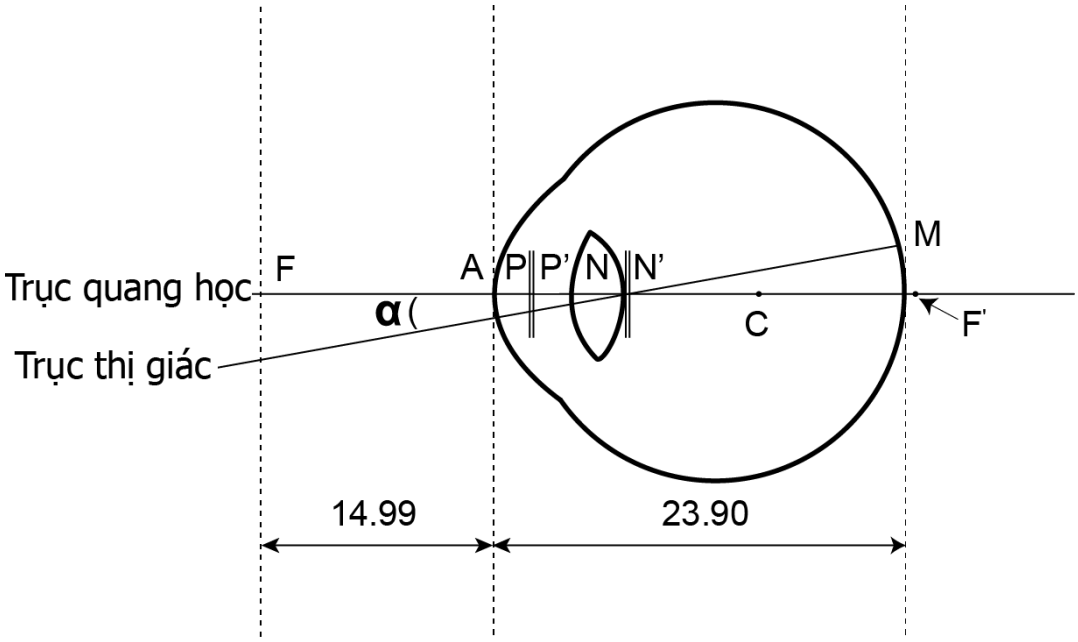
Bảng 3.1 Các đặc điểm của mắt giản đồ chính xác Gulstand số 1

Các đặc điểm chính
6 mặt khúc xạ
Thể thủy tinh nhân tương đương
Viễn thị (+1.00 DS)
Phiên bản không điều tiết và phiên bản có điều tiết
Ước lượng tốt các kích thước của mắt trung bình

Ghi chú: Bạn có thể không phải nhớ các hằng số của mắt Gullstrand số 1. Tuy nhiên, cần biết đủ chi tiết để xác định nếu mắt bệnh nhân có một khía cạnh nào đó bất thường (thí dụ độ dài trục nhãn cầu, độ cong giác mạc hoặc độ sâu tiền phòng dài hoặc ngắn bất thường). Và bạn cần có một nhận biết khái quát về cấu tạo quang học của mắt, tức là cả 2 điểm nút đều ở gần mặt sau thể thủy tinh và 2 mặt phẳng chính ở rất gần nhau và nằm trong tiền phòng.

MẮT GIẢN ĐỒ RÚT GỌN

Mắt giản đồ chính xác Gullstrand có ích để hiểu được cách thức hoạt động của mắt về mặt quang học, nhưng đối với hầu hết các mục đích thì chỉ cần một phiên bản đơn giản hơn của quang hệ của mắt. Do đó, người ta đã đưa ra một số mô hình giản đồ chỉ có 3 mặt khúc xạ. **Mắt giản đồ rút gọn** Gullstrand số 2 (xem Hình 3.5 và Bảng 3.2) là một thí dụ tốt của một mắt giản đồ gồm 3 mặt. Ở mắt giản đồ rút gọn, giác mạc được coi là mỏng vô hạn và được biểu diễn bằng một mặt khúc xạ cầu đơn phân cách với thủy dịch. Thể thủy tinh được coi là có chiết suất đồng đều. Ở mắt Gullstrand số 2 (phiên bản không điều tiết), các độ cong của mặt trước và mặt sau thể thủy tinh giống như các độ cong được dùng ở mắt giản đồ chính xác. Để bù trừ cho sự mất công suất khúc xạ do loại bỏ thể thủy tinh nhân tương đương, thể thủy tinh ở mắt giản đồ được cho là có chiết suất cao hơn so với phần nhân của thể thủy tinh nhân tương đương (1.413 hoặc 1.416 so với 1.406). Trái ngược với mắt giản đồ chính xác, mắt giản đồ rút gọn là chính thị.



F & **F'** = Tiêu điểm chính thứ nhất & thứ hai
A = Đỉnh giác mạc
P & **P'** = Điểm chính thứ nhất & thứ hai
N & **N'** = Điểm nút thứ nhất & thứ hai
M = Hoàng điểm
α = Góc giữa trục quang học và trục thị giác

Hình 3.5: *Mắt giản đồ rút gọn Gullstrand số 2 (Emsley 1955)*

F và F': tiêu điểm chính thứ nhất và thứ hai; A: đỉnh giác mạc; P và P': điểm chính thứ nhất và thứ hai, N và N': điểm nút thứ nhất và thứ hai; M: hoàng điểm; α: góc giữa trục quang học và trục thị giác.

Bảng 3.2 Đặc điểm của mắt giản đồ rút gọn Gullstrand số 2

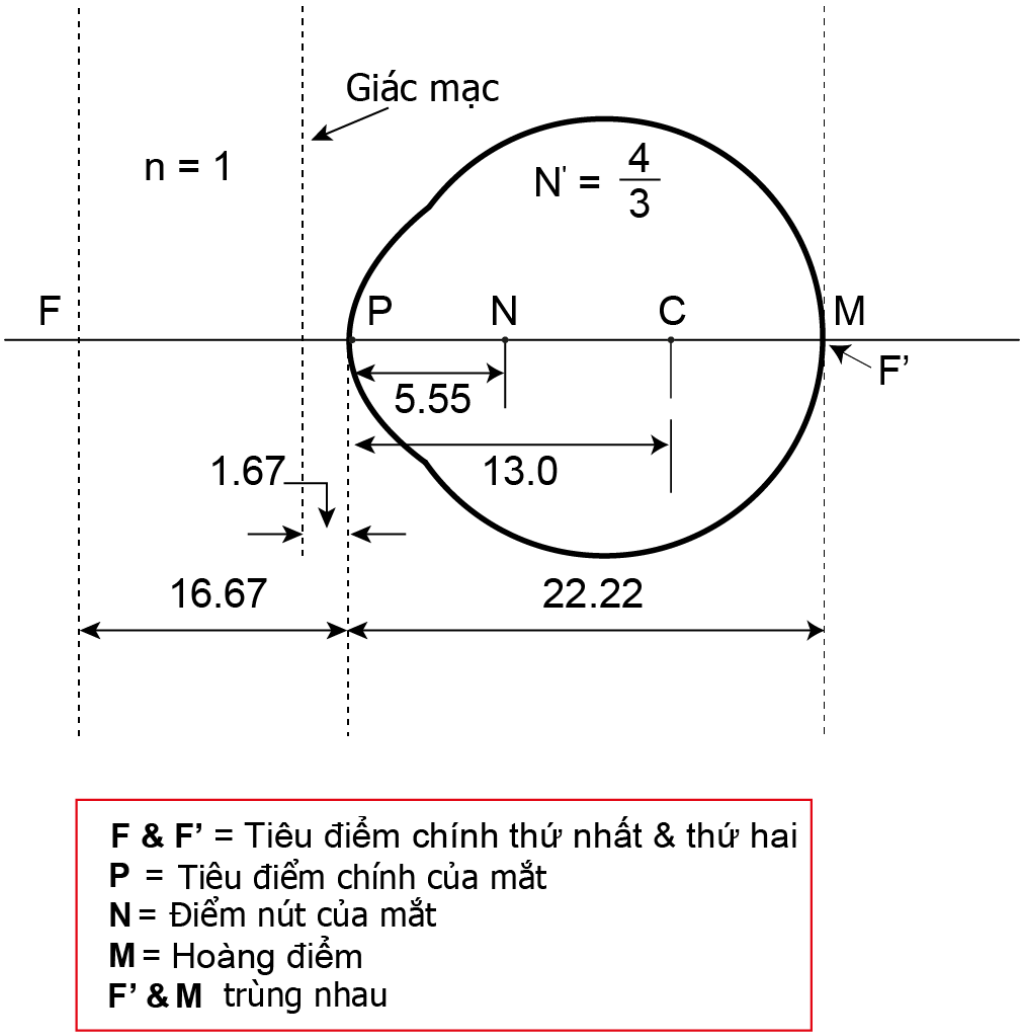
Các đặc điểm chính
3 mặt khúc xạ
Chiết suất của thể thủy tinh được tăng lên 1.416 để bù trừ sự giảm chênh lệch chiết suất
Chính thị

MẮT GIẢN ĐỒ RÚT GỌN

Ngay cả mắt rút gọn cũng vẫn còn quá cồng kềnh so với phần lớn các áp dụng lâm sàng. Do đó Listing, theo sau là nhiều nhà nghiên cứu khác, đã giảm quang học của mắt thành một mặt khúc xạ cầu đơn. Lí lẽ của Listing để đặt tất cả các công suất khúc xạ của mắt ở một mặt đơn bắt nguồn từ thực tế là các mặt phẳng chính thứ nhất và thứ hai (do đó các điểm nút cũng như vậy) cách nhau một khoảng rất ngắn - chỉ khoảng 0.25 mm. Một mặt khúc xạ cầu đơn chỉ có một mặt phẳng chính (tương ứng với đỉnh của bề mặt, tức là điểm giao cắt với trục quang học) và một điểm nút (tương ứng với tâm độ cong của mặt khúc xạ), do đó Listing đã kết hợp 2 mặt phẳng chính của mắt và 2 điểm nút thành các điểm đơn đại diện cho đỉnh và tâm độ cong của một mặt khúc xạ cầu tương đương. Vị trí của mặt khúc xạ rút gọn Listing do đó ở sau giác mạc khoảng 1.5 mm phân cách không gian vật (không khí) và không gian ảnh (dịch kính).

Ghi chú: Đối với bất kì quang hệ nào, khi các chiết suất ở 2 mặt của quang hệ khác nhau thì quang hệ có thể được thay thế bằng một mặt khúc xạ đơn – thường gọi là mặt tương đương – đỉnh của nó nằm ở điểm chính thứ hai và tâm độ cong của nó tương ứng với điểm nút thứ hai.

Mô hình mắt rút gọn được dùng ở đây đã được tính bởi Emsley và được minh họa trong Hình 3.6 và Bảng 3.3. Mắt rút gọn Emsley là một mắt chính thị có độ dài trục nhãn cầu 23.9 mm. Mặt khúc xạ đơn nằm ở sau giác mạc 1.67 mm (trước võng mạc 22.22 mm) và có bán kính cong 5.55 mm. Chiết suất của không gian ảnh là 4/3, do đó mặt khúc xạ có một công suất khúc xạ +60.00 D.



Hình 3.6: *Mắt rút gọn Emsley (Emsley 1955)*

F và F': tiêu điểm chính thứ nhất và thứ hai; P: điểm chính của mắt, N: điểm nút của mắt; M: hoàng điểm; F' trùng với M.

Bảng 3.3 Các đặc điểm của mắt rút gọn Emsley

Các đặc điểm chính
Một mặt khúc xạ được đặt ở sau giác mạc 1.67mm
Chính thị
Tổng công suất +60 D

ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI CÁC HẰNG SỐ QUANG HỌC

Tình trạng khúc xạ của một mắt phụ thuộc vào cân bằng giữa đặc tính của các thành phần khúc xạ của mắt và độ dài trục của nó. Ảnh hưởng của sự thay đổi độ dài trục rất rõ ràng. Giả sử các thành phần quang học không thay đổi thì tăng độ dài trục nhãn cầu của mắt sẽ làm cho mắt cận thị hơn/viễn thị ít hơn. Giảm độ dài trục gây ra sự dịch chuyển tương đối từ cận thị về phía viễn thị. Tuy nhiên, để dự đoán ảnh hưởng của sự thay đổi các đặc tính của một mặt khúc xạ đơn (**riêng biệt**) thì không phải rõ ràng như thế. Bởi vì một số bệnh (thí dụ đái tháo đường) và phương pháp điều trị (thí dụ đeo kính tiếp xúc) có thể gây ra những thay đổi như vậy, cần hiểu được tình trạng khúc xạ của một bệnh nhân có thể bị thay đổi thế nào bởi sự thay đổi các hằng số quang học của mắt. Về mặt này, kiến

thức căn bản về các hằng số của các mắt giản đồ sẽ giúp dự đoán được tình trạng khúc xạ của mắt phụ thuộc vào các thành phần quang học của nó như thế nào. Có 3 loại biến đổi cơ bản có thể làm thay đổi đáng kể tình trạng khúc xạ của mắt.

1. Độ cong của các mặt khúc xạ

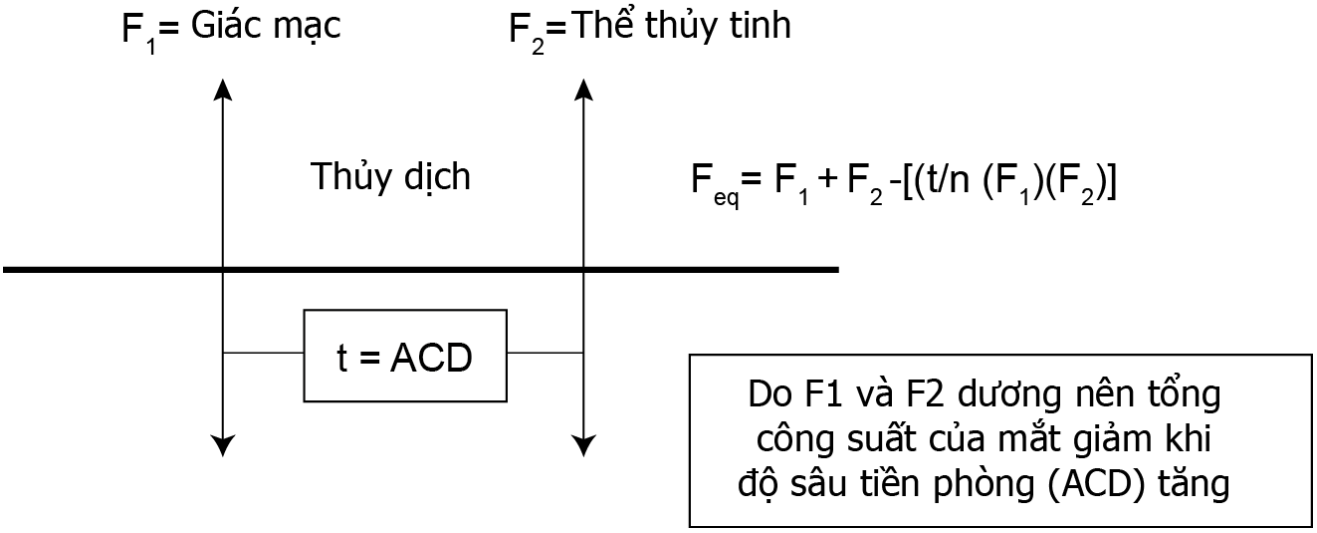
Ảnh hưởng của sự thay đổi độ cong các mặt khúc xạ của mắt tương đối dễ dự đoán. Sự tăng độ cong ((tức là giảm bán kính cong) của một mặt khúc xạ làm tăng công suất khúc xạ của mắt (mắt trở thành cận thị hơn/viễn thị ít hơn). Trường hợp ngoại lệ là ở mặt sau giác mạc. Do mặt sau giác mạc có hiệu ứng khúc xạ âm ở mắt nên sự tăng độ cong mặt sau giác mạc dẫn đến giảm tổng công suất khúc xạ.

2. Vị trí của các thành phần khúc xạ

Có thể dự đoán ảnh hưởng của sự thay đổi vị trí một cấu trúc khúc xạ nếu biết được hiệu ứng khúc xạ ở mắt của các cấu trúc (tức là cộng hoặc trừ) và công thức công suất tương đương của thấu kính dày.

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

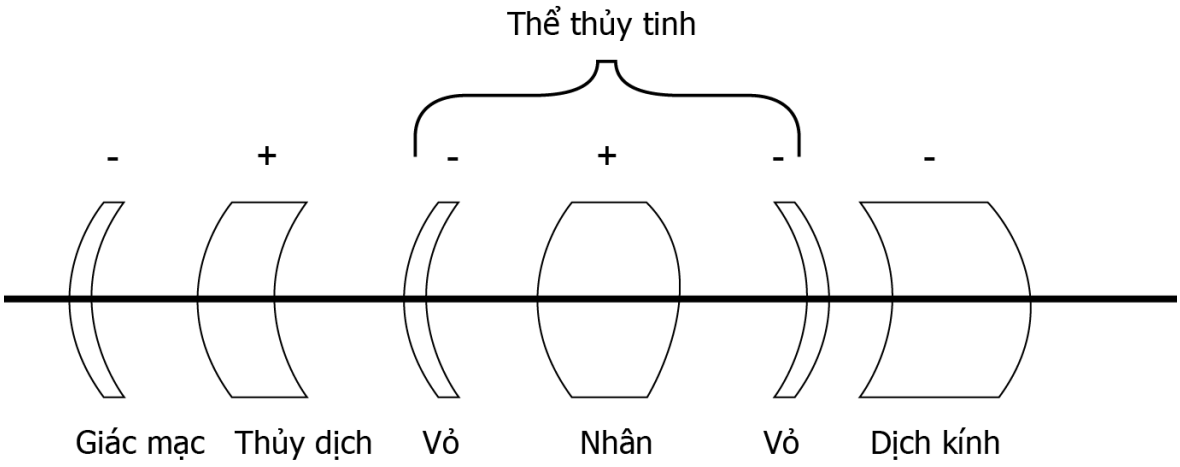
Thí dụ, nếu thể thủy tinh dịch chuyển về phía giác mạc, thì tổng công suất khúc xạ của mắt sẽ tăng. Trong trường hợp này, cả giác mạc và thể thủy tinh đều có hiệu ứng khúc xạ dương ở mắt, do đó hệ số khoảng cách $[-t/n(F_1F_2)]$ trong công thức công suất tương đương sẽ nhỏ hơn (bởi vì "t" nhỏ hơn), dẫn đến tổng công suất khúc xạ lớn hơn (xem Hình 3.7).



Hình 3.7: *Ảnh hưởng quang học của sự thay đổi độ sâu tiền phòng là rất nhỏ.*
Thí dụ, dịch chuyển thể thủy tinh 1mm về phía trước làm tăng tổng công suất của mắt khoảng 1.4 D

Chiết suất

Có thể dễ dàng dự đoán ảnh hưởng của sự thay đổi chiết suất bằng cách hình dung là đưa một lớp không khí mỏng giữa các môi trường tiếp giáp nhau của mắt. Việc đưa không khí vào giữa các môi trường sẽ không làm ảnh hưởng đến hướng của các tia khúc xạ. Khi các môi trường được phân cách bởi không khí, mỗi thành phần quang học của mắt sẽ tạo thành một thấu kính cộng hoặc trừ, ngoại trừ dịch kính có thể được coi như là một mặt khúc xạ cầu đơn (xem Hình 3.8). Tăng chiết suất sẽ làm tăng hoặc giảm tổng công suất khúc xạ của mắt tùy thuộc vào ảnh hưởng khúc xạ của thành phần cụ thể trong không khí là cộng hay là trừ. Thí dụ, thủy dịch và nhân của thể thủy tinh tạo thành các thấu kính cộng trong không khí, do đó tăng chiết suất sẽ dẫn đến tăng tổng công suất khúc xạ của mắt (tức là sự dịch chuyển về phía cận thị hơn/ít viễn thị hơn). Để so sánh, các thành phần còn lại tạo thành các thấu kính trừ, do đó tăng chiết suất của chúng sẽ gây ra sự dịch chuyển về phía viễn thị.



Hình 3.8: *Tăng chiết suất sẽ làm tăng hoặc giảm tổng công suất khúc xạ của mắt tùy thuộc vào tác dụng khúc xạ của cấu trúc ở trong không khí là dương hay âm (theo Fry)*

Các phép tính công suất của mặt trước và mặt sau giác mạc dưới đây chứng minh rằng tăng chiết suất của giác mạc sẽ làm giảm tổng công suất khúc xạ dương của giác mạc.

Giả sử giác mạc có các thuộc tính sau:

Bán kính mặt trước = 7.8 mm
Bán kính mặt sau = 6.8 mm
Chiết suất (giác mạc) = 1.376
Chiết suất (thủy dịch) = 1.336

Công suất khúc xạ của mặt trước sẽ là:

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

Công suất khúc xạ của mặt sau sẽ là:

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

Bây giờ, giả sử chiết suất của giác mạc tăng lên tới 1.386.

Công suất khúc xạ mới của mặt trước sẽ là:

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

tức là chiết suất giác mạc tăng 0.010 làm cho công suất khúc xạ của mặt trước tăng+1.3 D.

Công suất khúc xạ mới của mặt sau sẽ là:

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

tức là tăng chiết suất làm cho mặt sau giác mạc có thêm một công suất âm −1.47 D. Kết hợp lại, sự thay đổi tổng công suất khúc xạ của toàn bộ giác mạc do chiết suất tăng 0.01 sẽ là khoảng −0.2 D. Sự giảm tổng công suất cộng này sẽ làm cho mắt trở thành viễn thị hơn hoặc cận thị ít hơn. Về bản chất, thay đổi chiết suất dẫn đến một hiệu ứng khúc xạ âm bởi vì nó có ảnh hưởng lớn hơn đối với chênh lệch chiết suất giữa mặt sau giác mạc và thủy dịch (tức là ở mặt phân cách có một hiệu ứng khúc xạ âm) so với chênh lệch giữa không khí và mặt trước giác mạc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

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