BrienHoldenVisionInstitute

GIỚI THIỆU VỀ VÕNG MẠC HAI CHIỀU

TÁC GIẢ

Thomas Salmon: Đại học bang Northeastern, Hoa kì

THẨM ĐỊNH

Scott Steinman: Đại học khúc xạ nhãn khoa Nam California, Hoa kì

CHƯƠNG NÀY BAO GỒM CÁC NỘI DUNG:

- Bản chất 2 chiều của võng mạc
- So sánh các tế bào que và các tế bào nón
- Rhodopsin
- Độ nhạy phổ của hệ thống nhìn ban đêm

BẢN CHẤT 2 CHIỀU CỦA VÕNG MẠC

Ở cuối Chương 6, chúng ta đã bàn về độ rọi võng mạc, đó là lượng ánh sáng rơi vào võng mạc ở một ảnh võng mạc. Đơn vị đo **độ rọi võng mạc** là **troland**, và cách tính độ rọi võng mạc rất đơn giản (Schwartz, 2004 Chương 3):

Độ rọi võng mạc (troland) = độ chói vật (nit) x diện tích đồng tử (mm^2)

Trong thí dụ ở bài trước, chúng ta thấy rằng khi nhìn một tờ giấy ở dưới ánh mặt trời sáng chói (10 000 nit, đồng tử đường kính 2 mm), độ rọi võng mạc bằng 31 400 troland. Khi nhìn một tờ giấy ở dưới ánh sáng sao (0.0001 nit, đồng tử đường kính 8 mm), độ rọi võng mạc là 0.005 troland.

Trong thí dụ này, độ rọi võng mạc trong điều kiện nhìn sáng chói lớn gấp bao nhiêu lần so với điều kiện nhìn tối mờ?

Tỉ số = 31 400/0.005 = 6 280 000

Chúng ta không khó khăn khi nhìn một tờ giấy dưới ánh nắng chói hoặc ánh sáng sao, mặc dù thực tế là độ rọi võng mạc cho một tờ giấy trong ánh nắng sáng hơn khoảng 6.3 triệu lần (31 400/.005 lần, 6.8 đơn vị loga) so với tờ giấy nhìn dưới ánh sáng sao.

Hệ thống thị giác của người có khả năng hoạt động trên một dải rộng đáng ngạc nhiên của các mức độ rọi sáng: thay đổi độ rọi sáng trên 10 đơn vị loga (100 dB)! Tức là thay đổi mức sáng 10 000 000 000 (10 tỉ) lần! Máy ảnh phim, máy ảnh kĩ thuật số hoặc các thiết bị điện tử video không thể so được với **dải động** (dynamic range) của mắt người. Trích từ một bài báo trên mạng về một cảm biến ảnh dải động rộng:

BẢN CHẤT 2 CHIỀU CỦA VÕNG MẠC (TIẾP THEO)

Dải động là tỉ số của ảnh sáng nhất có thể thu nạp bởi hệ tạo ảnh trên ảnh tối nhất có thể thu nạp. Cường độ sáng lớn hơn ảnh sáng nhất có thể sẽ làm bão hòa cảm biến, cường độ sáng thấp hơn ảnh tối nhất có thể sẽ không được ghi vào cảm biến. Cả 2 điều kiện này làm biến dạng ảnh, che lấp những thông tin có thể quan trọng ở ngoài dải động của cảm biến.(http://www.videsignline.com/showArticle.jhtml?articleID=181502565)

Một bài báo khác trên mạng ngày 5 tháng 2, 2008 đã mô tả cách một kĩ sư của Panasonic đã cố gắng cải thiện dải động của các máy ảnh kĩ thuật số bằng cách kết hợp nhiều ảnh, mỗi ảnh được chụp ở một mức phơi sáng khác nhau. Bằng cách này, họ có thể đạt được dải động 140 decibel so với các cảm biến thông thường có dải động 60dB. Mặc dù những cố gắng như các cảm biến Super CCD của Fujifilm, những người thạo máy ảnh thường thất vọng do dải động của các cảm biến ảnh yếu hơn đáng kể so với dải động mà mắt người có thể phát hiện được. Mặc dù nghiên cứu của Panasonic cho thấy một số triển vọng, nghiên cứu đã cho thấy cho đến nay chỉ có các ảnh đen trắng là phù hợp "cho các camera ôtô và an ninh," theo báo cáo của các nhà nghiên cứu. (http://news.cnet.com/8301-13580_3-9864843-39.html)

Màn hình máy tính cũng có vấn đề này. Làm thế nào chúng có thể hiển thị một dải rộng các độ sáng với một dải động kém hơn nhiều so với dải động của mắt người?

Ngoài ra, trích từ bài viết ở Wikipedia về dải động:

Trong thực tế, khi dùng thiết bị điện tử, khó có thể đạt được toàn bộ dải động thấy được bởi mắt người, bởi vì hầu hết các thiết bị tái tạo điện tử về bản chất là dạng tuyến tính chứ không phải cảm nhận dạng logarit như ở người. Các thiết bị tái tạo điện tử âm thanh và hình ảnh thường sử dụng một thủ thuật nào đó đặt dữ liệu gốc có dải động rộng vào một dải động ghi được hẹp hơn, dải động này dễ tái tạo hơn gọi là sự nén động học. Thí dụ một màn hình LCD chất lượng tốt có một dải động khoảng 1,000 hoặc 30 dB

(http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_range#Photography)

Phim máy ảnh chỉ có một dải động khoảng 3 đơn vị loga (30 dB) và các cảm biến điện tử như máy ảnh kĩ thuật số hoặc camera có một dải động khoảng 6 logarit (60 dB). Làm thế nào để có thể tăng tối đa dải động của một máy ảnh? Điều này có thể thực hiện được bằng các cách sau:

1. Thay đổi khẩu độ máy ảnh.
2. Thay đổi tốc độ cửa sập (thời gian phơi sáng).
3. Thay đổi độ nhạy của máy ảnh. Thí dụ ở các máy ảnh dùng phim thì phim ISO 400 nhạy hơn và hữu ích để chụp ảnh ở độ rọi thấp. Mặt khác, phim ISO 100 hữu ích để chụp ảnh trong điều kiện nhiều ánh sáng.

Hệ thống thị giác thích ứng thế nào với một dải cực độ như vậy (10 tỉ lần) của các mức sáng? Thay đổi kích thước đồng tử có thể đến mức độ nào? Điều này có thể giải thích khả năng của mắt hoạt động ở một khoảng độ rọi như vậy không? Khi thay đổi kích thước đồng tử, mắt có thể điều chỉnh độ rọi võng mạc bằng một khoảng lớn như vậy không? Chúng ta có thể kiểm tra điều này bằng cách tính độ rọi võng mạc cho các kích thước đồng tử cực độ, giả sử một vật có độ chói cố định.

Thí dụ

Hãy xem xét một tờ giấy trắng có độ sáng 100 nit. Tính độ rọi võng mạc cho một đồng tử đường kính 9 mm.

troland = (độ chói n = bằng nit) × (diện tích đồng tử bằng mm)

diện tích đồng tử = $\pi r^2 = (3.14)(4.5)^2 = 63.62$ mm^2

troland = (100)(63.62) = 6,362 troland

Làm lại phép tính cho cũng vật đó, nhưng với đường kính đồng tử 2 mm.

troland = (độ chói bằng nit) × (diện tích đồng tử bằng mm)

diện tích đồng tử là $\pi r^2 = (3.14)\ (1)^2 = 3.14$ mm^2

troland = (100)(3.14) = 314 troland

BẢN CHẤT 2 CHIỀU CỦA VÕNG MẠC (TIẾP THEO)

Tỉ số các độ rọi võng mạc này được gây ra bởi các đồng tử kích thước cực độ là 6362/314 = khoảng 20/1. Do đó, đồng tử có thể điều chỉnh độ rọi võng mạc chỉ khoảng 20 lần, tức là bằng khoảng 1.3 đơn vị loga (13 dB). Vậy thì làm thế nào mắt có thể điều chỉnh tới một khoảng độ rọi võng mạc 10 đơn vị loga (100 dB)?

Phần điều chỉnh còn lại đối với các mức sáng khác nhau được thực hiện ở tại võng mạc. Nó giống như là võng mạc có các loại phim khác nhau cho các mức sáng khác nhau, chỉ khác là hệ thống thích ứng với các mức sáng khác nhau của võng mạc phức tạp hơn nhiều so với phim máy ảnh.

Thích ứng thị giác rất hiệu quả bởi vì chúng ta có 2 loại tế bào quang thụ để hoạt động ở các mức sáng khác nhau. Mỗi loại tế bào quang thụ có thể thích ứng hoặc điều chỉnh theo một khoảng rộng các mức sáng và cùng với nhau chúng đem lại cho hệ thống thị giác của người một dải động rất rộng:

- **Hệ thống nhìn ban ngày** (photopic system**):** hoạt động trong điều kiện có ánh sáng, nó nhận tín hiệu vào từ các tế bào nón.
- **Hệ thống nhìn ban đêm** (scotopic system)**:** hoạt động trong điều kiện thiếu sáng, nó nhận tín hiệu vào từ các tế bào que.

Do chúng ta có 2 hệ thống để hoạt động ở các khoảng độ rọi võng mạc khác nhau nên các nhà khoa học nói rằng chúng ta có một **võng mạc hai chiều**. Khoảng độ rọi của hệ thống nhìn ban ngày và hệ thống nhìn ban đêm có một phần chồng nhau, do đó đối với các mức sáng trung gian, cả hệ thống nhìn ban ngày và hệ thống nhìn ban đêm có thể hoạt động đồng thời. Thị lực ở mức sáng trung gian này được gọi là thị lực **hoàng hôn** (mesopic) (xem Schwartz, 2004 Bảng 3-1).

SO SÁNH TẾ BÀO QUE VÀ TẾ BÀO NÓN

Các tế bào quang thụ của võng mạc (tế bào que và tế bào nón) có những điểm giống nhau, cũng như những điểm khác biệt về cấu trúc tế bào và chức năng sinh lí.

NHỮNG ĐIỂM GIỐNG NHAU VỀ CẤU TRÚC CỦA TẾ BÀO QUE VÀ TẾ BÀO NÓN

(xem Schwartz, 2004 Chương 3, Các hình 3-1, 3-2)

- Tế bào hình ống dài
- **Đoạn ngoài** (gần biểu mô sắc tố võng mạc) chứa số lượng lớn các phần tử hình đĩa
- **Đoạn trong** (phía dịch kính) chứa các bào quan như nhân và ti thể
- Đoạn trong và đoạn ngoài được nối với nhau bằng một lông rung
- Tạo synap với tế bào 2 cực và các tế bào khác ở **lớp rối ngoài**

CÁC ĐOẠN NGOÀI

Chúng ta sẽ tập trung vào đoạn ngoài của các tế bào quang thụ, bởi vì các đĩa ở trong các đoạn ngoài chứa **các quang sắc tố** là nơi bắt đầu quá trình sinh lí của thị giác bằng cách tiếp nhận. Đoạn ngoài của các tế bào nón thon dần (hình nón), trong khi đoạn ngoài của các tế bào que có hình ống (Hình Schwartz 3-1). Tuy nhiên, điều này không phải là đúng đối với tất cả các tế bào nón, ở hoàng điểm nơi các tế bào nón dày đặc nhất, chúng có dạng giống hình que hơn.

SO SÁNH TẾ BÀO QUE VÀ TẾ BÀO NÓN

Các đĩa của đoạn ngoài:

- Chứa các quang sắc tố thu nạp ánh sáng và bắt đầu **chuyển nạp ánh sáng** (phototransduction). Chuyển nạp ánh sáng là quá trình trong đó năng lượng ánh sáng được chuyển thành một tín hiệu điện để truyền đến não qua các nơ-ron. Chúng ta sẽ học thêm về quá trình này ở phần sau
- Được tạo thành bởi sự gấp vào của màng tế bào của đoạn ngoài gần mỏm thể mi
- Chúng liên tục được sinh ra và di cư về phía biểu mô sắc tố võng mạc ở ngoài để tạo thành một chồng đĩa
- Ở đoạn ngoài của tế bào que, các đĩa tách ra khỏi màng tế bào và trở thành các cấu trúc di động tự do. Một tế bào que có khoảng 1000 đĩa
- Trong các tế bào nón, các đĩa vẫn gắn với màng tế bào
- Ở đầu ngoài của tế bào, các đĩa đã sử dụng bị rụng ra và bị thực bào bởi biểu mô sắc tố võng mạc
- Sự thực bào quan trọng đối với việc duy trì sức khỏe và chuyển hóa bình thường của tế bào quang thụ. Nếu không có thực bào thì các chất thải chuyển hóa như các gốc tự do sẽ tích tụ lại và gây tổn hại tế bào quang thụ. Đây là một cơ chế bệnh lí của tổn hại võng mạc trong *viêm võng mạc sắc tố.* Chúng ta sẽ lại bàn về viêm võng mạc sắc tố ở phần các khám nghiệm điện chẩn đoán
- Các đĩa của tế bào que bị rụng trong ngày với tốc độ khoảng 10%/ngày
- Các đĩa của tế bào nón thường rụng vào ban đêm
- Đầu synap của tế bào que giống hình cầu hơn (hình cầu nhỏ), synap tế bào nón thì dẹt hơn (cuống nhỏ)

PHÂN BỐ TẾ BÀO QUE VÀ TẾ BÀO NÓN Ở VÕNG MẠC

Hình Schwartz 3-7 cho thấy phân bố tế bào que và tế bào nón ở một lát cắt võng mạc. Hình này tương tự Hình 4-2 ở Chương 4. Như đã nói ở phần trước, tế bào que đạt tới mật độ tối đa ở khoảng 20° ngoại vi hoàng điểm. Ở điểm đó có khoảng 150000 tế bào que mỗi mm^2. Ở 2 vị trí võng mạc không có tế bào que: đĩa thị và hoàng điểm.

Tế bào nón có mật độ tối đa ở hoàng điểm (150000 tế bào nón mỗi mm^2), nhưng chú ý rằng **tế bào nón vẫn có ở chu vi**, mặc dù mật độ ít hơn. Đó là lí do tại sao chúng ta có sắc giác ở chu vi. Nếu xét tổng số tế bào nón ở toàn bộ võng mạc thì *chỉ có 4% tế bào nón là ở hoàng điểm và 96% ở chu vi*.

RHODOPSIN

Khi ánh sáng rơi vào võng mạc, quá trình sinh lí của thị giác bắt đầu khi một phân tử quang sắc tố ở đoạn ngoài thu nạp một photon. Điều này khởi động phản ứng chuỗi sinh hóa được gọi là chuyển nạp ánh sáng. Quang sắc tố thu nạp photon ở các tế bào que được gọi là rhodopsin.

Ở trạng thái chưa tiếp xúc ánh sáng (tức là trước khi hấp thụ ánh sáng), rhodopsin có màu tím, do đó trước đây nó được gọi là tím thị giác. Khi tiếp xúc với ánh sáng, rhodopsin hấp thụ ánh sáng và trải qua một biến đổi hóa học và tẩy trắng thành một màu vàng trong suốt. Một phân tử rhodopsin có thể thu nạp chỉ một photon và khi đã bị tẩy trắng thì nó không còn sẵn sàng để thu nạp một photon khác. Do rhodopsin bị tẩy trắng trở thành trong suốt nên ánh sáng có thể đi qua nó và bị thu nạp bởi phân tử rhodopsin sẵn sàng tiếp theo.
Theo thời gian, rhodopsin phục hồi trở lại trạng thái không bị tẩy trắng (màu tím) và lại sẵn sàng hấp thụ ánh sáng. Nửa chu kì hồi phục rhodopsin là khoảng 5 phút, do đó khoảng một nửa rhodopsin bị tẩy trắng sẽ trở lại trạng thái không bị tẩy trắng trong 5 phút.

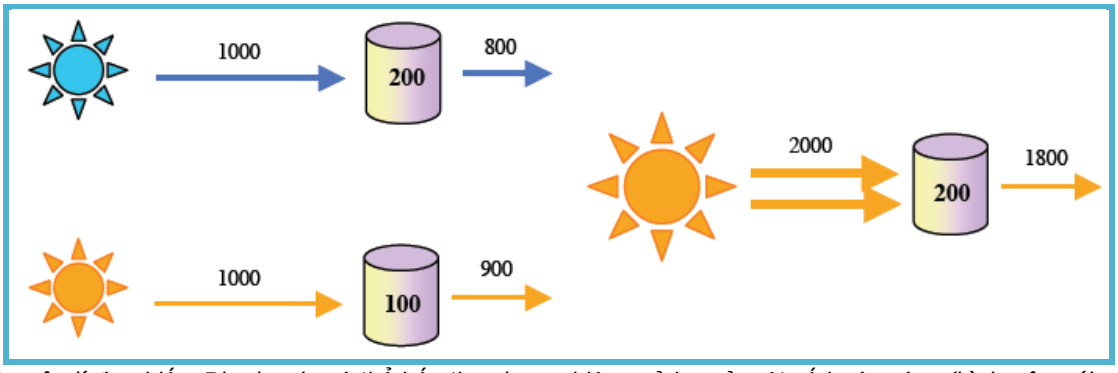
Một mắt có khoảng 120 triệu tế bào que. Mỗi tế bào que có khoảng 1000 đĩa, và mỗi đĩa có khoảng 10000 phân tử. Do đó, mỗi mắt có một số rất lớn (10^{15}) phân tử rhodopsin và chúng liên tục tái sinh. Mắt được sinh ra với một khả năng hấp thụ ánh sáng rất lớn.

RHODOPSIN (TIẾP THEO)

Hiệu quả hấp thụ ánh sáng của rhodopsin thay đổi theo bước sóng. Rhodopsin hấp thụ ánh sáng hiệu quả nhất ở bước sóng 507 nm, và hiệu quả hấp thụ giảm ở các bước sóng ngắn hơn và dài hơn. Phổ hấp thụ tương đối của rhodopsin có thể được xác định bằng thí nghiệm sau đây, được minh họa ở Hình Schwartz 3-3.

- Chiếu một lượng cố định ánh sáng đơn sắc (một bước sóng) đã biết vào một bình rhodopsin.
- Đo lượng ánh sáng truyền qua bằng một bức xạ kế
- Ánh sáng không truyền qua được hấp thụ. Độ truyền qua cao tương ứng với độ hấp thụ thấp và ngược lại. Hình Schwartz 3-3 A cho thấy đường cong hệ số truyền của rhodopsin. Đường cong hệ số truyền của rhodopsin có dạng tương tự biểu đồ bên trái ở Hình 7-2
- Nghịch đảo của đường cong hệ số truyền là đường cong độ hấp thụ, đường cong này của rhodopsin tương tự biểu đồ bên phải ở Hình 7-2. (Hình Schwartz 3-3 B)
- Độ hấp thụ cực đại của rhodopsin là ở khoảng 507 nm

Dù là bước sóng nào, khi photon đã được hấp thụ bởi rhodopsin thì chỉ có một đáp ứng: rhodopsin tẩy trắng và quá trình chuyển nạp ánh sáng bắt đầu. Sau khi phân tử tẩy trắng, bất kể bước sóng, quá trình sinh lí tiếp theo là giống nhau. Do đó, quá trình chuyển nạp ánh sáng, sau khi đã bắt đầu, không giữ thông tin gì về bước sóng ánh sáng đã bắt đầu quá trình.



Hình 7-1: *Nguyên lí đơn biến. Rhodopsin có thể hấp thụ photon hiệu quả hơn ở một số bước sóng (hình trên trái, màu lam, đại diện cho 507 nm) so với các bước sóng khác (hình dưới trái, màu cam, đại diện cho 580 nm), nhưng đáp ứng của một tế bào que với một bước sóng hiệu quả (507 nm) có thể được làm phù hợp bằng cách tăng độ trưng của bước sóng ít hiệu quả hơn (hình phải, màu cam với độ trưng cao hơn)*

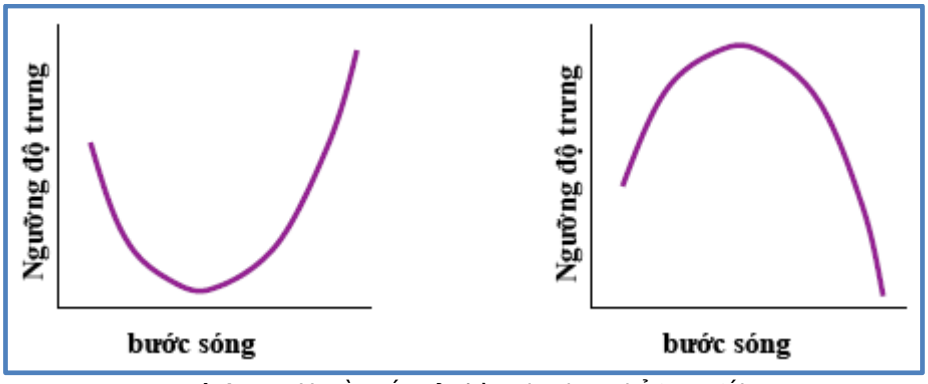
Thí dụ

Nếu bạn rọi sáng võng mạc với 1000 lượng tử ánh sáng ở bước sóng 507nm, bạn có thể tẩy trắng thành công 200 phân tử rhodopsin (hấp thụ 200, truyền qua 800). Nếu bạn rọi sáng cũng phần đó của võng mạc với 1000 lượng tử ánh sáng bước sóng 580 nm, bạn có thể tẩy trắng 100 phân tử rhodopsin, do bước sóng dài được hấp thụ kém hiệu quả hơn. Nếu tăng gấp đôi độ rọi bức xạ của ánh sáng 580 nm lên tới 2000 lượng tử, bạn sẽ tẩy trắng xấp xỉ gấp đôi số (200) phân tử rhodopsin. Con số này bằng kết quả tẩy trắng võng mạc với 1000 lượng tử ánh sáng 507nm. Do đó, khi đã được hấp thụ thì đáp ứng sinh lí của hệ thống thị giác với 1000 lượng tử ánh sáng 507nm và 2000 lượng tử ánh sáng 580nm đều như nhau. Điều này được gọi là **nguyên lí đơn biến** (univariance) (Hình 7-1).

Do hệ thống nhìn ban đêm (tế bào que) sinh ra một đáp ứng sinh lí bất kể bước sóng, và có thể làm cho tín hiệu ra phù hợp ở tất cả các bước sóng bằng cách điều chỉnh độ sáng, hệ thống nhìn ban đêm không truyền thông tin bước sóng nào, do đó mù màu.

ĐỘ NHẠY PHỔ CỦA HỆ THỐNG NHÌN BAN ĐÊM

Hấp thụ phổ của tế bào que (tức là rhodopsin) liên quan chặt chẽ với độ nhạy phổ của hệ thống nhìn ban đêm. Khả năng của chúng ta nhìn được ánh sáng rất yếu bằng hệ thống nhìn ban đêm thay đổi theo bước sóng. Nếu bạn làm một thí nghiệm để xác định ánh sáng tối nhất của một bước sóng mà một người có thể phát hiện được tức là bạn đo *ngưỡng phát hiện* bước sóng đó của người này. Hình 7-2, bên trái (tương tự Hình Schwartz 3-4 A) minh họa sự thay đổi ngưỡng theo bước sóng. Nghịch đảo của *ngưỡng* là *độ nhạy*, và độ nhạy phổ của hệ thống nhìn ban đêm được thấy ở Hình 7-2, bên phải (tương tự Hình Schwartz 3-4 B).



Hình 7-2: *Nguồn gốc của hàm độ nhạy phổ trong tối*

Nhiều thí nghiệm thị giác vật lí thần kinh đo một ngưỡng nhìn, nhưng chuyển dữ liệu thành độ nhạy để hiển thị. Cần nhớ rằng **ngưỡng và độ nhạy có quan hệ thuận nghịch**. Chúng ta đã bàn về khái niệm này khi nghiên cứu về đo thị trường. Trong đo thị trường, bạn đo ngưỡng phát hiện một chấm sáng nhỏ của bệnh nhân, nhưng điều bạn thực sự muốn biết là độ nhạy của hệ thống thị giác trên toàn bộ thị trường.

Một thí dụ lâm sàng khác là một khám nghiệm gọi là **độ nhạy tương phản** mà chúng ta sẽ nghiên cứu chi tiết ở phần sau của khóa học. Độ nhạy tương phản cung cấp thông tin về hiệu năng thị giác chi tiết hơn là **thị lực**. Bạn xác định độ nhạy tương phản của một người bằng cách đo độ tương phản tối thiểu mà người đó có thể nhìn thấy, tức là *ngưỡng tương phản*. Ngưỡng tương phản (Michelson) sẽ là một con số nhỏ như 0.01, và nghịch đảo của giá trị này là độ nhạy tương phản.

Hàm ngưỡng phổ và hàm hệ số truyền phổ tương tự nhau, ngoài ra độ nhạy phổ và phổ hấp thụ phổ cũng tương tự, bởi vì sự hấp thụ rhodopsin là một yếu tố chính (nhưng không phải duy nhất) quyết định độ nhạy của hệ thống nhìn ban đêm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Schwartz SH. Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- EE Times, 2006, Wide dynamic range image sensor-processor improves security video, other apps, accessed at http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273610
- Cnet news, 2008, *Panasonic sensor tackles key photo problem--dynamic range*, accessed at http://news.cnet.com/8301-13580_3-9864843-39.html