THÍCH ỨNG SÁNG, ĐỊNH LUẬT WEBER, TỔNG HỢP KHÔNG GIAN

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:

- Thích ứng sáng
- Áp dụng lâm sàng
- Tổng hợp không gian

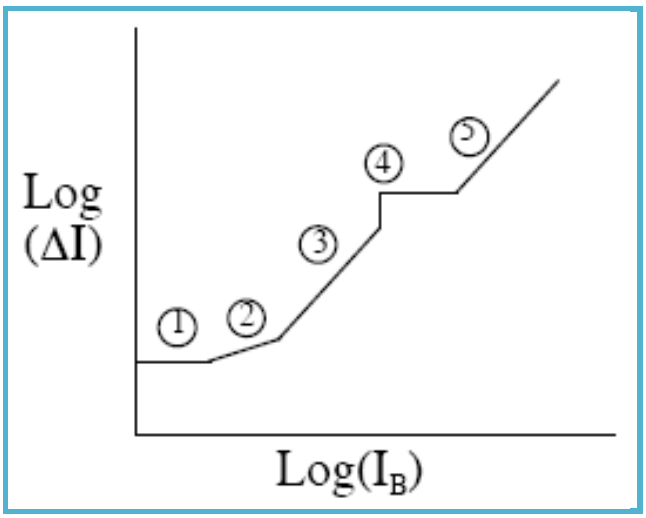
THÍCH ỨNG SÁNG

Đúng như là mắt có thể điều chỉnh độ nhạy khi từ chỗ sáng vào chỗ tối, mắt cũng có khả năng điều chỉnh khi đi từ chỗ tối ra chỗ sáng. Hiện tượng này được gọi là **thích ứng sáng**. Thích ứng sáng được nghiên cứu bằng cách đo khả năng của bệnh nhân phát hiện một ánh sáng yếu trên một nền đồng đều (ngưỡng lượng tăng) trong khi bạn tăng dần độ chói nền. Điều này được minh họa trong Schwartz, 2004 (Hình 3-15).

Hình Schwartz 3-15A cho thấy kích thích là một ánh sáng thử ở trung tâm của một hình vòng đóng vai trò ánh sáng nền. Đầu tiên bệnh nhân thích ứng với một nền tối hoàn toàn (hình vòng). Sau đó, độ chói của trung tâm được tăng nhẹ cao hơn nền đến khi bệnh nhân vừa phát hiện được nó. Tiếp theo, độ chói hình vòng được tăng lên. Bệnh nhân thích ứng với độ sáng nền mới và lại xác định lượng tăng độ chói tối thiểu cao hơn nền mà bệnh nhân có thể phát hiện được. Quá trình tiếp tục với nền càng sáng hơn.

THÍCH ỨNG SÁNG (TIẾP THEO)

Kết quả điển hình của các thí nghiệm này được thấy ở Hình 9-1. Các phần của đường cong được đánh dấu từ 1 đến 4 cho thấy thích ứng sáng của tế bào que. Sau đó tế bào nón sẽ tiếp tục.



Hình 9-1: *Logarit của lượng tăng độ chói (ΔI) được biểu diễn như một hàm của logarit độ chói nền (IB). Các đoạn 3 và 5 có độ dốc bằng 1.0, cho biết rằng định luật Weber áp dụng ở hầu hết các dải nhìn ban đêm và ban ngày tương ứng. [Cảm ơn Andrew Carkeet, PhD (Singapore) đã gợi ý cho hình này. So sánh với hình Schwartz 3- 15]*

Chú ý những điểm sau:

- **Đoạn 1**: Nền rất tối, nhiễu thần kinh (hoặc "ánh sáng tối") quyết định lượng tăng (ΔI) cần thiết để phát hiện
- **Đoạn 2**: Độ chói nền vẫn rất thấp, những dao động ở độ chói nền (hình vòng) phần lớn quyết định ngưỡng lượng tăng. Định luật DeVries-Rose dự báo là trên phần này thì lượng tăng (ΔI) tăng theo căn bậc hai của độ chói nền (Ib)
- **Đoạn 3**: Đoạn dài bao trùm một dải 4 đơn vị loga có độ dốc bằng khoảng 1 (khi được vẽ trên hệ tọa độ log/log). Điều này cho thấy rằng lượng tăng (ΔI) tăng như là một tỉ lệ không đổi của nền bởi vì định luật Weber có hiệu lực. Tức là ngoài dải này thì ngưỡng lượng tăng là một tỉ số không đổi của nền

Tỉ số không đổi được gọi là **tỉ số Weber** hoặc **hằng số Weber**, và chúng ta sẽ nghiên cứu nội dung này chi tiết hơn ở phần sau (Schwartz Chương 11). Tỉ lệ Weber của tế bào que là khoảng 0.14. Do đó nếu độ chói nền là 100 thì cần một lượng tăng 14 cao hơn nền để có thể phát hiện kích thích. Nếu độ chói là 1000 thì lượng tăng phải là 140. Điều này minh họa một nguyên lí quan trọng của nhận thức thị giác. Mắt đáp ứng với các chênh lệch độ chói tương đối (hoặc tỉ số các độ sáng) tốt hơn là các độ chói tuyệt đối. Điều này liên quan chặt chẽ với khái niệm tương phản mà chúng ta cũng sẽ nghiên cứu chi tiết hơn ở phần sau.

Nó cũng nghĩa là độ nhạy (về mặt khả năng phát hiện một lượng tăng tuyệt đối) giảm khi độ rọi tăng. Điều này cần thiết để cho phép mắt hoạt động ở một dải rộng độ rọi và được gọi là **điều chỉnh độ nhạy hoặc điều chỉnh khuếch đại (gain control)**.

- **Đoạn 4** cho thấy một dốc vô tận, và dốc này cho biết rằng các tế bào que đã bão hòa và ở giới hạn của chúng. Điều này thực tế xảy ra chỉ khi khoảng10% rhodopsin bị tẩy trắng
- **Đoạn 5** cho thấy phần kết bào nón. Nó cũng cho thấy một độ dốc không đổi bằng 1.0. Do đó, định luật Weber có thể áp dụng cho các tế bào nón. Tỉ lệ Weber của tế bào nón là khoảng 0.015. Do đó, với ánh sáng tăng dần thì các tế bào nón có giảm độ nhạy ít hơn so với các tế bào que

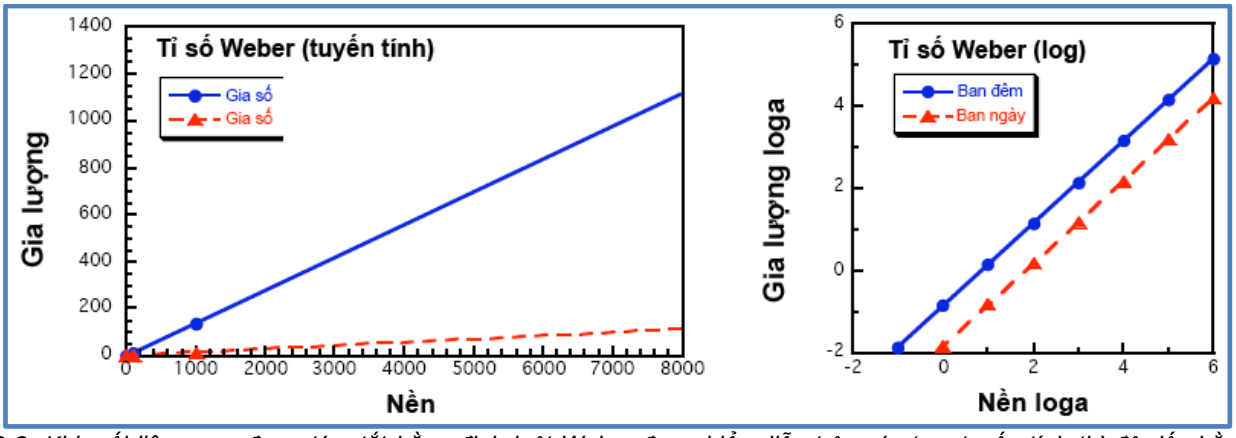
THÍCH ỨNG SÁNG (TIẾP THEO)

Điểm quan trọng nhất cần thấy ở Hình 9-1 là các độ dốc của các phần 3 (dải nhìn ban đêm) và 5 (dải nhìn ban ngày) bằng 1.0. Trên các trục log-log, điều này xảy ra khi các giá trị lượng tăng (ΔI) là một phần không đổi của nền (IB). Điều này phù hợp với định luật Weber nói rằng ngưỡng lượng tăng trong một nhiệm vụ vật lí thần kinh sẽ là một tỉ số cố định (tỉ số Weber) (Hình 9-2) của nền.

Bảng và các hình ở dưới cho thấy rằng, khi áp dụng định luật Weber (và logarit ngưỡng lượng tăng được biểu diễn theo logarit của cường độ nền) thì độ dốc bằng 1.0.

Bảng 9-1: *Cho thấy rằng khi áp dụng định luật Weber, độ dốc của logarit ngưỡng lượng tăng (được vẽ theo logarit của nền) bằng 1.0. Điều này đúng đối với bất kì giá trị nào cho tỉ số Weber.*

NỀN	LOGARIT CỦA NỀN	LƯỢNG TĂNG (W = 0.14)	LOGARIT CỦA LƯỢNG TĂNG	LƯỢNG TĂNG (W = 0.015)	LOGARIT CỦA LƯỢNG TĂNG
0.1	−1.00	0.014	−1.85	0.0015	−2.82
1	0.00	0.14	−0.85	0.015	−1.82
10	1.00	1.4	0.15	0.15	−0.82
100	2.00	14	1.15	1.5	0.18
1000	3.00	140	2.15	15	1.18
10000	4.00	1400	3.15	150	2.18
100000	5.00	14000	4.15	1500	3.18



Hình 9-2: *Khi mối liên quan được tóm tắt bằng định luật Weber được biểu diễn trên các trục tuyến tính thì độ dốc bằng tỉ số Weber. Khi được vẽ trên các trục log thì độ dốc bằng 1.0 đối với cả 2 đường thẳng*

ÁP DỤNG LÂM SÀNG

Định luật Weber có một số áp dụng quan trọng đối với khúc xạ nhãn khoa lâm sàng:

PHÁT HIỆN TẾ BÀO TRONG TIỀN PHÒNG KHI KHÁM ĐÈN KHE

Chấn thương giác mạc hoặc phần trước nhãn cầu thường gây ra viêm mống mắt, nó giải phóng ra các bạch cầu rải rác trong tiền phòng. Các bác sĩ sử dụng dấu hiệu này (các tế bào ở tiền phòng) để chẩn đoán và theo dõi viêm mống mắt. Đối với các viêm mống mắt độ nhẹ thì rất khó thấy các tế bào, đặc biệt đối với những người chưa có kinh nghiệm. Lí do là vì tương phản ánh sáng của các bạch cầu rất nhỏ trên nền đen của đồng tử. Có thể tăng tương phản bằng cách tăng độ sáng của đèn khe. Việc này tăng giá trị ΔI, trong khi nền (đồng tử màu đen) vẫn không đổi. Nếu tăng ΔI đến điểm vượt quá tỉ số Weber thì lúc này có thể thấy các tế bào.

ÁP DỤNG LÂM SÀNG (TIẾP THEO)

ĐO THỊ TRƯỜNG

Đây cũng là một xem xét quan trọng trong thiết kế của thị trường kế Humphrey. Trích từ trang 21 và 22, sách *Automated Static Perimetry*, của DR Anderson và VM Patella (2nd Ed., Mobsy, St. Louis, 1999):

> *Cường độ sáng của nền thị trường kế ảnh hưởng đến ngưỡng nhìn. Quan trọng nhất, nó xác định trạng thái võng mạc thích ứng sáng so với trạng thái võng mạc thích ứng tối. Độ nhìn thấy một kích thích không đơn giản là vấn đề cường độ sáng của nó mà còn bị ảnh hưởng bởi tương phản của nó với độ rọi của nền.*

Độ tương phản của một vật nhìn (tức là kích thích) với nền của nó thực tế là yếu tố chủ yếu để nhìn thấy được trong điều kiện thích ứng sáng đầy đủ. Khi độ nhìn thấy ngưỡng hoàn toàn là vấn đề tương phản thì biểu diễn toán học của độ sáng kích thích ngưỡng là một hằng số nếu được biểu diễn như là tỉ số tương phản (gọi là tỉ số Weber) của độ sáng kích thích trên độ sáng nền (định luật Weber).

Có những ưu điểm lí thuyết nếu đo thị trường với một nền đủ sáng để định luật Weber có hiệu lực. Thứ nhất, tăng hoặc giảm diện tích đồng tử ít ảnh hưởng đến tương phản của kích thích bởi vì cả nền và kích thích đều bị tác động bằng nhau. Thứ hai, những thay đổi nhỏ ở độ sáng nền không làm thay đổi sự nhìn thấy kích thích nếu độ sáng của nó thay đổi một tỉ lệ tương đương. Goldmann lợi dụng nguyên lí này để cải thiện độ tin cậy thị trường kế của mình. Nó chỉ có một bóng đèn cung cấp cả ánh sáng kích thích và ánh sáng nền, và nếu bóng đèn thay đổi độ sáng (bằng cách thay đổi điện thế) thì cả độ sáng kích thích và độ sáng nền đều bị ảnh hưởng bằng nhau: độ tương phản (do đó sự nhìn thấy kích thích) ít nhiều ổn định hơn.

TỔNG HỢP KHÔNG GIAN

Để nhìn được trong một khoảng rộng các mức sáng, chúng ta cần có những đặc điểm của cả hệ thống nhìn ban ngày và hệ thống nhìn ban đêm

HỆ THỐNG NHÌN BAN NGÀY

- Hoạt động khi độ rọi võng mạc cao
- Nhiều ánh sáng
- Cho phép nhìn chi tiết cao, thị lực, độ nhạy tương phản, sắc giác, v.v.
- Làm giảm độ nhạy tuyệt đối

HỆ THỐNG NHÌN BAN ĐÊM

- Hoạt động khi độ rọi võng mạc thấp
- Ánh sáng hạn chế và số photon thưa thớt
- Cho độ nhạy tối đa: ngưỡng phát hiện thấp
- Giảm chất lượng thị giác (thị lực kém [độ phân giải không gian kém], không có sắc giác, v.v).

Trích từ Schwartz, 2004 trang 44-45:

> *Trong khi độ phân giải của mắt và độ nhạy tương phản tốt hơn trong điều kiện nhìn ban ngày thì độ nhạy tuyệt đối lớn hơn trong điều kiện nhìn ban đêm. Sự thỏa hiệp này giữa độ phân giải và độ nhạy của mắt phần lớn là do cách mà các tế bào que và các tế bào nón liên kết với các thành phần võng mạc sau tế bào quang thụ. Các tế bào que được liên kết theo cách để tổng hợp thông tin trong không gian và thời gian. Điều này tạo ra độ nhạy cao, nhưng độ phân giải kém. Mặt khác, các tế bào nón liên kết theo cách để tối đa độ phân giải trong khi phải giảm độ nhạy.*

Hình Schwartz 3-16 (trên) minh họa luồng thông tin từ một dãy rộng các tế bào que thu thập ánh sáng trên một diện rộng và tập trung dữ liệu của chúng vào một tế bào hạch. Để hiểu hình này, nhắc lại từ nghiên cứu của Hecht và cs rằng tối thiểu phải 10 photon được hấp thụ bởi một nhóm tế bào que sát nhau để có thể phát hiện được ánh sáng. 2 ánh sáng cách nhau tương đối xa chiếu lên một mảng võng mạc chứa nhiều tế bào que, tất cả các tế bào que này liên kết với một tế bào hạch. Do tất cả các tế bào que này đều chuyển thông tin đến cùng một tế bào hạch nên tác dụng của kích thích sáng lên các tế bào que này được tổng hợp và được coi như là một tín hiệu và một vết sáng.

Trong trường hợp này, tín hiệu của hấp thụ 10 photon được kết hợp lại. Chú ý rằng tế bào hạch chỉ có thể báo hiệu sự có mặt của một ánh sáng, mặc dù 2 vết sáng (mỗi vết sáng có 5 photon) được chiếu lên vùng võng mạc này.

Hình Schwartz 3-16 cho thấy cấu tạo tương ứng của các tế bào nón. Ít tế bào nón hơn liên kết với một tế bào hạch duy nhất. Mỗi tế bào kiểm soát một vùng võng mạc nhỏ hơn. Hãy giả định rằng vẫn kích thích như ở trước (2 vết sáng yếu, nhưng gần nhau hơn) chiếu sáng võng mạc. Giả định rằng ngưỡng phát hiện một ánh sáng nhận được bởi một tế bào hạch có giá trị bằng 10 photon của tín hiệu từ các bào quang thụ. Chúng ta thấy rằng trong thí dụ này, mỗi nhóm tế bào nón kết nối với một tế bào hạch chỉ nhận 5 lượng tử tín hiệu vào từ nhóm tế bào nón tương ứng. Số này thấp hơn ngưỡng và sẽ không thấy ánh sáng. Tuy nhiên, nếu chúng ta tăng gấp đôi độ sáng để cho có 10 photon ở mỗi vết sáng thì lượng này sẽ đủ để kích thích mỗi tế bào hạch. Do 2 tế bào hạch riêng biệt được kích thích nên 2 vết sáng sẽ được phân giải là 2.

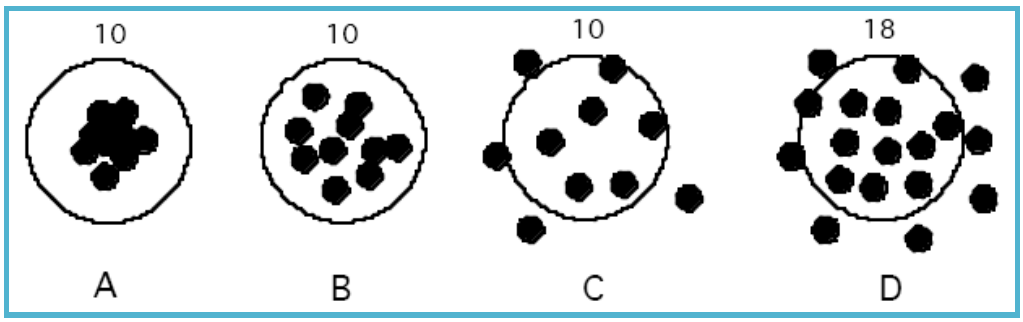
Ở hệ thống nhìn ban đêm, tế bào hạch nhận tín hiệu vào từ một số lớn tế bào que (trên 300). Trong thực tế, nó hợp nhất toàn bộ tín hiệu vào nhận được ở vùng này. Hiện tượng này gọi là tổng hợp không gian (tín hiệu vào thu được từ toàn bộ vùng này được tổng hợp lại và được xử lí như một tín hiệu).

Lợi ích của tổng hợp không gian là nó cho phép chúng ta nhìn trong điều kiện ánh sáng rất yếu. Mặt khác, tổng hợp không gian lớn dẫn đến độ phân giải không gian kém, tức là thị lực kém. Thị lực trong tối tốt nhất cũng chỉ khoảng 20/200. Các bệnh nhân loạn dưỡng tế bào nón có thể có thị lực ở mức này.

Ít tế bào nón hơn liên kết với một tế bào hạch duy nhất, do đó vùng tổng hợp không gian của tế bào nón nhỏ hơn vùng của tế bào que. Kích thước vùng tổng hợp không gian thay đổi ở các phần khác nhau của võng mạc và nhỏ nhất ở hoàng điểm, nơi mỗi tế bào nón có một tế bào hạch riêng của nó. Điều này cho phép chúng ta có thị lực rất tốt (20/15 hoặc cao hơn) ở hoàng điểm, nhưng độ nhạy để phát hiện các nguồn sáng mờ thì kém. Nói chung, các bệnh lúc đầu ảnh hưởng đến võng mạc ngoại vi (như glôcôm) vẫn duy trì thị lực.

ĐỊNH LUẬT RICCO

Khi bạn cố gắng xác định số lượng tử tối thiểu mà mắt có thể nhìn thấy, như là Hecht và cs thực hiện, kích thước vật tiêu sẽ ảnh hưởng thế nào đến kết quả? Điều này phụ thuộc vào độ lớn của vùng tổng hợp không gian. Trong trường hợp Hecht, ông thấy rằng, với điều kiện là toàn bộ ánh sáng nằm trong một diện tích đường kính 10 phút cung thì tổng số lượng tử cần thiết để đạt ngưỡng là không thay đổi.



Hình 9-3: *Các phân bố khác nhau của 10 photon ở một trường tổng hợp không gian trên võng mạc.*

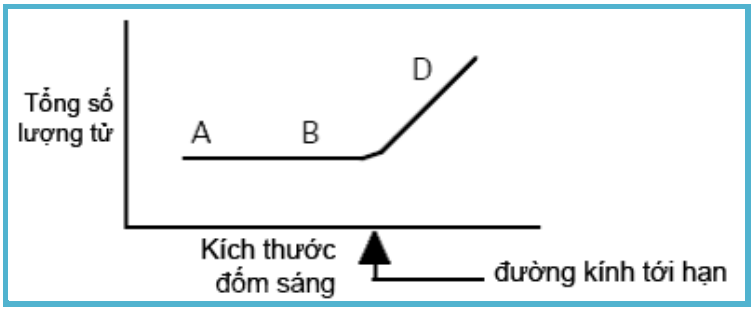
Hình 9-3 cho thấy kiểu vết sáng có các kích thước khác nhau chiếu lên một vùng tổng hợp. Mỗi chấm đại diện cho một photon. Ở hình A, kích thước vết sáng nhỏ và tất cả các photon đều nằm trong vùng tổng hợp. Ở hình B, vết sáng lớn hơn nhưng vẫn nhỏ hơn vùng tổng hợp, do đó tất cả các photon đều được thu thập, và tín hiệu của chúng được chuyển đến một tế bào hạch. Ở hình C, đường kính vết sáng lớn hơn vùng tổng hợp và một số photon nằm ngoài vùng tổng hợp. Do đó, vùng tổng hợp sẽ thu thập được ít hơn 10 photon và một tín hiệu dưới ngưỡng sẽ được chuyển đến một tế bào hạch. Ánh sáng sẽ không được thấy, tức là ánh sáng lớn hơn bây giờ không còn đủ cường độ để bệnh nhân có thể phát hiện. Ở hình D, kích thước vết sáng không thay đổi so với hình C, nhưng mật độ photon cao hơn, và số photon ngưỡng giờ đây nằm trong vùng tổng hợp.

Nếu cần tổng số 10 hấp thụ lượng tử trong vùng tổng hợp để có thể phát hiện thì độ rộng của ánh sáng không phải là điều quan trọng, chỉ cần toàn bộ các photon nằm trong vùng tổng hợp. Nếu ánh sáng lớn hơn vùng tổng hợp thì một số photon sẽ nằm ngoài vùng tổng hợp và số hấp thụ số lượng tử thực tế ở trong vùng tổng hợp sẽ ít hơn 10. Một vết sáng rộng hơn phải có nhiều photon hơn để đảm bảo là ít nhất 10 photon nằm trong trong vùng tổng hợp.

Hình 9-4 minh họa **Định luật Ricco** dựa vào nguyên lí được minh họa ở Hình 9-3. Định luật Ricco cũng được mô tả bằng phương trình toán học (I*A = K) nói rằng trong một **đường kính tới hạn**, tích số của diện tích ảnh và cường độ sáng (số lượng tử/diện tích) là không đổi. Nói một cách khác, với bất kì diện tích nào nhỏ hơn đường kính tới hạn thì tổng số lượng tử (I*A) cần thiết để phát hiện ánh sáng là không đổi nếu diện tích chiếu sáng lớn hơn đường kính tới hạn thì sẽ cần số lượng tử nhiều hơn như thấy ở phần đi xuống của đường cong ở Hình 9-4.

TỔNG HỢP KHÔNG GIAN (TIẾP THEO)

I*A = K



Hình 9-4: *Định luật Ricco*

Bảng 9-2: *Tóm tắt sự thỏa hiệp giữa độ nhạy và thị lực của hệ thống nhìn ban ngày và hệ thống nhìn ban đêm.*

HỆ THỐNG	CÁC VÙNG TỔNG HỢP	ĐỘ NHẠY	ĐỘ PHÂN GIẢI KHÔNG GIAN
Nhìn ban đêm	lớn (tới trên 300 tế bào que)	rất cao	kém (20/200)
Nhìn ban ngày	Nhỏ (hoàng điểm: 1 tế bào nón)	kém	rất cao (20/15)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004