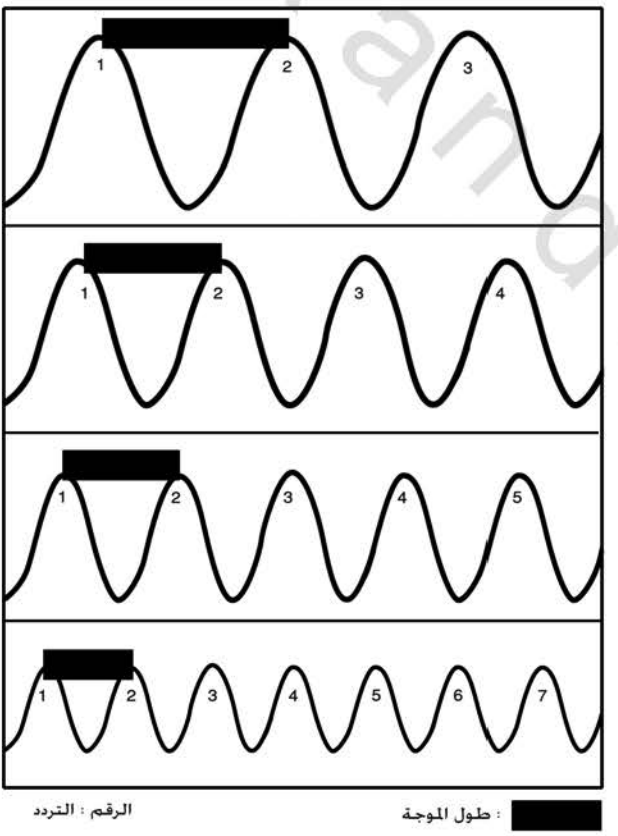
الفصل الثاني

فيزيولوجية العين

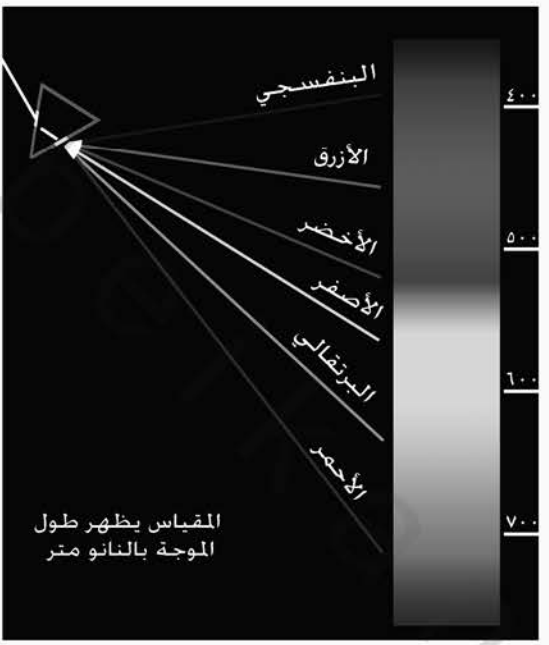
الضوء

يمكن تعريف الضوء Light بأنه شكل من حركة الطاقة القائمة على مبدأ انتقال الموجات. وللضوء خاصيتان أساسيتان لانتقاله هما التردد Frequency «ويقصد به عدد الموجات» وطول الموجة Wavelength «ويقصد به المسافة الواقعة بين قمة موجة ضوئية والقمة التي تليها» (شكل رقم ٢).



شكل رقم (٢)
شكل يوضح طول الموجة والتردد. وفيه نلاحظ أنه كلما زاد طول الموجة انخفض ترددها (McMamon1972)

إن الضوء القادم من الشمس، والذي يبدو للعين لوناً أبيض، يتحلل إلى عدد من الألوان عن طريق الموشور هي على الترتيب: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، والبنفسجي (شكل رقم ٣).



شكل رقم (٣)
المنظور
وتبدو فيه الألوان مرتبة من خلال تحلل ضوء الشمس المار بالموشور.
«انظر الملحق الملون»

ومما يثير الانتباه أن الضوء ذا الموجات الأقصر طولاً، ينحني حين يمر خلال الموشور أكثر من الضوء الأكثر طولاً، وهكذا فإن الضوء المؤلف من مزيج جميع الموجات المرئية يحلله الموشور إلى مجموعة من الألوان (الصبغيات). فأطول الموجات تبدو حمراء وهي الأقل انحناء، أما الأقصر منها فتبدو برتقالية ثم صفراء فخضراء فزرقاء فبنفسجية. ويدعي الغربيون أن هذه الحقائق قد اكتشفها نيوتن منذ ثلاثمائة عام. ولكن هناك من يؤكد على أن العرب كانوا قد سبقوهم إلى اكتشافها بوقت طويل. وعلى أي حال فقد أدى هذا الاكتشاف إلى الاعتقاد بوجود ترابط بين طول الموجة الضوئية والخبرة اللونية.

وعلى الرغم من وجود ما لا يقل عن سبعة ملايين لون مختلف ممكنة للرؤية، إلا أن القدرة على رؤيتها تكمن في استجابة العين لمدى محدود من الموجات الضوئية ينحصر بين ٤٠٠ و٧٠٠ ميلليمكرون Millimicron «وهو جزء من

المليون من الميلليمتر». وخارج هذين الحدين لا تستطيع العين البشرية التقاط الموجات الضوئية، أو ربما لا تستطيع الموجات الضوئية إثارة العين على الرغم من أننا نتحدث عادة عن الضوء تحت الأحمر «٧٠٢ ميللميكرون» وفوق البنفسجي «أقل من ٤٠٠ ميلليمكرون». أما داخل هذين الحدين فقد افترض أن الخبرة باللون الأحمر تتطلب موجة طولها حوالي ٧٠٠ ميليميكرون، وإن اللون الأخضر يتطلب قرابة ٥٥٠ ميلليمكرون، وأن الأزرق يتطلب قرابة ٤٠٠ ميلليمكرون علماً بأنه قد ثبت مؤخراً وجود ظروف يمكن فيها إنتاج الألوان كلها دون استعمال النسب النيوتونية.

لعلنا الآن تعرفنا على الخصائص المهمة للضوء، فلننتقل إلى الجهاز المستقبل لهذا الضوء، ونعني به العين البشرية.

obeikandl.com

obeikandl.com

العــين

إن التشريح المبسط لعين الإنسان يجعلنا نلجأ إلى المثال الكلاسيكي بتشبيه العين بآلة التصوير (الكاميرا)، لكن القول بأن «الكاميرا» هي نسخة من العين يشبه القول بأن جناح الطير هو نسخة من جناح حشرة صغيرة، في حين أن كلا الجناحين هما نتاج تطور مستقل. ومع ذلك فالعين وآلة التصوير متشابهتان في التركيب والوظيفة. لنلاحظ الشكل (٤) ولننتبه إلى ما يلي:

١) كلتاهما تحتويان على سطح حساس تسقط عليه الصورة مقلوبة، الفلم في آلة التصوير والشبكية في العين.

٢) كلتاهما تحتويان على عدسة تسقط أشعة الضوء بوضوح على السطح الحساس.

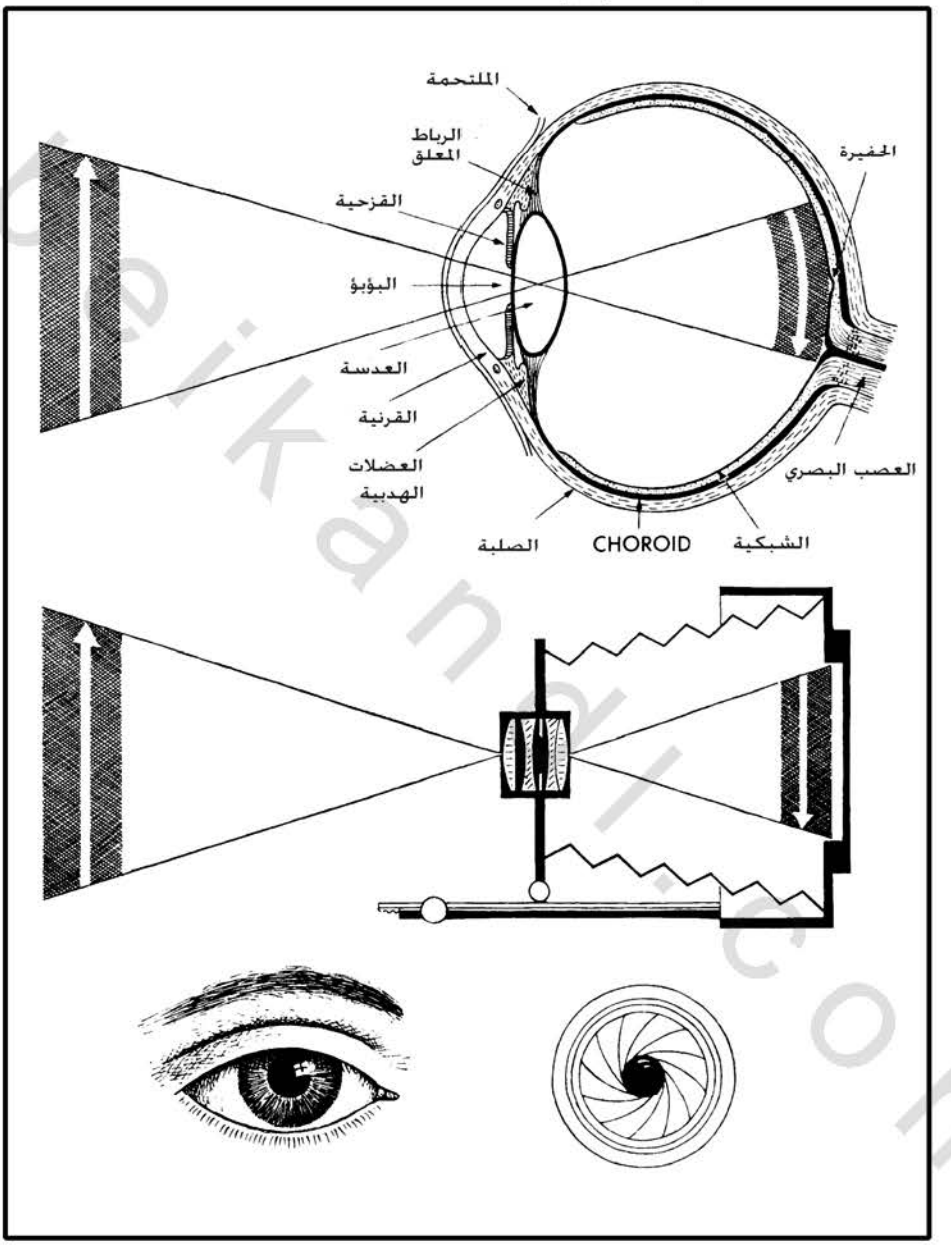
٣) وكلتاهما تحتويان على فتحة يتغير اتساعها بحيث ينظم مقدار الضوء الذي يدخل العين أو آلة التصوير، ويدعى البؤبؤ في العين.

إن هذه المقارنة، بين العين البشرية وآلة التصوير، تكون مقبولة لغرض التبسيط، حسبئ ذلك إن عين الإنسان معقدة تعقيداً هائلاً بشكل يوازي مدى فائدتها، وبخاصة في منطقة الشبكية. وكمثال لهذا الفرق فإن سطح الفيلم الحساس في آلة التصوير يكون بمواجهة الضوء الساقط عليه، بينما في شبكية العين تكون النهايات المستدقة للعصيات والمخاريط في مواجهة الضوء الساقط عليها.

إضافة إلى أن الصندوق في آلة التصوير الذي يحوي الفيلم، يكون مملوءاً بالهواء، في حين يكون «صندوق» العين مملوءاً بسائل يمر الضوء من خلاله باتجاه شبكية عين الإنسان التي تكون في حركة دائمة. ولكن لنترك الفروق الأخرى ولنبدأ بالموجات الضوئية قبل سقوطها على الشبكية.

تسير الموجات الضوئية إلى الداخل مارة أولاً بالقرنية حيث هي النافذة الأمامية الصافية القليلة التحدب التي يتحتم على كل الأشعة الضوئية الداخلة إلى العين أن تنفذ

فيها والقرنية غشاء واقٍ وتعتبر امتداداً للجلد، وهي تشبه في تكوينها من طلائية متعددة الطبقات ومن نسيج خام، ولكنها تختلف عنها في خلوها خلواً تاماً من الأصباغ. كما أن نسيجها الضام لا يحوي أي أوعية دموية.



شكل رقم (٤) صورتان مقطعيتان لعين الإنسان وآلة التصوير (عن Wald1950)

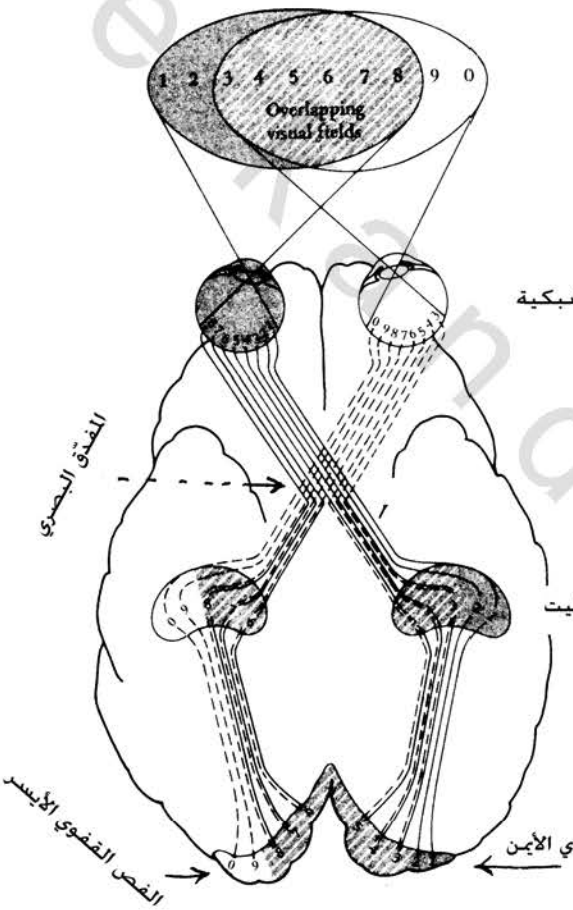
وبعد أن تخترق الأشعة الضوئية السائل المائي الكائن خلف القرنية، تمر في عدسة العين التي هي عبارة عن قرص محدب السطحين تستقبل الأشعة الضوئية المتوازية ثم تجمعها في الناحية الأخرى في بؤرة محدودة. وترتبط العدسة بأربطة يمكن شدها أو إرخاؤها بفعل عضلات رقيقة. ويعمل انكماش تلك العضلات وانبساطها على تغيير شكل العدسة ومن ثم تغيير بعدها البؤري لكي تسقط الصور بوضوح على الشبكية.

ثم تواصل الأشعة مسارها عبر السائل الكائن بين العدسة والشبكية لتسقط أخيراً على الشبكية، أهم جزء في جهاز البصر التي تعتبر في الواقع جزءاً من الدماغ لكنها واقعة خارج الجمجمة. ويصفها تومسون Thompson (١٩٧٥) بأنها (نظام معقد جداً، توصف بأنها «دماغ صغير» واقع بين المتسلمات البصرية والعصب البصري). والشبكية تكون حساسة جداً للمثيرات المتغيرة مقارنة مع المثيرات الثابتة. وحين تسقط الصورة على الشبكية فإنها تكون مقلوبة (الأعلى إلى الأسفل واليمين إلى اليسار) مثلها في ذلك مثل الصورة على الفيلم. وجواباً على سؤال لماذا لا نرى العالم مقلوباً؟ هو أنه ليس ثمة أعلى وأسفل في القشرة الدماغية، فالاتصالات العصبية من العين إلى الدماغ وفي الدماغ نفسه تؤدي إلى رؤية الأشياء بالطريقة التي نراها فيها، ويقوم التعلم بتعديل استجابتنا الحركية البصرية وجعلها دقيقة. غير أننا لو استعملنا نظاماً خاصاً من العدسات يقلب الصور قبل وصولها إلى العين لبدت على العين صحيحة وبالتالي رؤي العالم مقلوباً أعلاه أسفله. وعلى الرغم من أن سُمك الشبكية لا يتعدى بضع مئات من الميكرونات، إلا أنها - كما أشرنا - جهاز على جانب كبير من التعقيد. وأهم ما في هذا الجهاز نوعان من المستقبلات هما العصيات Rods والمخاريط Cones، ولكل منهما - كما سنرى - وظائف خاصة. ومستقبلات الضوء هذه موجودة فقط في شبكية العين ولا توجد في أي عضو آخر من أعضاء الجسم.

وهي تمتص أشعة الضوء من الأشياء الموجودة في البيئة وتحولها إلى طاقة كهربائية لتشغل شبكة الأعصاب الممتدة من العين إلى الدماغ حيث تسري البواعث في العصب لتصل إلى مركز الرؤية في الدماغ الذي هو الفص القفوي «القذالي»

Occipital Lobe الواقع في مؤخرة الدماغ. وتوجد في موضع خروج العصب البصري من الشبكية بقعة دقيقة تسمى النقطة العمياء Blind Spot خالية من الأعصاب الحسية. ويتصل العصبان البصريان (يخرج من كل عين عصب بصري واحد) فيتقاطعان في نقطة وراء العينين تقع في قاعدة الدماغ، فتمتد نصف الألياف العصبية من العين اليسرى إلى الجهة اليمنى من اللحاء، ونصف الألياف العصبية من العين اليمنى إلى الجهة اليسرى من اللحاء. ويسري كل من النصفين الآخرين إلى جهة العين التي بدأ منها (شكل رقم ٥).

شكل رقم (٥)



تخطيط يمثل المسارات البصرية الخارجية من كل عين والمتجهة إلى الدماغ البصري عبر المفرق البصري وخلايا الجنكوليت. وقد جرى تمثيل أجزاء المجال البصري بأرقام يمكن متابعة مساراتها عبر الجهاز البصري. ويمثل الجانب المظلل المجال البصري الأيسر. ويمثل الجزء المظلل المخطط المجالات البصرية المتداخلة. في حين يمثل الجانب الأبيض المجال البصري الأيمن. (عن Lindsay وNorman ١٩٧٢)

تدعى نقطة تقاطع العصبين البصريين بالمفرق البصري Optic Chiasm، ولو قطعنا العصب البصري Optic Nerve (أي المسافة بين العين والمفرق البصري) يصاب

الفرد بالعمى في عين واحدة. أما إذا قطع الخط البصري Optic Tract (أي فيما بين الفرق البصري والدماغ) فإن الفرد يصاب بنوع غريب من العمى. إذ يؤثر مثل هذا العطب على العينين في آن واحد وبشكل جزئي. بمعنى أن الفرد يفقد القدرة على الرؤية بنصفي العينين الأيسرين فيما إذا قطع الحبل الأيسر، والأيمنين إذا قطع الحبل الأيمن. وعند إتلاف جزء من المنطقة البصرية على جهة واحدة من اللحاء الدماغي، فإن العطب يصيب منطقة معينة من الشبكية. وكلما ازدادت مساحة المنطقة المتلفة من المنطقة البصرية توسع العطب في الشبكية أيضاً، مما يدل على أن ثمة تقابلاً وثيقاً بين المرئيات والشبكية من جهة، وتقابلا وثيقاً آخر بين الشبكية واللحاء الدماغي.

إن الساحة البصرية في نصف الكرة الدماغية اليمنى تتلقى إشارات من النصف الأيسر من كل عين، فإذا تخربت القشرة الدماغية البصرية في نصف الكرة الأيمن أصبح النصف الأيمن من كل عين أعمى. أما العمى الكامل فينجم عن تخريب القشرة الدماغية في الساحتين البصريتين في نصفي الكرة الدماغيتين (انظر الهامش اللاحق).

يتبين لنا من العرض الموجز أعلاه أنه لدى سقوط صيغة ضوئية أو صورة على الشبكية يقوم هذا المنبه بإثارة ملايين الخلايا الحساسة للضوء الموجودة في الشبكية فتبدأ عمليات كيماوية تكون مصحوبة بتغيرات كهربائية تسري إلى الدماغ.

والخلايا البصرية، كغيرها من الخلايا العصبية، تستجيب بناء على قانون الكل أو العدم، بمعنى أن الخلية إما أن تستجيب بكامل طاقتها وإما لا تستجيب إطلاقاً.

وتتصل كل خلية عصبية بصرية بسلسلة من الألياف العصبية التي تنطلق إلى الدماغ فيما بعد، وبالذات إلى الفصين القفويين، ولهذا قد يكون التعبير صحيحاً من الناحية العملية إذا قلنا بأننا نبصر بمؤخرة مخنا.

والآن هل فهمنا تماماً كيف تحدث عملية الإبصار؟

لعل ما قدمناه لا يعدو أن يكون مدخلاً مهماً لفهم عملية الإبصار التي تشمل قسمين أساسيين هما:

١- التمييز اللوني.　　٢- دقة الإبصار.

ولقد تضمن ما قدمناه شيئاً عن دقة الإبصار، ولكن ما زال في العينين تكوينان عصبيان يتطلبان منا فهماً جيداً لتركيبهما ووظائفهما من حيث دقة الإبصار والإبصار اللوني، ونعني بهما العصيات والمخاريط.

obeikandl.com

هامش

نصفا الدماغ عند الإنسان:

يوصف دماغ الإنسان والحيوانات العليا بأنه عضو مزدوج، لأنه يتألف من نصفين أيمن وأيسر يربط بينهما كتلة عصبية يطلق عليها الجسم الجاسيء «الثفني» Corpus Callosum.

وقبل ما يزيد على ثلاثين سنة، قدم رونالد Ronald ومايرز Myers وسبيري Sperry- من جامعة شيكاغو - اكتشافاً مدهشاً، مفاده أنه حين يتم قطع الاتصال بين نصفي الدماغ، فإن كل نصف منه يعمل بشكل مستقل وكأنه دماغ متكامل.

لقد تم دراسة هذه الظاهرة على قطة أولاً، حيث أجريت لها عمليات قطع وفصل دماغية، بينها عملية فصل للمفرق البصري Optic Chiasm، بحيث أصبحت المعلومات البصرية الواردة من العين اليسرى للقطة تذهب إلى نصف الدماغ الأيسر فقط، والمعلومات البصرية المتسلمة بالعين اليمنى للقطة تذهب إلى نصف الدماغ الأيمن فقط. وتم أيضاً دراسة مشكلة العمل بعين واحدة لهذه القطة، فوجد أنها كانت تستطيع الاستجابة بشكل طبيعي وتتعلم إنجاز المهمات بشكل صحيح حين تكون إحدى عينيها معصوبة. وحين عرضت على القطة نفس المهمات ولكن بالعين التي كانت معصوبة، وجد أن القطة بدأت بالتعرف عليها وتعلمها من جديد، وكأنها لم تكن قد تعرضت لها سابقاً. وذلك لأن المعلومات التي استلمتها العين اليمنى كانت قد أرسلت إلى النصف الأيمن من الدماغ - والمعلومات التي استلمتها العين اليسرى كانت قد أرسلتها إلى النصف الأيسر من الدماغ.

ولقد أثارت هذه النتيجة عدداً من التساؤلات بينها:

هل أن الجسم الجاسيء Corpus Callosum مسؤول عن تعامل العمليات لنصفي الدماغ؟ وهل يقوم بإطلاع كل نصف من الدماغ على المعلومات الموجودة في النصف الآخر؟

وهل أن قطع الجسم الجاسيء Corpus Callosum يؤدي إلى أن تقوم اليد اليمنى بعمل لا تعلم به اليد اليسرى؟ وإلى أي درجة يكون نصفا الدماغ مستقلين حين يكون كل منهما منفصلاً عن الآخر؟ هل سيكون لكل منهما أفكار مختلفة ومشاعر متباينة؟

استثارت مثل هذه الأسئلة، عدداً من الباحثين وتم إجراء عدد من الدراسات على الحيوانات خلال فترة الخمسينيات والستينيات من هذا القرن. ثم انتقلت في بداية الستينيات إلى إجرائها على الإنسان أيضاً، بينها الدراسات التي قام بها سبيري Sperry وكازانيكا Gazzaniga.

بدأت دراسات سبيري وكازانيكا عام ١٩٦١ على أحد المرضى الجنود (٤٨ سنة) أخضع لعملية جراحية ثم فيها قطع الجسم الجاسيء Corpus Callosum والأعصاب الأخرى التي تربط بين نصفي الدماغ. وخلال خمس سنوات من ذلك التاريخ وصل عدد الحالات من هذا النوع عشر حالات تم فحص ومتابعة واختبار أربع حالات منها لفترة طويلة من الزمن.

كانت أكثر الملاحظات إثارة في نتائج هذه التجارب، هي أنه لم ينتج عن هذه العمليات الجراحية تغيير ملحوظ في مزاج وشخصية المريض وذكائه العام، ونتج عن حالة واحدة من هذه الحالات الأربع، أن المريض لم يستطع الكلام خلال ثلاثين يوماً من تاريخ إجراء العملية، غير أنه شفي بعد ذلك واستطاع التحدث.

ولقد كشفت الملاحظات الدقيقة عن وجود بعض التغيرات في السلوك اليومي للمريض. حيث لوحظ، على سبيل المثال، أن هؤلاء المرضى كانوا في تحركهم واستجاباتهم للمثيرات الحسية يفضلون الجانب الأيمن من الجسم المسيطر عليه من قبل النصف الأيسر من الدماغ. وظهر بعد فترة طويلة نسبياً من إجراء العملية أن الجانب الأيسر من الجسم كان نادراً ما يبدي نشاطاً عفوياً. وكان المريض لا يستجيب - بشكل عام - إلى الإثارة من ذلك الجانب، فحين يمس شيئاً بالجانب الأيسر من جسمه فإنه لا يلاحظ أنه فعل ذلك، وحين يوضع شيء ما في يده اليسرى فإنه ينكر - بشكل عام - وجود ذلك.

ولقد استطاعت اختبارات دقيقة من تحديد عدد من الخصائص الأساسية، بينها اختبار لفحص الاستجابات للإثارة البصرية. فحين كان المريض يحدق في شكل ثابت

بنقطة مركزية على لوحة أمامه تظهر عليها بقع ضوئية لعشر الثانية منتظمة في صف عبر اللوحة وعلى مدى المجالين البصريين الأيمن والأيسر للمشاهد، وحين كان يطلب منه تحديد ما يراه على اللوحة، وجد أن جميع هؤلاء المرضى (الأربعة) قد أشاروا إلى أن الضوء كان قد ظهر في الجانب الأيمن من مجالهم البصري. أما حين كانت البقع الضوئية تسقط على الجانب الأيسر فقط من مجالهم البصري، فإنهم كانوا، بشكل عام ينكرون أنهم رأوا أي بقعة ضوئية.

إن الاستنتاج المنطقي لهذه الحالات هو أنه ما دام الجانب الأيمن من المجال البصري يسقط عادة على النصف الأيمن للدماغ، وإن المجال البصري الأيسر يسقط على النصف الأيمن للدماغ، فإنه يفترض والحالة هذه لدى هؤلاء المرضى ذوي الأدمغة (المنقسمة» أن يكون النصف الأيمن للدماغ متأثراً بالعمى.

لكن كازانيكا يشير إلى أن الأمر لم يكن كذلك، فحين تم توجيه المرضى لأن يؤشروا إلى الضوء بدلاً من أن يجيبوا لفظياً على ذلك، فإنهم تمكنوا من أن يشيروا إلى البقع الضوئية الساقطة في الجانب الأيسر من مجالهم البصري، مما يدل على أن الإدراك في النصف الأيمن من الدماغ هو مساوٍ تقريباً للإدراك في النصف الأيسر منه. ولقد تبين بعد ذلك، وبوضوح، أن هؤلاء المرضى كانوا قد فشلوا في أن يتحدثوا لفظياً عن الإدراك الحاصل في الجانب الأيمن من أدمغتهم. وذلك بسبب حقيقة أن مراكز الكلام تقع في الجانب الأيسر من الدماغ.

وتوحي النتائج بأن المعلومات البصرية يمكن أن تنتقل خلال الجسم الجاسيء Corpus Callosum. وإنه في مكان ما وبكيفية ما يقوم الجسم الجاسيء، ككل أو جزء منه، بنقل ليس فقط المشاهد البصرية بل والرموز العصبية المعقدة ذات النظام العالي أيضاً.

وإن كل الدلائل تشير إلى أن فصل النصفين الدماغيين يخلق نوعين مستقلين من الوعي النفسي في الكائن العضوي الواحد. وتثير هذه النتيجة عدم قناعة بعض الناس الذين ينظرون إلى الوعي على أساس أنه خاصية غير مرئية. ويبدو من السابق لأوانه، بالنسبة لآخرين، الذين يصرون على أن المعلومات المكتشفة حتى الآن والمتعلقة بالنصف الأيمن من الدماغ ما زالت على مستوى التشريح.

لكن كازانيكا يشير إلى أن نتائج دراساته تميل إلى الاعتقاد، وبثقة عالية، بأنه في حالة الدماغ المنقسم Split Brain يكون التعامل في الواقع مع دماغين كل منهما قادر بشكل منفصل على القيام بالوظائف العقلية العليا. وسيكون من المؤكد حتماً أنه لو أمكن فصل نصفي دماغ إنسان شاب، فإن كل نصف دماغي لديه سيتطور بشكل مستقل عن الآخر.

المصدر:

Gazzaniga, M. S. The Split Brain In Man. In Readings From Scientific American (Perception: Mechanisms And Models) PP. 29-34

obeikandl.com

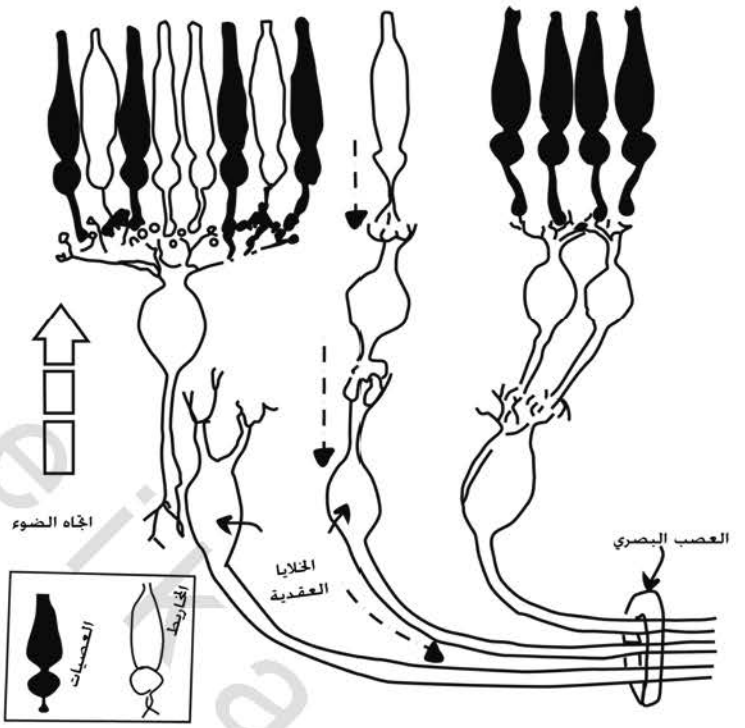
العصيات والمخاريط

تحتوي شبكية كل عين بشرية على (١٠٠) مليون من العصيات وسبعة ملايين من المخاريط (Noback And Demarest ١٩٧٧). وبعضهم يقدر العدد بـ (١٣٠) مليوناً من العصيات و(٦,٥) مليوناً من المخاريط (Lawson ١٩٧٥). وبعضهم يقدرها بـ (١٢٥) مليوناً من العصيات و(٦) مليوناً من المخاريط ونحو مليون من الألياف العصبية (Thompson ١٩٧٥). وعلى أي حال فإن عدد العصيات يفوق كثيراً عدد المخاريط.

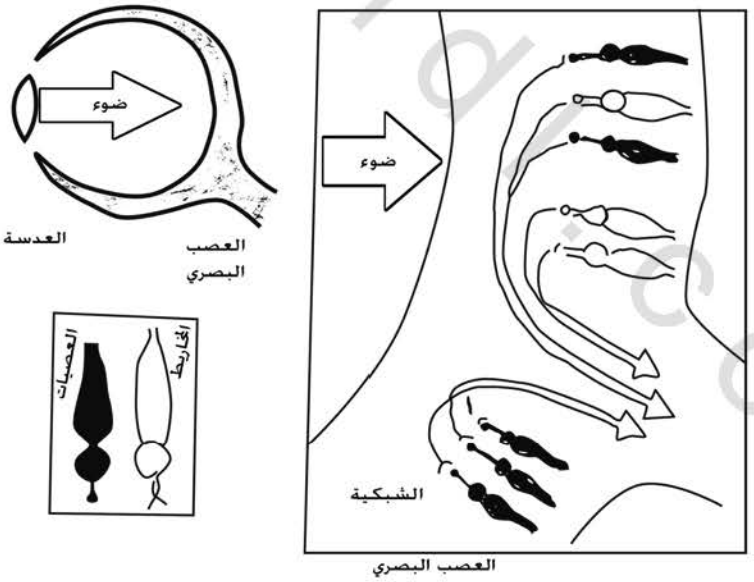
تتركز المخاريط Cones باتجاه مركز الشبكية في المنطقة التي تسمى الحفرة Fovea (شكل رقم ٦). وكلما اتجهنا نحو محيط الشبكية يقل عدد المخاريط ويزداد عدد العصيات بالتدريج حتى نكون على بعد ١٨-٢٠ درجة من الحفيرة، ثم يبدأ العدد بالتناقص. ولهذا التوزيع نتائج مهمة على الطريقة التي ندرك بها عالمنا المرئي. فلكل من هذين النوعين من الخلايا المتسلمة، العصيات والمخاريط، تركيب ووظائف مختلفة في عملية الإبصار، فالمخاريط تكون أكثر حساسية للون والضوء ذي الشدة الاعتيادية، ولهذا تكون رؤية الألوان هي وظيفة الخلايا المخروطية.

أما العصيات Rods فهي حساسة بالنسبة للضوء فقط، وهي أكثر حساسية للمنبهات الضوئية ذات الشدة المنخفضة. ويعتبر الإبصار في الظلام وظيفة الخلايا العضوية. وهكذا فإن العصيات هي التي تمكننا من إدراج درجة سطوع الضوء أو شدته، بينما تضفي المخاريط الألوان على الصور المتكونة.

تتصل العصيات والمخاريط بخلايا عصبية عقدية خلف الشبكية تمتد محاورها حول العين ثم تتلاقى لتكون العصب البصري Optic Nerve الذي ينقل الرسائل أو السيالات أو الإثارات العصبية إلى المخ (شكل رقم ٦ ورقم ٧).



شكل رقم (٦) العصيات والمخاريط (Mv Mahon ١٩٧٢)



شكل رقم (٧) العصيات والمخاريط - داخل الشبكية -
وهي ترسل بواعثها عبر العصب البصري (Mc Mahon ١٩٧٢)

يكون الإبصار على أدقه حينما تسقط الصورة على الحفيرة، التي هي عبارة عن منخفض صغير وسط الشبكية حيث تكون الرؤية فيها على أشد ما يمكن، وحيث تتجمع فيها المخاريط وتكون على أكثفها وتحدث بواسطتها رؤية الألوان. وتلعب الإضاءة الجيدة دوراً فعالاً في دقة الإبصار بحيث ينبه الضوء الساقط أقل المخاريط حساسية. ولهذا فائدة تطبيقية في أن كلا من اللون والتفصيل الجميل يدركان بشكل أفضل حين يتم النظر إليهما بصورة مباشرة أو مستقيمة، لكون هذا الموقع يجعل التركيز على الحفيرة.

ويعين حجم المرئيات وشكلها في العالم الخارجي عدد المتسلمات وتوزيعها في شبكية العين التي تقع عليها صورة المرئيات هذه. ولكي نرى شكلاً ما أو لوناً ما يجب أن تتأثر، في الأقل، ثلاث متسلمات على الشبكية. كما يجب أن تستثار عصبونتان، في الأقل، لكي نرى خطاً مستقيماً. ولكي نستطيع تمييز نقطتين منفصلتين في مجال الرؤية يتوجب وجوده وحدة وظيفية غير مستثارة بين عصبونتين مستثارتين. بكلمة أخرى، لكي نرى نقطتين يجب أن تستثار متسلمتان متباعدتان عن بعضهما ويفصل بينهما متسلمات غير مستثارة.

وثمة ظاهرتان تكون الصلة وثيقة بينهما هما حدة البصر وتذبذبه. ففيما يتعلق بالحدة Acuity فإنها تزداد بازدياد شدة الإضاءة. وتكون الحدة البصرية أقل ما تكون في الإضاءة الخفيضة وذلك حين تكون العصيات وحدها هي العاملة. أما إذا كانت الإضاءة ثابتة فإن الحدة البصرية تتناقص بالتقرب من محيط الشبكية وفي حالة الإضاءة الجيدة تكون الحدة على أشدها في الحفيرة، أي في الرؤية المباشرة.

أما التذبذب Flicker فإنه إذ لمع ضوء وانطفأ بفوارق زمنية بطيئة فإننا نستطيع رؤية اللمعات المتفرقة. أما إذا جرى الأمر بسرعة، أي إذا قصرنا الفوارق الزمنية - فإنه يأتي حين لا نستطيع التأكد من حصول لمعات متمايزة.

وحينئذٍ تكون قد حدثت الذبذبة الضوئية (أو الاهتزاز). وإذا زدنا مرات حدوث اللمعات المنفصلة لضوئنا الكهربائي ذي الستين دورة (سايكل) لا ترى منفصلة ولا متذبذبة. والأمر هنا متعلق بجملة ما يتعلق به - بشدة الضوء أيضاً.

وتختلف شدة الذبذبة الضوئية القياسية التي تسبب تمازج اللمعات من شخص إلى آخر وذلك لأسباب فيزيولوجية فردية. وللأمر، بعد ذلك، صلة بالاتصالات العصبية داخل الشبكية.

تكيف العين للرؤية في الظلام:

أشرنا إلى أن الحفيرة تكون مركز تجمع المخاريط وانعدام العصيات التي يتزايد عددها - بعكس المخاريط - كلما ابتعدنا عن الحفيرة. وتعمل المخاريط في النهار عندما تتكيف العين للضوء، وتكون هي المسؤولة عن رؤية الألوان. أما الرؤية في العصيات فهي رؤية من دون لون، أي أنها لا تستجيب للون بل تعطي إحساسات بالبياض والسواد وما بينهما من تدريجات الرصاصي. ويمكنك التأكد من ذلك إذا خفضت الإضاءة الواقعة على الطيف المرسوم على ورقة مثلاً بصورة بطيئة، فإن حساسية مخاريط عينك تتناقص بالتدريج، فإذا وصلت إلى إضاءة ضعيفة بقدر كاف فإن جميع الألوان تختفي تاركة خلفها مجموعة من الألوان الرمادية، وهذه هي النقطة التي تتوقف فيها مخاريط عينك عن العمل. وإذا خفضت الإضاءة أكثر من ذلك فإن الحفيرة تصبح عمياء - وهي كما تعلم مركز تجمع المخاريط المسؤولة عن رؤية الألوان - وحينئذٍ فأنت لا ترى إلا بالشبكية المحيطية أي (خارج زاوية عينك).

إن مخاريط عينك تكون أكثر حساسية للون والضوء ذي الشدة الاعتيادية وتكون شديدة الحساسية في ظروف التكيف الضوئي، أما في ظروف التكيف مع الظلام فإنها تصبح غير حساسة إطلاقاً، وحينئذٍ تكون رؤيتك محيطية محضة Peripheral وهي رؤية عصيات فقط تستجيب للمعان أو السطوع ولا تستجيب للألوان. وهذا الانتقال من الرؤية بالمخاريط إلى الرؤية بالعصيات هو المسؤول عن الانتقال في الحساسية بطول الموجة، حيث تفقد الشبكية (لدى تكيفها للظلام) حساسيتها للون الأخضر والأزرق. وهذا ما يدعى بظاهرة بوركنج Phenomenon Purkinje نسبة إلى العالم الذي اكتشفها.

ويمكنك أن تتأكد من ظاهرة بوركنج بالتجربة البسيطة التالية: خذ قطعتين من الورق إحداهما حمراء والأخرى زرقاء تكونان على قدر متساوٍ من اللمعان في ضوء

النهار، ثم افحصهما تحت إضاءة ضعيفة بعد أن تكون عيناك قد تكيفتا للظلام، وستجد أن الورقة الحمراء ستبدو لك سوداء، أما الورقة الزرقاء فستبدو لك شاحبة. وهذا يعني أن الورقة الحمراء قد فقدت من لمعانها أكثر بكثير مما فقدت الورقة الزرقاء من لمعان.

وتستطيع أيضاً ملاحظة ظاهرة بوركنج بالنظر إلى سجادة متعددة الألوان أثناء حلول ظلمة المساء. إن ما يبدو لنا في ضوء النهار هو أن اللونين الأصفر والأحمر هما أكثر الألوان لمعاناً، وإن اللونين الأخضر والأزرق هما أشد الألوان قتامة، أما في الليل فإن العكس هو الذي يحصل، إذ يصبح الأخضر والأزرق أكثر لمعاناً من الأصفر والأحمر. ولهذه الظاهرة عدد من التطبيقات المفيدة لا سيما في المجالات العسكرية، كما سنرى لاحقاً.

إن بيوكيمياء وظيفة العصيات قد تمت دراستها مفصلاً في البحوث الأخيرة، وتوصل إلى أن هناك مادة كيماوية في العصيات اسمها Rhodopsin (وتدعى أيضاً بالأرجوان البصري Visual Purple) تكون حساسة للضوء، وحين يسقط الضوء عليها يتغير تركيب جزيئاتها، وتتحول هذه التغيرات إلى طاقة كهربائية ينتج عنها استجابات في العصب البصري، فتسري البواعث في هذا العصب البصري لتصل إلى مركز الرؤية الذي هو الفص القفوي الواقع في مؤخرة الدماغ.

إن الأشخاص الذين لا يستطيعون التكيف بسهولة مع الظلام يصبحون عمياً في شروط الإضاءة الخفيضة (كالليل). ويسمى الواحد منهم أعشى (أو أعمى ليلي Night Blind). ويبدو أن نقص فيتامين (A) له تأثير مهم على التكيف مع الظلام. ومما يذكر أن قدماء المصريين كانوا قد عرفوا العشى وداووه بأكل الكبد لا سيما نيئة. ولقد ثبت أن الكبد غنية بهذا الفيتامين، إضافة إلى بعض الثمار والخضار كالجزر مثلاً. ويترتب على ذلك مسألة تطبيقية هي أن الأشخاص الذين يعملون في الظلام يتوجب عليهم تناول أطعمة غنية بهذا الفيتامين. على أنه من غير الضروري الافتراض بأن الشخص غير المصاب بنقص فيتامين (A) يرى أحس من المعتاد إذا تناول هذا الفيتامين.

إن عيون الفقريات، ومن ضمنها القطط، لا تمتلك القدرة على الرؤية بانعدام الضوء تماماً. ولكن العين البشرية تتكيف إلى درجة قصوى، هذا إذا كان الضوء كافياً لدرجة ما للرؤية، فتستطيع العين البشرية أن ترى في ضوء يساوي سبعة أجزاء من ألف مليون جزء من ضوء النهار العادي، كما أن العين البشرية تستطيع الرؤية تحت وهج الضوء الشديد مع أن ذلك قد يكون مؤلماً أو غير مريح.

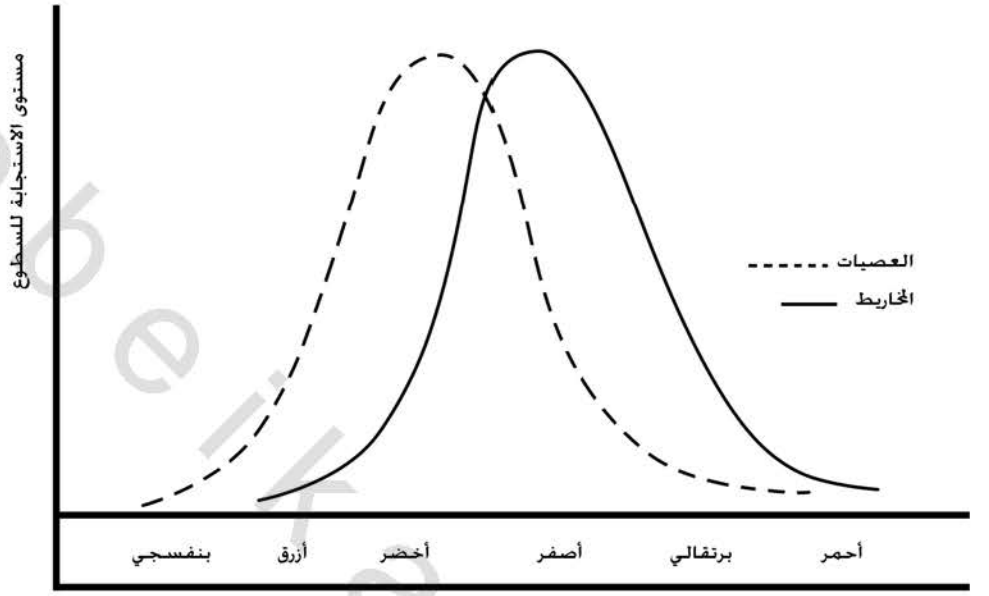
تطبيقات على تكيف العين للرؤية في الظلام:

حين تخرج من مكان ضوؤه خافت، أو تولع الضوء في منتصف الليل فإن هنالك انبهاراً يحدث للعين، وهذا الانبهار يختفي بعد وقت قصير. ومثل هذه الحالة تحصل حين تخرج من دار السينما إلى ضوء النهار، حيث ستعاني نوعاً من «العمى» المؤقت. ولكن ما أن يمضي وقت قصير حتى يحدث تكيف مع النور ويخف اللمعان إلى درجة أكثر مناسبة وراحة، وإذاك يقال بأن العين أصبحت متكيفة للضوء.

أما حين تدخل قاعة سينما مظلمة من ضوء النهار الساطع، فإنك في البداية لا تستطيع رؤية المقاعد والناس. ولا بد من بضع دقائق للتكيف قبل أن تصبح مرئية، وإذاك يقال بأن العين أصبحت متكيفة للظلام.

إن قولنا هذا هو وصف عادي لحالة تحدث. أما التفسير العلمي لتكيف العين للضوء والظلام فإنه يكمن في حقيقة أننا نملك في كل عين نمطين متداخلين من المتسلمات للموجات الضوئية، أحدهما يكون مسؤولاً، بشكل أكثر، عن النهاية الحمراء في المنظور، ويستخدم للرؤية في النهار. والآخر مسؤول، بشكل أكثر، عن النهاية الحمراء في المنظور، ويستخدم للرؤية في النهار. والآخر مسوؤل، بشكل أكثر، عن النهاية البنفسجية ويكون فعالاً في الرؤية ليلاً. وهذا الاستنتاج ينبع من حقيقة أن لكل من العصيات والمخاريط منحنى مختلفاً عن الآخر من حيث الاستجابة للنصوع أو السطوع (شكل رقم ٨). بمعنى آخر إن العلاقة بين النصوع وطول الموجة له تأثيره على كل من العصيات والمخاريط. ولقد سبق أن تعرفنا على أن المتسلمات المسؤولة عن الرؤية في الظلام هي العصيات، وأنه كلما هبط مستوى الإنارة هبطت معه قدرة الإنسان على التمييز بين الألوان. ولا تستطيع العين المتكيفة للظلام التمييز بين الألوان مطلقاً خلال

تكيفها، إذ تمتنع المخاريط عن العمل بينما تقوم العصيات بكل الفعالية. وتسمى العملية التي تؤهل الإنسان للرؤية في الظلام بالتكيف للظلام Dark Adaptation.



شكل رقم (٨) منحنيا استجابة العصيات والمخاريط (Mc Mahon1972)

لقد أثارت حقائق التكيف للظلام، وبخاصة فيما يتعلق بالرؤية ليلاً، اهتماماً وأهمية تطبيقية على السلوك. فخلال الحرب كان على الطيارين المقاتلين أن يبقوا يقظين وتحت الإنذار طول الليل. وإذا أريد لهم أن يعملوا بكفاءة عالية تحتم عليهم أن يحافظوا على أعينهم متكيفة للظلام، وذلك ببقائهم في غرف مظلمة. غير أن المحافظة على كل هؤلاء الرجال في غرف مظلمة لوقت طويل لم تكن مسألة عملية. وكان أن توفر حل مبدع وحاذق لهذه المشكلة نتيجة أبحاث عالم نفس تجريبي. فالعصيات تستثار قليلاً من قبل الموجات الضوئية الطويلة (في حوالي ٧٠٠ ميلليمكرون) في حين تستثار المخاريط بصعوبة من قبل هذه الموجات (لاحظ الشكل رقم (٨). وبما أن الضوء الأحمر لا يكون له إلا أثر ضئيل على العصيات المتكيفة مع الظلام، فقد توصل عالم النفس هذا إلى صنع نظارات مستديرة كبيرة بعدسات حمراء تحيط بأعين الطيارين إحاطة تامة بحيث تمنع العصيات من إضاعة تكيفها وتبقيها في حالة متقدمة وجاهزة للعمل لحظة سماعهم نداء تنفيذ الواجب. وهم يستطيعون نزع هذه النظارات حين

يكونون في الظلام، ويضعونها على أعينهم قبل التطلع إلى الأشياء المثيرة، أو حين قراءتهم للتعليمات أو الخرائط.

وباكتشاف حقيقة أن العين المتكيفة للظلام لا تتأثر باللون الأحمر، أخذت السفن الحربية - هي الأخرى، تستخدم الضوء الأحمر في ممراتها الداخلة والخارجة. وعندما لا يصبح استعمال الضوء الأحمر مريحاً أو ممكناً في داخل هذه البواخر فإن المراقب الليلي يستطيع أن يلبس النظارات ذات العدسات الحمراء لكي لا يضطر لتأخير نفسه لمدة نصف ساعة ريثما تتكيف عينه للمراقبة الليلية. وبديهي أن الخرائط في مثل هذه الحالة تكون مرسومة بالأحمر ليتمكنوا من قراءتها.

كما أن الحراس أثناء الغارات الليلية يستطيعون استعمال الضوء الأحمر دون خوف من خطر اكتشافهم من قبل الطائرات المعادية. وكان قد انتشر خطأ فاحش أثناء الحرب العالمية الثانية، إذ استعمل الحراس الليليون مصابيح ذات زجاج أرزق بدل الأحمر، في حين أن اللون الأزرق هو أسهل الألوان إدراكاً أثناء تكيف العين للظلام. فشبكية العين تفقد لدى تكيفها للظلام حساسيتها للون الأحمر أولاً ثم البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق.

نستطيع أن نقول الآن قد تكونت لدينا صورة تكاد تكفي لفهم الجانب الفيزيولوجي من عملية الإبصار. لكن ما زال أمامنا أن نفهم جانباً مهماً من عملية الإبصار هو التمييز اللوني.