

كلية العلوم

القسم : علم الحاسوب

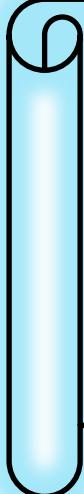
السنة : الرابعة



٩

المادة : فزيولوجيا الحواس

المحاضرة : السابعة/نظري/د. نرمين هير



{{{ A to Z مكتبة }}}}

Maktabat A to Z Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960



## آلية تفعيل مستقبلات الشبكية والكيميات الضوئية للرؤبة:

قبل الدخول في معرفة هذه الآلية، لنقف عند المقارنة الآتية للمستقبلات الضوئية في الشبكية.

### العصبي

### المخاريط

الصيغة هي:

- |   |  |
|---|--|
| (1) - الفوتوبسين (أوبسين + ريتينال مقرنون - 11) | الرودوبيسين (سكتوبسين + ريتينال مقرنون - 11)     |
| (2) - عتبة التثبيه أكبر                         | - أقل  |
| (3) - الحجم أكبر                                | - الحجم أقل                                      |
| (4) - العدد: 6-7 مليون                          | - 120 مليون                                      |
| (5) - نهايتها الخارجية مخروطية                  | - عصوية الشكل                                    |
| (6) - متخصصة للرؤبة في الضوء الساطع             | - متخصصة للرؤبة في الضوء الخافت (الرؤبة الليلية) |
| (7) - مسؤولة عن دقة الرؤبة                      | - مسؤولة عن الرؤبة المحيطية الإجمالية            |
| (8) - تتلاعم بشكل أبطأ                          | - تتلاعم بشكل أسرع                               |
| (9) - تمييز الأبيض والأسود                      | - تمييز ألوان الطيف الرئيسية (أخضر-أزرق-أحمر)    |

### النقل الضوئي البصري:

هو التحويل الحسي للنظام البصري، أي العملية التي يتم من خلالها تحويل الضوء إلى إشارات كهربائية في الخلايا العصبية والخلايا المخروطية والخلايا العقدية الحساسة للضوء في شبكة العين. أول من فسر هذه الدورة هو جورج والد (1906-1997)، الذي نال عنها جائزة نوبل عام 1967. وسميت بعده "دورة والد البصرية".

الدورة البصرية - (دورة الرودوبيسين - ريتينال) أو تحويل المنبه الضوئي إلى إشارة عصبية:

هي التحويل البيولوجي للفوتون إلى إشارة كهربائية في شبكة العين. تحدث هذه العملية عبر مستقبلات مقترنة ببروتين G (الترانسدوسين) وصبغة الرودوبيسين وهي عبارة عن بروتين دهنى مكون من الـ opsins ومن ريتينين 1 retinol ويدعى أيضاً ريتينال retinal للدلالة على أنه شكل أليهابي لهذه المادة ( بينما يدعى فيتامين A بالريتينول retinol .

النقط 11-cis retinal (الريتينال 11-المقرون) يتواجد عند عدم التعرض للضوء ويكون مرتبطاً بمستقبلات الأوبسين.

في الضوء:

عند التعرض لفوتون الضوء، تخضع الريتينال 11-cis لعملية أزمة ضوئية (الأزمة هي عملية إعادة ترتيب الجزيئات والروابط التي تربطها لتصبح تلك الجزيئات أكثر اقتراضاً من بعضها البعض)، إذ يتحول إلى ريتينال المفروق بالكامل ( وهو شكل ذو طاقة أقل) مما يغير شكل الـ opsins . وهذا التغيير يحفز بروتين G ( الذي يحفز بدوره الأنزيم محل ثانوي الأستير الفوسفاتي إلى شلالات cGMPPDE الذي يحطم c-GMP  $\rightarrow$  GMP #، وهذا ما يتسبب بإغلاق قنوات الصوديوم # ويفقد من تدفق الكالسيوم إلى الخلية وبالتالي التقليل من إفراز الغلوتاميت وحدوث فرط الاستقطاب للم المستقبلات الضوئية وانخفاض تثبيط أعصاب الشبكة ومن ثم إثارة أعصاب الشبكة . أي أن انخفاض الغلوتاميت يؤدي إلى فرط الاستقطاب )

بعد الأزمة والتحرر من بروتين الأوبسين، يتم اختزال الريتينال المفروق بالكامل all-trans إلى الريتينول المفروق بالكامل all-trans retinol وينتقل مرة أخرى إلى الظهارة الصبغية للشبكة ليتم "إعادة شحنه وتحويله إلى ريتينول 11-cis"

أخيراً، يتاكسن في شبكة العين إلى ريتينال 11-cis قبل العودة إلى الجزء الخارجي للقضيب حيث يتم اقترانه مرة أخرى مع opsins لتشكيل صبغة بصرية وظيفية جديدة هي الرودوبيسين.

(انظر المخطوطة 1).

تحتوي القطعة الخارجية للعصيات الرودوبسين أو الصباغ الأرجواني، وهذه المادة تتراكب من: Scotopsin والريتينال المقرن-11 cis retinal، وهذا المركب هام جداً، لأنه الوحيد القادر على الارتباط مع السكوتوبسين لتخليق الرودوبسين الذي يملك حساسية عالية للضوء عند موجة طول 505 نانو ميتر.

في الظلام:

أثناء تعرض العصي للظلام يكون تركيز GMP عالياً وهذا يؤدي إلى فتح قنوات الصوديوم الذي يندفع إلى الداخل مسبباً إزالة الاستقطاب ويدعى التيار الناتج عن تدفق الصوديوم تيار الظلام ويعتقد بأن شوارد الكالسيوم تدخل فتساهم في إزالة الاستقطاب الأمر الذي يؤدي إلى تحرر ناقل عصبي هو الغلوتاميت من المستقبلات الضوئية في الفالق المشبكى الذي يقوم بتثبيط إثارة الخلايا العصبية.

بعض الرودوبسين يعاد تشكله مباشرة، بينما يختزل (الريتينال المفروق) بواسطة إنزيم ديهيدروجيناز يوجد NADH إلى فيتامين A (ريتينول مفروق) يتحول إلى ريتينول مقرن به ريتينال يتحد مع السكوتوبسين ليشكل الرودوبسين من جديد. كما في (المخطوطة 1).

المينا رودوبيسين:

هو الرودوبسين المنشط الذي يثير التغيرات الكهربائية في العصيات التي تنقل حينئذ الصورة البصرية إلى الجهاز العصبي المركزي.

كيف تعمل شوارد الصوديوم على توليد فرط الاستقطاب؟

↑  
القطعة الداخلية للعصية تضخ باستمرار الصوديوم من داخل الخلية إلى خارجها وتضخ شوارد البوتاسيوم إلى داخلها وكما في الخلايا الأخرى تولد مضخة الصوديوم-البوتاسيوم كمونا سلبياً داخل الخلية بالنسبة لخارجها، ولكن في القطعة الخارجية للعصية حيث تتوضع المستقبلات الضوئية يكون الوضع مختلف تماماً.

### في الظلام:

يكون الغشاء نفوداً لشوارد الصوديوم عبر قنوات c-GMP، حيث يكون المحتوى من c-GMP مرتفعاً ولذلك تدخل شوارد الصوديوم إلى داخل العصبية، فتعادل بذلك الكثير من السلبية الموجودة داخل الخلية وتبلغ هذه السلبية في الظلام حوالي 40 ميللي فولط بدلاً من القيمة المعتادة 75 ← 80 ميللي فولط في معظم المستقبلات.

**في الضوء:** عندما يتعرض الرودوبسين للضوء ويبدأ بالتحلل، فإن ذلك يؤدي إلى غلق قنوات c-GMP الناقلة للصوديوم، وبالتالي ينخفض انتقال الصوديوم إلى داخل الخلية، على ثلاثة مراحل:

- 1 - يمتص الرودوبسين الضوء مسبباً تفعيلاً ضوئياً للإلكترونات في الجزء الشبكي.
- 2 - يحرّض الميتارودوبسين-11 أو الرودوبسين المفعّل البروتين G الذي يدعى c-GMP phosphodiesterase الذي يُفعّل بدوره إنزيم Transducin الذي يحفّز تحطم  $c\text{-GMP} \leftarrow c\text{-GMP}$ .
- 3 - أن انخفاض c-GMP يؤدي إلى غلق قنوات c-GMP وبالتالي يقل جريان الـ  $\text{Na}^+$  إلى داخل الخلية، بينما يستمر ضخ الصوديوم إلى خارج غشاء القطعة الداخلية أي أن كمية الصوديوم التي تغادر العصبية أكبر من تلك التي تتسرّب إلى داخلها، وهذا ما يزيد في السلبية داخل الخلية وبالتالي يشكل فرط الاستقطاب.

### إعادة تخلق c-GMP

يخترق الضوء تركيز الكالسيوم كما هو الحال لدى الصوديوم في المستقبلات الضوئية، ونتيجة لأنخفاض تركيز الكالسيوم يتتشطّط إنزيم Guanylyl cyclase الذي يولد الكثير من c-GMP،

وفي الآن نفسه يثبط إنزيم فوسفودي استيراز المفعول بالضوء. وهكذا يسرع هذان الفعلان إعادة

فتح قنوات الصوديوم  $\rightarrow$  فتح غواصيل نسخة

ما هي الآية التي يقلل بها الرودوبيسين من نقل شوارد الصوديوم عبر غشاء المستقبل؟

المستقبل الضوئي شلال كيميائي عالي الحساسية ويضمّ التبيهات حوالي مليون ضعفاً على النحو الآتي:

1- ينشط الفوتون الكتروناً في جزء الريتينال-المقرن-11 للرودوبيسين مما يؤدي إلى تشكيل الرودوبيسين الفعال، أي الميتارودوبسين -11.

2- يعمل الميتا رودوبسين -11 كإنزيم لتنشيط العديد من جزيئات الترانسدوبسين وهو البروتين المتواجد بشكل غير فعال في أغشية الأقراص والغشاء الخلوي للعصبي.

3- ينشط الترانسدوبسين المنشط عدداً كبيراً من جزيئات الفوسفودي استيراز.

4- يقوم إنزيم الفوسفودي استيراز بحتمة عدد كبير من جزيئات الغوانين الأحادي الفوسفات الحلقي  $C-GMP$  وإتلافه (تحفيض محتواه)  $\leftarrow GMP - 5$

ويتم ربط  $C-GMP$  قبل إتلافه مع بروتين قناة الصوديوم للغشاء الخارجي للعصبية ويثبته بحالة مفتوحة، ولكن الضوء  $\rightarrow$  يُحسن الفوسفودي استيراز أمركب الغوانين الأحادي الفوسفات  $-AMP-C$

الحلقي، فإنه يزيل التثبيت ويسبب إغلاق قناة الصوديوم، ويتم غلق المئات العديدة من القنوات مقابل كل جزيء رودوبسين منشط. ونظراً لأن تدفق الصوديوم خلال هذه القنوات سريع، فإن غلقها يؤدي إلى إحصار مليون شاردة صوديوم قبل فتحها ثانية وهذا ما يُفعّل العصبية.

5- خلال ثانية تقريباً، يقوم إنزيم كيناز الرودوبسين المتواجد في العصبية بتعطيل الرودوبيسين المنشط أو الميتارودوبسين -11، وينعكس الشلال فيعود إلى حالته السوية بفتح قنوات الصوديوم. وهذا ما يؤكد الحساسية المفرطة للعصبيات في حالة الظلام مادام فوتون واحد من الضوء يؤثر على حركة ملايين من شوارد الصوديوم، بينما المخاريط فهي أقل حساسية بحوالى

30 - 300 ضعفاً، ومع ذلك فإن هذا يسمح لها برؤية الألوان في أي ضوء أقوى من ضوء الشفق المعتم.

#### الدارات العصبية في الشبكية:

1- مستقبلات الضوء: هي العصبيات والمخاريط التي تنقل الإشارات إلى الطبقة الضفيرية الخارجية، التي تتشابك مع الخلايا ذات القطبين ومع الخلايا الأفقية.

2- الخلايا الأفقية التي تنشر الإشارات باتجاه أفقى في الطبقة الضفيرية الخارجية من العصبيات والمخاريط إلى تغصنات الخلايا ذات القطبين.

3- الخلايا ذات القطبين التي تنقل الإشارات من العصبيات والمخاريط والخلايا الأفقية إلى الطبقة الضفيرية الداخلية حيث تتشابك مع الخلايا العقدية والخلايا عديمة المحاور Ammacrine cells.

4- تنتقل الخلايا الأماكرينية (عديمة المحاور) الإشارات إما مباشرة من الخلايا ذات القطبين إلى الخلايا العقدية، أو أفقياً ضمن الطبقة الضفيرية الداخلية بين محاوير الخلايا ذات القطبين إلى تغصنات الخلايا العقدية والخلايا عديمة المحاویر الأخرى.

5- الخلايا العقدية تقوم بنقل الإشارات الصادرة من الشبكية عبر العصب البصري إلى الدماغ.

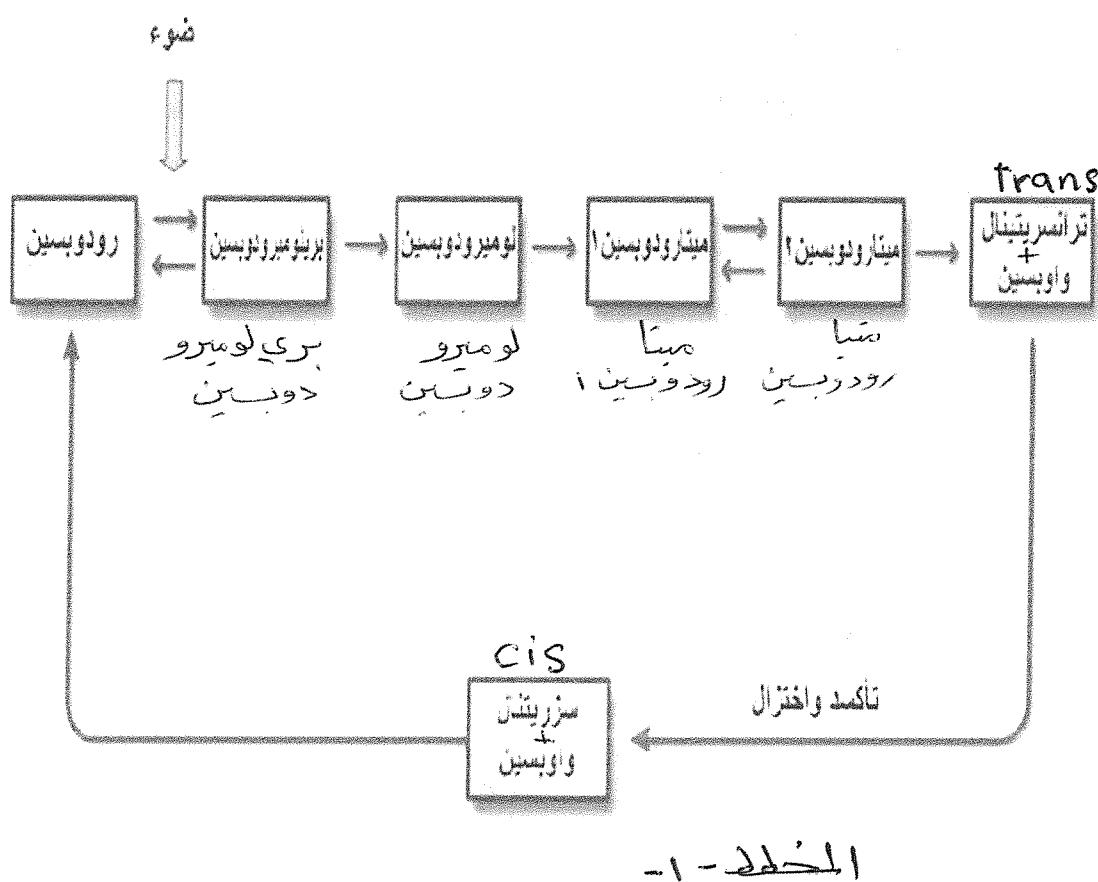
6- الخلايا العصبية بين الطبقة الضفيرية تنقل الإشارات باتجاه رجعي من الطبقة الضفيرية الداخلية إلى الخارجية وهي إشارات مثبتة، ويعتقد بأنها تتحكم بالانتشار الجانبي للإشارات البصرية بواسطة الخلايا الأفقية في الطبقة الضفيرية الخارجية، ومن المحتمل أنها تتحكم بدرجة التباين في الصورة البصرية.

ما هي النواقل العصبية المتحرزة في العصبونات المشبكية؟

يعتقد بأن العصبيات والمخاريط تحرر الغلوتامات عند مشابكتها مع الخلايا الثنائية الأقطاب، ولكن الخلايا عديمة المحاور (الأماكنينية) تفرز النواقل الآتية:

GABA- GnRH- CCK-  
 - الكولين - السوماتوستاتين - البيتا اندورفين. وتعمل هذه الناقلات كمثبطات في الحالة  
 السوية

### دورة الرودوبيسين في الضوء والظلام



## المسالك العصبية البصرية :Pathways Visual Neural

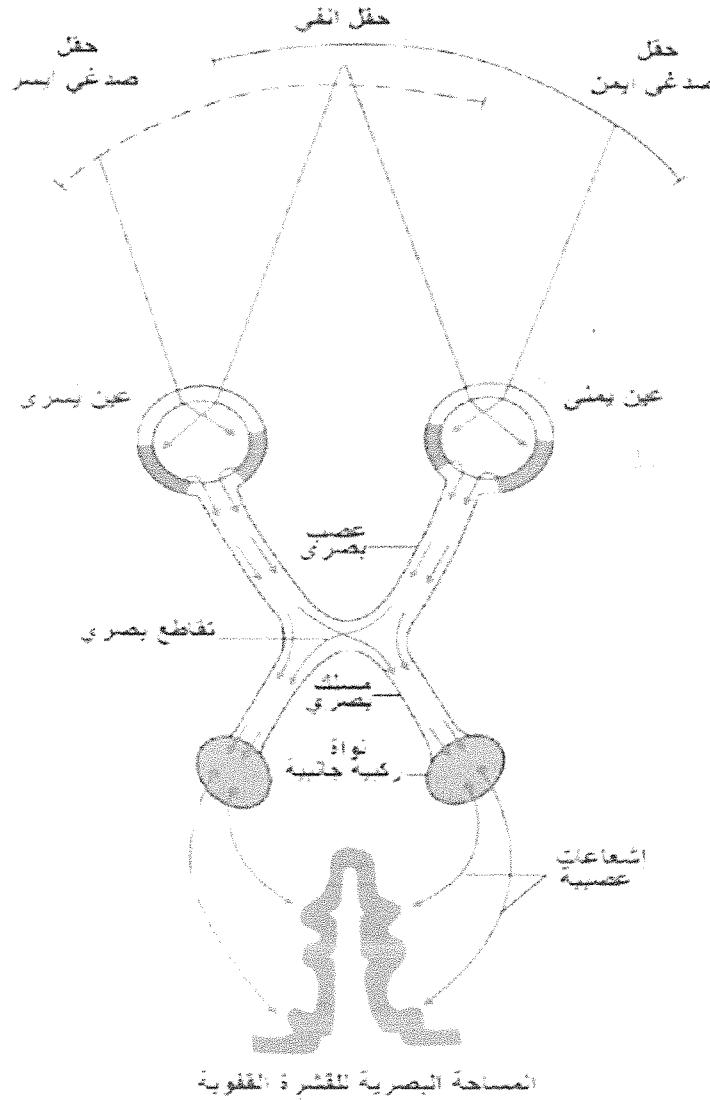
يمثل (الشكل 1-) المسالك العصبية البصرية. يمكن تمييز منطقتين في شبکية العين تقع عليهما الصور: الأولى تقع بعد خط المنتصف للعين باتجاه الأنف وتدعى الشبکية الأنفية nasal retina (الثانية) تقع بعد خط المنتصف باتجاه المنطقة الصدغية وتدعى الشبکية الصدغية temporal retina. تمتد محاور العصبونات العقدية من كل من المنطقتين في كل عين نحو الخلف والوسط مشكلة العصب البصري الأيمن للعين اليمنى والأيسر للعين اليسرى.

يلتقي العصبان في منطقة التصالب البصري optic chiasma حيث تتفصل ألياف العصبونات القادمة من الشبکية الأنفية في كل عين عن تلك القادمة من الشبکية الصدغية. وتعبر بعد ذلك إلى الجانب المقابل من الدماغ لتجتمع مع ألياف الشبکية الصدغية التي بقيت سائرة في الجانب نفسه من الدماغ مشكلة مسلكا بصريا optic tract يسير ليصل إلى النواة الركبية الجانبية العائد للمهاد. يؤدي التنظيم السابق المسير الألياف العصبية إلى أن الصور في الجانب الأيمن من الحقل البصري تنتقل إلى الجانب الأيسر من الدماغ بينما تلك في الجانب الأيسر للحقل البصري تنتقل إلى الجانب الأيمن من الدماغ.

عند النظر إلى حقل استقبال بصري فإن كل عين يكون لها حقل استقبال شبه دائري ويتقاطع الحقلان بحيث أن المنطقة الوسطى تراها كل من العينين بينما المناطق المحيطية في الجانب الأيمن تراها فقط العين اليمنى والمناطق المحيطية في الجانب الأيسر تراها فقط العين اليسرى.

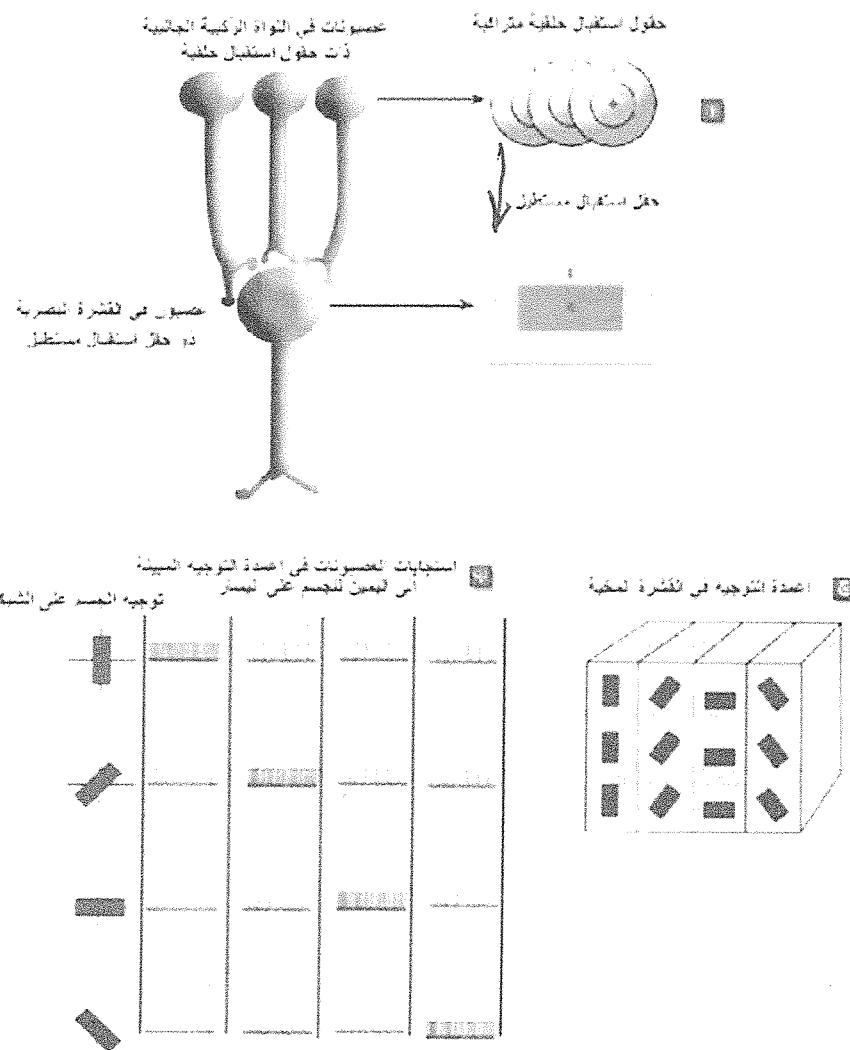
تحتوي النواة الركبية الجانبية على ست طبقات من الخلايا تستجيب الأولى والرابعة والسادسة للإضاءة الساقطة على العين الواقعة في الجانب المعاكس أي للإضاءة الساقطة على الشبکية الأنفية، بينما تستجيب الطبقات الثانية والثالثة والخامسة للإضاءة الساقطة على العين الواقعة في نفس الجانب من الدماغ أي على الشبکية الصدغية. تمتد محاور العصبونات من هذه النواة في النهاية إلى القشرة البصرية الأساسية التي تدعى (باحة برودمان Brodmann 17) Area 17 تترتب العصبونات في المساحة 17 على هيئة خريطة تتطابق تماما مع الحقل

البصري، فمركز **الحقل البصري** يقع على البقعة المركزية للشبكة وهذه تتمثل بأكبر مساحة ممكنة من القشرة البصرية لأنها المكان الذي يتم فيه إدراك معظم الصور.



الشكل: ١ - تعبّر ألياف العصبونات العقدية في الشبكيّة الصدغيّة في أحد جانبي الجسم التصالب البصري وتُسیر جنباً إلى جنب مع نظيراتها من الشبكيّة الأنفيّة في الجانب الآخر لتصنعاً تشابكات في النواة الركبيّة الجانبيّة.

تترتب العصبونات في القشرة البصرية الأساسية (الباحة 17) أيضا على هيئة أعمدة تدعى أعمدة التوجيه orientation columns. فالعصبونات في هذه القشرة ذات حقل استقبال مستطيل وليس حلقيا كما هو الحال في النواة الجانبية. لكن كل عصبون في هذه القشرة لا يمكن تبنيه بمجرد تبنيه عصبون واحد في النواة الجانبية بل بتبنيه عدة عصبونات تتراكب حقول استقبالها الحلقية لتشكل حقل استقبال مستطيل شكل 2-2 وقد وجد أن بعض أعمدة التوجيه تستجيب لحقول استقبال مستطيلة مرتبة بشكل عمودي وأخرى لحقول استقبال مستطيلة مرتبة بشكل أفقي وثالثة لحقل استقبال مستطيل مرتب بشكل مايل بزاوية معينة وهكذا. بهذا الترتيب نجد أن بعض عصبونات القشرة البصرية تستجيب للضوء المنعكس مثلا من على حرف (أ). (العمودي) وأخرى للضوء المنعكس عن الأجزاء الأفقية من حرف (ب) وهكذا ... أما عصبونات القشرة البصرية الثانوية الممثلة بمساحات برودمان 18 و 19 فهي تستجيب لحقول استقبال أكثر تعقيدا وتتتج عن توليفة من حقول الاستقبال المستطيلة البسيطة. فبعض العصبونات مثلا تستجيب لحقل استقبال معقد كذلك الناتج عن حرف (د) أو (ر) وهكذا. وقد بينت التجارب على الحيوانات أن الحيوانات الصغيرة التي تنشأ في بيئة غنية بالأجسام العمودية وفقيرة بالأجسام الأفقية لا تستطيع إدراك الأجسام الأفقية في حياتها لاحقا الأمر الذي يبين أهمية ثراء البيئة في تطور الإدراك البصري. لهذا فإن كثيرا من علماء نفس الطفولة يؤكدون بشكل كبير أهمية الألعاب للأطفال لأنها تمثل وسيلة لتطور الإدراك البصري.



الشكل 2: أ) تنقل عصبونات النواة الركبية معلوماتها إلى القشرة البصرية الأساسية، فحقول الاستقبال الدائرية لها المترابكة فوق بعضها تترجمها القشرة البصرية على أنها حقول مستطيلية؛ ب) استجابة عصبونات القشرة البصرية لقطبان بتوجيهات مختلفة؛ ج) ترتيب العصبونات المميزة للتوجيه في أعمدة في القشرة البصرية.

## **إدراك عمق الحقل البصري (depth perception) Stereopsis (depth perception)**

يعتمد إدراك تعاقب الأجسام خلف بعضها البعض في الحقل البصري على الفروقات الطفيفة في الصور المكونة في كل من العينين. إذ أن صورة جسم ما تقع على شبكة العين اليمنى عند نقطة لا تتطابق تماماً مع النقطة الم対 المقابلة في شبكة العين اليسرى. يؤدي هذا إلى أن حقول الاستقبال للعصبونات في القشرة البصرية في كل من جانبي الدماغ لا تتطابق تماماً وهذا يزود الدماغ بإشارة تستخدم لتقدير الفروقات في بعد الأجسام المرئية عن العين.

## **إدراك موقع الأجسام في الحقل البصري**

يعتمد إدراك موقع الأجسام التي نراها على الحدبات العلوية superior colliculi العائدة للدماغ الأوسط. إذ أن العصبونات العقدية في الشبكة تتشارك مع عصبونات في الطبقات العليا للحدبات العلوية، كما أن هذه الأخيرة تستقبل عصبونات من القشرة المخية. تنشط بعض العصبونات العقدية العصبونات القشرية في الحدبات العلوية. وقد بينت التجارب على الحيوانات أن الحدبات العلوية ذات دور في تحديد موقع الأجسام بينما تقوم القشرة بتحديد ماهية هذه الأجسام.

## **بعض اضطرابات الرؤية: Vision Disorder:**

### **العمى الليلي :Night blindness**

ينتج بسبب نقص فيتامين A في الجسم. والمعروف أن فيتامين A تستمد الطلائية الصبغية من الدم ونظراً لاتصال الطلائية الصبغية بالمستقبلات الضوئية فإنها تعوض ما يتحلل من رودوبسين، فإذا نقص محتواها من فيتامين A فإن تعويض رودوبسين المتحلل لا يتم وتقص الصبغة في العصي التي تعد ضرورية للرؤية في الضوء الخافت.

### **: Glaucoma (الزرق أو الماء الأسود)**

يكون ضغط السائل المائي داخل الحجرة الأمامية للعين الطبيعية حوالي 16 ملم زئبق. وهذا السائل يتجدد باستمرار نتيجة لإفرازه من الجسم الهبني ويبقى ضغط السائل ثابت تقريباً بسبب صرف السائل باستمرار عبر فناء شلم التي تنقله إلى الدم. فإذا اختلف التوازن بين الإفراز والصرف كان يزداد الإفراز أحياناً أو يحدث انسداد جزئي لفناء شلم فإن ضغط السائل يرتفع

داخل العين مسبباً جلوكوما تؤدي إلى نتائج وخيمة تتمثل في تلف أعصاب العين وفقدان البصر.

### قصر النظر (Myopia (Near sightedness)

يحدد شكل العدسة وشكل القرنية (درجة التحدب) وطول كرة العين النقطة التي تلتقي عندها الأشعة المنعكسة عن الأجسام وبالتالي فهي تحدد النقطة التي تتكون عندها الصورة. فإذا كان طول كرة العين كبيراً ، أو كانت العدسة والقرنية أكثر (تكوراً)، فإن صور الأجسام البعيدة تتكون عند نقطة تقع أمام الشبكية وليس عليها تماماً أي أن الأشعة المكونة للصورة أقصر من أن تصل إلى الشبكية ويدعى هذا قصر النظر. يصح قصر النظر بارتداء عدسات مقعرة الوجهين تقوم بتقريب الأشعة بعض الشيء مما يؤدي إلى تجمعها ثانية عند مكان أبعد قليلاً مما كان متوقعاً بدون العدسة فتسقط على الشبكية.

طول النظر (Hyperopia - Far sightedness) إذا كانت كرة العين قصيرة أو كانت العدسة والقرنية أكثر تفطحاً (أقل تكوراً)، فإن الأشعة المنعكسة عن الأجسام القريبة تجتمع في نقطة تقع خلف الشبكية وبذا فإن الفرد لا يرى الأجسام بوضوح ويدعى هذا طول النظر. يصح طول النظر باستخدام عدسات محدبة الوجهين تزيد من كسر الأشعة لكي تتكون الصورة أمام موقعها المتوقع بدون العدسة، أي على الشبكية تماماً. يظهر طول النظر، عادة كجزء من عملية الهرم الطبيعي بعد سن 45 عاماً، جزئياً بسبب فقد العدسة المطاطية لمطاطيتها مما يفقدها القدرة على التكبير الضروري للتكيف لرؤية الأجسام القريبة.

### إستجماتزم (اللابؤرية) (Astigmatism)

يتوقع عادة أن يكون سطح القرنية وسطح العدسة منتظماً أو متماثلاً التكبير. فإذا حدث وكان هذا السطح غير منتظم فإن الأشعة لا تنكسر بنفس الدرجة أثناء مرورها بكل أجزاء القرنية أو العدسة. يؤدي هذا إلى صورة غير واضحة و تعالج هذه الحالة باستخدام عدسات أسطوانية

### تصحيح قصر وطول النظر

المستوى الذي تتكون عنده البؤرة

قصر نظر

طول نظر

عدسة مقعرة

عدسة محدبة

- 3 -  
الشكل - 3



A to Z مكتبة