



كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : فزيولوجيا الحواس

المحاضرة : السابعة / نظري / د. نزهير

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة 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 والكيمياء الضوئية للرؤية:

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

العصي

المخاريط

الصبغة هي:

- ① - الفوتوبسين (أوبسين + ريتينال مقرون - 11)      الرودوبسين (سكوتوبسين + ريتينال مقرون - 11)
  - ② - عتبة التنبيه أكبر      - أقل
  - ③ - الحجم أكبر      - الحجم أقل
  - ④ - العدد: 6-7 مليون      - 120 مليون
  - ⑤ - نهايتها الخارجية مخروطية      - عصوية الشكل
  - ⑥ - متخصصة للرؤية في الضوء الساطع      - متخصصة للرؤية في الضوء الخافت (الرؤية الليلية)
  - ⑦ - مسؤولة عن دقة الرؤية      - مسؤولة عن الرؤية المحيطية الإجمالية
  - ⑧ - تتلاءم بشكل أبطأ      - تتلاءم بشكل أسرع
  - ⑨ - تمييز ألوان الطيف الرئيسة      - تمييز الأبيض والأسود
- (اخضر - أزرق - أحمر)

النقل الضوئي البصري:

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

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

هي التحويل البيولوجي للفوتون إلى إشارة كهربائية في شبكية العين. تحدث هذه العملية عبر مستقبلات مقترنة ببروتين G (الترانسدوسين) وصبغة الرودوبسين وهي عبارة عن بروتين دهني مكون من  $\text{opsin}$  ومن ريتينين 1  $\text{retinine}$  ويدعى أيضاً ريتينال  $\text{retinal}$  للدلالة على أنه شكل ألدياهيدي لهذه المادة) بينما يدعى فيتامين A بالريتينول  $\text{retinol}$ .

النمط  $11\text{-cis retinal}$  (الريتينال. 11-المقرون) يتواجد عند عدم التعرض للضوء ويكون مرتبطاً بمستقبلات الأوبسين.

### في الضوء:

عند التعرض لفوتون الضوء، تخضع الريتينال  $11\text{-cis}$  لعملية أزمة ضوئية (اللزعة هي عملية إعادة ترتيب الجزيئات والروابط التي تربطها لتصبح تلك الجزيئات أكثر اقتراباً من بعضها البعض)، إذ يتحول إلى ريتينال المفروق بالكامل (وهو شكل ذو طاقة أقل) مما يغير شكل  $\text{opsin}$ . وهذا التغير يحفز بروتين G (الذي يحفز بدوره الأنزيم محلل ثنائي الأستير الفوسفاتي إلى شلالات  $\text{cGMPPDE}$  الذي يحطم  $\text{c-GMP} \leftarrow \text{GMP}$ ، وهذا ما يتسبب بإغلاق قنوات الصوديوم # ويقلل من تدفق الكالسيوم إلى الخلية وبالتالي التقليل من إفراز الغلوتاميت وحدوث فرط الاستقطاب للمستقبلات الضوئية وانخفاض تثبيط أعصاب الشبكية ومن ثم إثارة أعصاب الشبكية. أي أن انخفاض الغلوتاميت يؤدي إلى فرط الاستقطاب

بعد الأزمة والتحرر من بروتين الأوبسين، يتم اختزال الريتينال المفروق بالكامل  $\text{all-trans retinal}$  إلى الريتينول المفروق بالكامل  $\text{all-trans retinol}$  وينتقل مرة أخرى إلى الظهارة الصبغية للشبكية ليتم إعادة شحنه وتحويله إلى ريتينول  $11\text{-cis}$

أخيراً، يتأكسد في شبكية العين إلى ريتينال  $11\text{-cis}$  قبل العودة إلى الجزء الخارجي للقضيب حيث يتم اقترانه مرة أخرى مع  $\text{opsin}$  لتشكيل صبغة بصرية وظيفية جديدة هي الرودوبسين.

(انظر المخطط 1).

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

في الظلام:

أثناء تعرض العصي للظلام يكون تركيز c-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 المشبكي الذي يقوم بتنشيط إثارة الخلايا العصبية.

بعض الرودوبسين يعاد تشكله مباشرة، بينما يختزل الريتينال المفروق بواسطة انزيم ديهيدروجيناز بوجود NADH إلى فيتامين A (ريتينول مفروق) يتحول إلى ريتينول مقرون مع ريتينال يتحد مع السكوتوبسين ليشكل الرودوبسين من جديد. كما في (المخطط 1).

المينا رودوبسين

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 نفوذاً لشوارد الصوديوم عبر قنوات c-GMP، حيث يكون المحتوى من c-GMP مرتفعاً ولذلك تدخل شوارد الصوديوم إلى داخل العصية، فتعادل بذل الكثير من السلبية الموجودة داخل الخلية وتبلغ هذه السلبية في الظلام حوالي -40 ميلي فولط بدلاً من القيمة المعتادة -75 ← -80 ميلي 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 ثلاث مراحل:

1- يمتص الرودوبسين الضوء مسبباً تفعيلاً ضوئياً للإلكترونات في الجزء الشبكي.

2- يحرض الميثارودوبسين-11 أو الرودوبسين المفعّل البروتين G الذي يدعى Transducin الذي يفعّل بدوره انزيم c-GMP phosphodiesterase الذي يحفز تحطّم  $c-GMP \rightarrow 5'-GMP$ .

3- أن انخفاض c-GMP يؤدي إلى غلق قنوات c-GMP وبالتالي يقل جريان الـ  $Na^+$  إلى داخل الخلية، بينما يستمر ضخ الصوديوم إلى خارج غشاء القطعة الداخلية أي أن كمية الصوديوم التي تغادر العصية أكبر من تلك التي تتسرّب إلى داخلها، وهذا ما يزيد في السلبية داخل الخلية وبالتالي يشكل فرط الاستقطاب.

### إعادة تخليق c-GMP:

يختزل الضوء تركيز الكالسيوم كما هو الحال لدى الصوديوم في المستقبلات الضوئية، ونتيجة لانخفاض تركيز الكالسيوم ينتشط انزيم Guanylyl cyclase الذي يولد الكثير من c-GMP،

وفي الآن نفسه يثبط انزيم فوسفودي استيراز المفعّل بالضوء. وهكذا يسرّع هذان الفعلان إعادة

فتح قنوات الصوديوم • ف غوانيليل نوكليوتيد

ماهي الآلية التي يقتل بها الرودوبسين من نقل شوارد الصوديوم عبر غشاء المستقبل؟

المستقبل الضوئي شلال كيميائي عالي الحساسية ويضخم التنبيهات حوالي مليون ضعفاً على

النحو الآتي:

1- ينشط الفوتون الكترناً في جزء الريتينال-المقرون-11 للرودوبسين مما يؤدي إلى تشكل الرودوبسين الفعّال، أي الميتارودوبسين -11.

2- يعمل الميتا رودوبسين -11 كإنزيم لتنشيط العديد من جزيئات الترانسديوسين وهو البروتين المتواجد بشكل غير فعّال في أغشية الأقراص والغشاء الخلوي للعصي.

3- ينشط الترانسديوسين المنشط عدداً كبيراً من جزيئات الفوسفو دي استيراز.

4- يقوم انزيم الفوسفو دي استيراز بحلمة عدد كبير من جزيئات الغوانين الأحادي الفوسفات الحلقي c-GMP وإتلافه (تخفيض محتواه)  $\leftarrow \text{GMP} - 5$

وبتم ربط c-GMP قبل إتلافه مع بروتين قناة الصوديوم للغشاء الخارجي للعصية ويتنبته بحالة مفتوحة، ولكن الضوء يحفز الفوسفودي استيراز على فك مركب الغوانين الأحادي الفوسفات AMP - الحلقي، فإنه يزيل التثبيث 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 يُفعل العصية.

5- خلال ثانية تقريباً، يقوم انزيم كيناز الرودوبسين المتواجد في العصية بتعطيل الرودوبسين المنشط أو الميتارودوبسين -11، وينعكس الشلال فيعود إلى حالته السوية بفتح قنوات

الصوديوم. وهذا ما يؤكد الحساسية المفرطة للعصيات في حالة الظلام مادام فوتون واحد من الضوء يؤثر على حركة ملايين من شوارد الصوديوم، بينما المخاريط فهي أقل حساسية بحوالي

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 العصيات والمخاريط التي تنقل الإشارات إلى الطبقة الضفيرية الخارجية، التي تتشابك مع الخلايا ذات القطبين ومع الخلايا الأفقية.

2- الخلايا الأفقية التي تنشر الإشارات باتجاه أفقي في الطبقة الضفيرية الخارجية من العصيات والمخاريط إلى تغصّات الخلايا ذات القطبين.

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

4- تنقل الخلايا الأماكينية (عديمة المحاور) الإشارات إما مباشرة من الخلايا ذات القطبين إلى الخلايا العقدية، أو أفقياً ضمن الطبقة الضفيرية الداخلية بين محاور الخلايا ذات القطبين إلى تغصّات الخلايا العقدية والخلايا عديمة المحاور الأخرى.

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

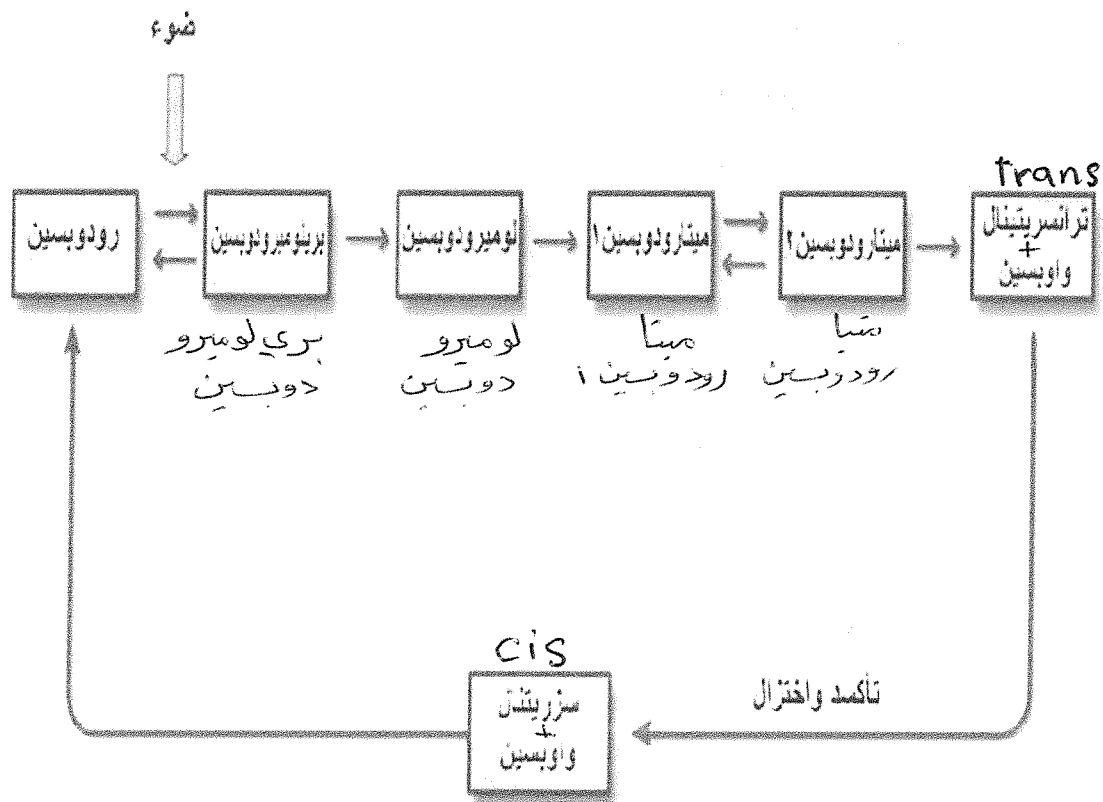
6- الخلايا العصبونية بين الضفيرية تنقل الإشارات باتجاه رجعي من الطبقة الضفيرية الداخلية إلى الخارجية وهي إشارات مثبّطة، ويعتقد بأنها تتحكم بالانتشار الجانبي للإشارات البصرية بواسطة الخلايا الأفقية في الطبقة الضفيرية الخارجية، ومن المحتمل أنها تتحكم بدرجة التباين في الصورة البصرية.

### ماهي النواقل العصبية المتحررة في العصبونات المشبكية؟

يعتقد بأن العصيات والمخاريط تحرر الغلوتامات عند مشابكها مع الخلايا الثنائية الأقطاب، ولكن الخلايا عديمة المحاور (الأماكينية) تفرز النواقل الآتية:

CCK- GnRH- GABA- الغلايسين - الدوبامين - السيروتونين - الأسيتيل  
 كولين - السوماتوستاتين - البيتا اندورفين. وتعمل هذه الناقلات كمنشطات في الحالة  
 السوية

### دورة الرودوبسين في الضوء والظلام



المخطط - ١ -

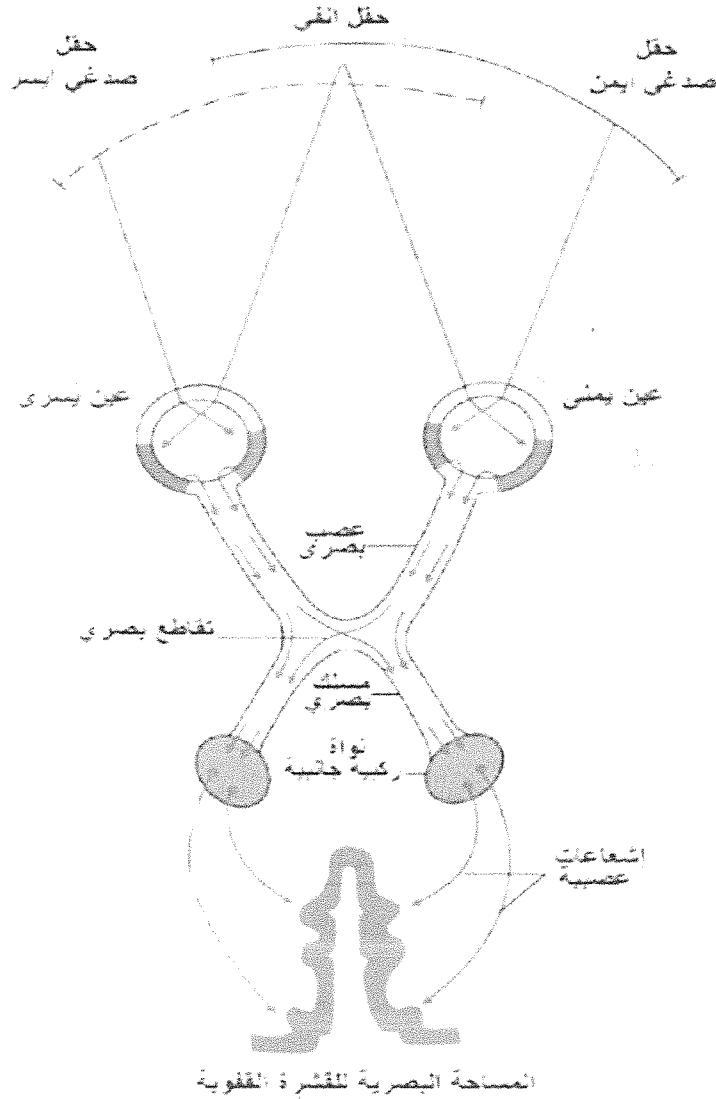
## المسالك العصبية البصرية Pathways Visual Neural:

يمثل (الشكل 1-) المسالك العصبية البصرية. يمكن تمييز منطقتين في شبكية العين تقع عليهما الصور: الأولى تقع بعد خط المنتصف للعين باتجاه الأنف وتدعى الشبكية الأنفية nasal retina والثانية تقع بعد خط المنتصف باتجاه المنطقة الصدغية وتدعى الشبكية 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 الشبكية الأنفية في كل عين عن تلك القادمة من الشبكية الصدغية. وتعتبر بعد ذلك إلى الجانب المقابل من الدماغ لتجتمع مع ألياف الشبكية الصدغية التي بقيت سائرة في الجانب نفسه من الدماغ مشكلة مسلكا بصريا optic tract يسير ليصل إلى النواة الركبية الجانبية العائدة 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.

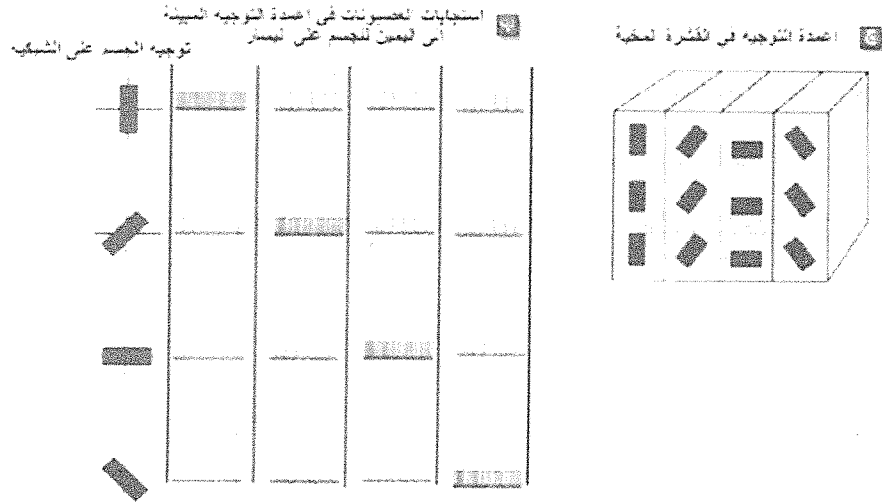
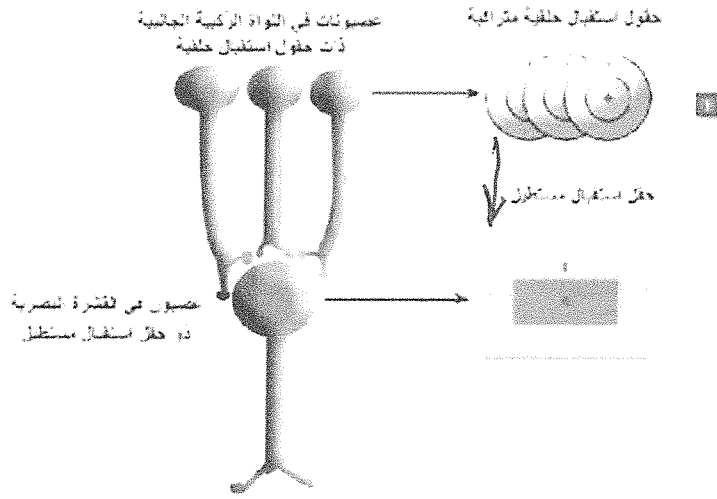
← عند النظر إلى حقل استقبال بصري فإن كل عين يكون لها حقل استقبال شبه دائري ويتقاطع الحقلان بحيث أن المنطقة الوسطى تراها كل من العينين بينما المناطق المحيطة في الجانب الأيمن تراها فقط العين اليمنى والمناطق المحيطة في الجانب الأيسر تراها فقط العين اليسرى. تحتوي النواة الركبية الجانبية على ست طبقات من الخلايا تستجيب الأولى والرابعة والسادسة للإضاءة الساقطة على العين الواقعة في الجانب المعاكس أي للإضاءة الساقطة على الشبكية الأنفية، بينما تستجيب الطبقات الثانية والثالثة والخامسة للإضاءة الساقطة على العين الواقعة في نفس الجانب من الدماغ أي على الشبكية الصدغية. تمتد محاور العصبونات من هذه النواة في النهاية إلى القشرة البصرية الأساسية التي تدعى (باحة برودمان 17) Brodmann 17 Area. تترتب العصبونات في المساحة 17 على هيئة خريطة تتطابق تماما مع الحقل

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



الشكل: 1- تعبر ألياف العصبونات العقدية في الشبكية الصدى في أحد جانبي الجسم للتصالب البصري وتسير جنباً إلى جنب مع نظيراتها من الشبكية الأنفية في الجانب الآخر لتصنع تشابكات في النواة الركبية الجانبية.

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 حلقيًا كما هو الحال في النواة الجانبية. لكن كل عصبون في هذه القشرة لا يمكن تنبيهه بمجرد تنبيه عصبون واحد في النواة الجانبية بل بتنبيه عدة عصبونات تتراكب حقول استقبالها الحلقية لتشكل حقل استقبال مستطيل شكل [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 مائل 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 وتنتج 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 المتراكبة فوق بعضها تترجمها القشرة البصرية على أنها حقول مستطيلة؛ ب) استجابة عصبونات القشرة البصرية لقضبان بتوجيهات مختلفة؛ ج) ترتيب العصبونات المميزة للتوجيه في أعمدة في القشرة البصرية.

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

يعتمد إدراك تعاقب الأجسام خلف بعضها البعض في الحقل البصري على الفروقات الطفيفة في الصور المتكونة في كل من العينين. إذ أن صورة جسم ما تقع على شبكية العين اليمنى عند نقطة لا تتطابق تماما مع النقطة المناظرة في شبكية العين اليسرى. يؤدي هذا إلى أن حقول الاستقبال للعصبونات في القشرة البصرية في كل من جانبي الدماغ لا تتطابق تماما 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 الشبكية تتشابك 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. ولقد 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 تستمده الطلائية الصبغية من الدم ونظراً للاتصال الطلائية الصبغية بالمستقبلات الضوئية فإنها تعوض ما يتحلل من رودوبسين، فإذا نقص محتواها من فيتامين A فإن تعويض رودوبسين المتحلل لا يتم وتتنقص الصبغة في العصي التي تعد ضرورية للرؤية في الضوء الخافت.

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

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

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

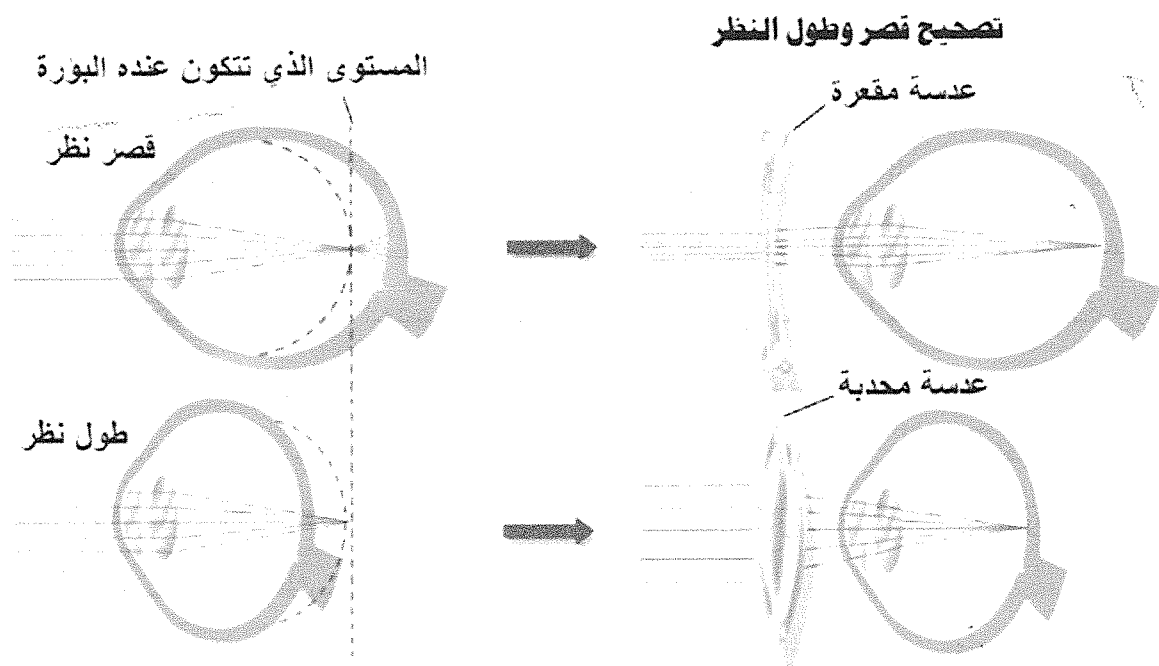
### قصر النظر (Myopia (Near sightedness):

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 كبيرا ، أو كانت العدسة والقرنية أكثر (تكورا)، فإن صور الأجسام البعيدة تتكون عند نقطة تقع أمام الشبكية وليس عليها تماما أي أن الأشعة المكونة للصورة أقصر من أن تصل إلى الشبكية ويدعى هذا (قصر النظر). يصحح قصر النظر بارتداء عدسة مقعرة الوجهين تقوم بتفريق الأشعة بعض الشيء مما يؤدي إلى تجمعها ثانية عند مكان أبعد قليلا مما كان متوقعا بدون العدسة فتسقط على الشبكية.

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

### استجماتزم (اللابؤرية) Astigmatism:

يتوقع عادة أن يكون سطح القرنية وسطح العدسة منتظما أو متماثل التكور. 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 وتعالج هذه الحالة باستخدام عدسات أسطوانية.



الشكل - 3 -



مكتبة أ إلى ز