الطيور والعيون الفائقة

ا.د. محمد لبيب سالم

2020-08-06

"وقد تتفوق عيون الطيور على عيون الإنسان وترى الألوان الفوق بنفسجية"

العين هي عضو يقوم باستكشاف الضوء، وتحويله إلى نبضات إليكتروكيميائية في الأعصاب، ووظيفته الأساسية هي الإبصار. وقد تطورت العين لتتكيف مع متطلبات المعيشة، وتلعب الجينات في ذلك دورا هاما. وتختلف العيون في شكلها وحدتها وكفاءتها، وفي مدى حساسيتها للموجات الضوئية المختلفة، وكذلك بالنسبة لحساسيتها للرؤية في ضوء النهار وفي الظلام أو الليل . ورغم اختلاف تركيب العين في الكائنات الحية من العين البسيطة إلى المركبة إلا أن بعض مكونات العين مثل الأصباغ البصرية تبدو وكأنها من أصل مشترك. وعلى الرغم من أن العين البدائية البسيطة الحساسة للضوء ظهرت في الحيوانات الأولية، إلا أن العين المعقدة المكونة للصور تطورت حوالي 50 إلى 100 مرة من نفس الجينات وبنفس البروتينات في بنائها.

ومن المعروف أن نحو 95 % من المملكة الحيوانية له أعين. ومن ضمن الحيوانات ذات الأعين يوجد من الفقاريات نحو أربعين ألف نوع، ومن الرخويات وثنائيات الصدفة والغمديات نحو مائة ألف نوع، ومن مفصليات الأرجل القشريات والعنكبوتيات والحشرات أكثر من مليون نوع.

والعين في الكائنات أحادية
الخلية عبارة عن مستقبلات ضوئية بروتينية حسّاسة للضوء (العين الأولى) والتي تسمّى "بقع العين". والوظيفة الأساسية لبقع العين هذه هي الإحساس بالضوء المحيط؛ أي يمكنها التمييز بين الضوء والظلام، وذلك مناسبٌ جدا لهذه الحيوانات البدائية التي لا تحتاج سوى لمعرفة طول ساعات النهار (الفترة الضوئية)، والليل (الفترة المظلمة). لأن تركيبها غير كافٍ للرؤية، لأنها لا تستطيع التمييز بين الأشكال أو تحديد اتجاه الضوء. وتتواجد بقع العين هذه في جميع المجموعات الحيوانية الأولية تقريبًا، وهي شائعة بين الكائنات أحادية الخلية، بما في ذلك الأيوجلينا. حيث تقع بقعة الأيوجلينا العينية في نهايتها الأمامية، وهي بقعة صغيرة من الصباغ الأحمر الذي يظلل مجموعة من البلورات الحساسة للضوء. تسمح البقعة العينية -مع السوط الموجِّه-

للكائن الحي بالتحرك استجابةً للضوء، وغالبًا نحو الضوء الذي يساعدها في عملية التمثيل الضوئي، وكذلك في التنبؤ بالليل والنهار -وهو الوظيفة الأساسية للنظام اليومي. أما في أدمغة الكائنات الأكثر تعقيدًا، فإن الأصباغ البصرية يُعتقَد أنّها تمتلك دورًا في مزامنة التفريخ مع الدورات القمرية. فمن خلال الكشف عن التغييرات الطفيفة في الإضاءة الليلية، يمكن للكائنات الحية مزامنة إطلاق الحيوانات المنوية والبيض لتعزيز احتمال الإخصاب.

ومع أن الرؤية تعتمد على الكيمياء الحيوية الأساسية المشتركة بين كل العيون، إلا أن الطريقة التي تترجم فيها هذه الأدوات الكيميائية الحيوية تختلف، حيث تحتوي العين على مجموعة واسعة من البُنى والأشكال، التي تطوّرت جميعها بمرحلة متأخرة جدًا مقارنةً بالبروتينات والجزيئات الأساسية. تمتلك العيون -على المستوى الخلوي- تصميمين رئيسيين؛ أحدهما لدى أوليات الفم (الرخويات، الحلقيات، ومفصليات الأرجل)، والآخر لدى ثانويات الفم (الحبليات، وشوكيات الجلد(.

تحتوي الخلية المستقبلة للضوء على بروتينات الأوبسين، وهي الوحدة الوظيفية للعين التي تقوم بإطلاق الإشارة العصبية استجابةً للضوء. تُحمَل الأوبسينات الحسّاسة للضوء على طبقة شعرية، لتعظيم مساحة السطح، وتختلف طبيعة هذه "الشعرات"، حيث يوجد شكلان أساسيان لذلك، وهي: الزغيبات والأهداب. ففي عيون أوليات الفم هي زغيبات: امتدادات أو نتوءات من الغشاء الخلوي، بينما تكون في عيون ثانويات الفم أهدابًا؛ أي بنىً منفصلة عن الغشاء الخلوي. ومع ذلك، قد يستخدم الكائن الحي نوعًا آخرًا من المستقبلات الضوئية خارج العينين، على سبيل المثال: تستخدم الدودة الحلقية (بلاتينيريس ديوميريلياي- Platynereis dumerilii) خلايا زغيبية في العيون، ولكنها تملك أيضًا مستقبلة ضوء هدبية في الدماغ. وقد لوحظ أيضا أن بعض الزغيبات تحتوي على آثارٍ للأهداب. وبالإضافة إلى فرق الأهداب والزغيبات بين أوليات وثانويات الفم فهناك فرقًا جوهريًا آخر، إذ يستخدم بعضها الصوديوم لإحداث الإشارة الكهربائية التي ستشكل سيالةً عصبيةً، بينما يستخدم البعض الآخر البوتاسيوم. إضافةً إلى ذلك، تقوم أوليات الفم -على العموم- بإحداث الإشارة من خلال السماح للصوديوم بالمرور عبر جدران خلاياها بشكل أكبر، بينما تسمح ثانويات الفم بمرور أقل للصوديوم.

تركيب العين

=src

وتتكون
عين الحيوانات العليا وعين الإنسان من ثلاث طبقات رئيسية هي **الصلبة والمشيمية والشبكية**.

- تقع **الصلبة** في الخارج، حيث تتكون من نسيج ضام يحمي العين، وهي غنية بالأوعية الدموية. والجزء الأمامي من هذه الطبقة شفاف وهو القرنية، والقرنية لا تحتوي على الأوعية الدموية، فتأخذ ما تحتاج إليه من غذاء وأوكسجين من الإفراز المائي الذي يفرز من الجسم الهدبي.
- أما **المشيمية** فتقع بين الصلبة والشبكية. وتحتوي على أوعية دموية وتعمل على توصيل الدم المحمل بالأكسجين للشبكية. وهي غنية بصباغ الميلانين الذي يمتص الفائض من الأشعة الضوئية التي تجتاز الشبكية، فيمنع انعكاسها ويسبب وضوح الرؤية. وتكوّن القزحية القسم الأمامي من المشيمية وخلفه **الجسم الهدبي**. **والقزحية** هي قرص ملون (مسؤولة عن لون العين) بمنتصفه فتحة يتغير قطرها بحسب كمية الضوء الداخل إلى العين تدعى الحدقة. أما **الجسم الهدبي** والذي يوجد خلف القزحية يحيط به زوائد هدبية تفرز السائل المائي، وتحوي القزحية والجسم الهدبي أليافا عضلية ملساء بعضها شعاعي وبعضها دائري، وتعمل بطريقة لا إرادية.
- **الشبكية** تبطن المشيمية من الخلف والجوانب، ولكن لا تصل إلى الأمام، وتتكون الشبكية من وريقتين هما وريقة صباغية خارجية وريقة عصبية داخلية. الوريقة الصباغية الخارجية تلتصق بالسطح الداخلي للمشيمية وتحوي خلاياها صباغا أسودا يجعل جوف كرة العين مظلما فيحقق وضوح الرؤية ويختزن كميات كبيرة من فيتامين A. وتتألف الوريقة العصبية الداخلية من ثلاث طبقات خلوية عصبية تفصل بينها طبقتان من المشابك وهي بالترتيب من الخارج إلى الداخل: طبقة الخلايا البصرية والتي تتكون من عصبيات من العصي والمخاريط. الطبقة الوسطى: وتحوي أنماط خلوية عديدة وبخاصة عصبونات ثنائية القطب. الطبقة المشابك الداخلية. الطبقة العقدية وتحوي عصبونات متعددة الأقطاب تشكل أليافها العصب البصري.

الخلايا المخروطية

الخلايا المخروطية (Cone cell)أو **المخاريط** (Cons) هي خلايا مستقبلة للضوء في شبكية العين تعمل على وجه أفضل في الضوء الساطع نسبيا. إن توزع المخاريط يقل كلما اتجهنا نحو محيط الشبكية. يبلغ عدد المخاريط حوالي 4.5 مليون وعدد الخلايا العصوية 91 مليون في العين البشرية. الخلايا المخروطية في الواقع أقل حساسية للضوء من الخلايا العصوية (التي تعمل

على وجه أفضل في ظروف الإضاءة المنخفضة)، ولكن الخلايا المخروطية تساهم في الإدراك اللوني. كما تدرك أيضا التفاصيل الأدق والتغيرات السريعة في الصور، بسبب أن زمن استجابتها للتحفيز أسرع منها في العصويات.

هناك عادة ثلاثة أنواع من المخاريط، ذات بروتينات فوتوبسين مختلفة، وهي ذات منحنيات استجابة مختلفة، ولذلك تستجيب لتغيرات اللون بطرق مختلفة، ولهذا يتمتع الإنسان عادة برؤية ثلاثية اللون. يعاني بعض البشر من عدم وجود مخاريط في شبكية العين وتسمى هذه الحالة بعمى الألوان. وتتمتع قلة من الناس بوجود أربعة أنواع أو أكثر من المخاريط مما يعطيهم رؤية رباعية للون.

آلية الرؤية

الرؤية عملية معقدة، وُضِعَتْ نظريات كثيرة لتفسيرها، والمتفق عليه أن آلية الرؤية هي ظاهرة كيميائية ضوئية، في مستوى الأصبغة في العصيات والمخاريط التي تمتص الأشعة الضوئية، فتتفكك وتعود وتتركب، وهذه العملية العكسيَّة تُحْدِثُ سيالة عصبية بصرية كهربائية تنتقل بالطريق البصري لمركز الرؤية في الدماغ، وهناك في العصيات الصِّباغُ المسمَّى الأرجوان البصري، يُفْرَزُ من الظهارة الصباغية في الشبكية، وهو حساس لأضعف المنبهات الضوئية (5 ـ7 فوتون كما في الرؤية الليلية الضعيفة)، ويتفكك الأرجوان البصري أو الرودوبسين rhodopsine إلى الأوبسين opsine والريتينين retinene إضافة إلى الكاروتينوئيد carotenoide وهو طليعة الفيتامين A أو الريتينول retinol، ولذلك فإن نقص هذا الفيتامين يؤدي إلى اضطراب الرؤية الليلية.

أما في المخاريط فهناك صباغ اليودوبسين iodopsine وهو حساس للضوء الشديد (الرؤية النهارية) وبعض المنبهات اللونية كالأحمر والأخضر والأزرق، ويبدو أن هناك ثلاثة أنواع من المخاريط حساسة لهذه الألوان، ويتفكك اليودوبسين كما هو الحال في الرودوبسين. وأثبت بحث حديث منشور في 30 يونيو 2020 أن طائر الطنّان يستطيع رؤية الألوان التي لا يمكن للانسان رؤيتها ولا حتى تخيلها. فقد كشف هذا البحث أن الطيور الطنّانة يمكن أن تدرك الألوان التي لا يمكن للعين البشرية تمييزها وذلك بفضل وجود مخروط إضافي في عين هذا الطائر لا تمتلكه عين الإنسان.

تشير النتائج، التي تم توضيحها في التجارب مع الطيور الطنانة Hummingbirds البرية واسعة الذيل (Selasphorus platycercus) في ولاية كولورادو بأمريكا، إلى أن القدرة على التمييز بين الألوان غير الطيفية (بما في ذلك الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية) يمكن أن تلعب دورًا حيويًا في السلوكيات بما في ذلك التزاوج والتغذية والتهرب من الحيوانات المفترسة.

عيون الطيور

وعلى عكس عيون معظم البشر التي تمتلك ثلاثة أنواع من الخلايا المخروطية الحساسة للألوان، فإن عيون الطيور لديها أربعة أنواع من الخلايا المخروطية التي تساعدها على تمييز الاختلافات بين أنواع الألوان المختلفة. فباستخدام ثلاثة مخاريط، يمكن لعيون الإنسان أن تدرك ما يُعرف باسم اللون ثلاثي الألوان، المكون من مزيج من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق. وبفضل هذه العملية ، يمكن لأدمغتنا إدراك اللون غير الطيفي الأرجواني لأنه مزيج من الأزرق والأحمر. لكن الحيوانات ذات المخروط الإضافي الرابع يمكن أن ترى طيفًا أكبر من الألوان من خلال كونها حساسة لأنواع أكثر من أطوال الموجات الضوئية – مما يفتح الباب لأنواع أخرى من تركيبات الألوان التي لا يمكننا رؤيتها أو حتى تخيلها.

ولذلك فمن الممكن القول إن
البشر مصابون بعمى الألوان مقارنة بالطيور والعديد من الحيوانات الأخرى وذلك لأن امتلاك عيون الطيور نوع مخروطي رابع من الألوان لا يؤدي إلى توسيع نطاق الألوان المرئية للطيور إلى الأشعة فوق البنفسجية فحسب، بل قد يسمح أيضًا للطيور بإدراك الألوان المركبة مثل الأشعة فوق البنفسجية + الخضراء والأشعة فوق البنفسجية + الحمراء. وبهذا المخروط الرابع قد تكون الطيور قادرة على إدراك ما يصل إلى خمسة ألوان غير طيفية، بما في ذلك البنفسجي والأشعة فوق البنفسجية + الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية + الخضراء، والأشعة فوق البنفسجية + الصفراء، والأشعة فوق البنفسجية + الأرجواني.

وبالفعل تم اختبار هذه الفرضية لدى طائر الطنان في سلسلة من التجارب العشوائية على مدى ثلاث سنوات شملت آلاف جلسات من التغذية لطائر الطنان. وكان الهدف من وراء هذه التجارب معرفة ما إذا كانت الطيور الطنانة تُظهر تفضيلًا للتغذية في محطات المياه التي تعرض تركيبات الألوان فوق البنفسجية، والتي من شأنها أن تدعم رؤيتها، حتى إذا كان البشر لا يستطيعون. وتم إجراء هذه التجارب باستخدام أنابيب LED خاصة بتسجيل رؤية الطيور وهي مبرمجة لعرض عدد من الألوان، بما في ذلك الألوان غير الطيفية التي لا يستطيع البشر رؤيتها. تم وضع هذه الأجهزة بجانب مغذيات المياه، بعضها يحتوي على ماء السكر (الذي تحبه الطيور) بجوار لون واحد، بينما يحتوي البعض الآخر على ماء عادي بجانب لون مختلف. وبعد ذلك تم تبديل مواضع هذه المغذيات ومعرفة ما إذا كان يمكن للطيور استخدام مؤشر اللون لمعرفة نوع المغذي سكر أم ماء.

كما اتضح أن الطيور من الممكن أن تميز بسهولة بين الأنواع المختلفة من الألوان غير الطيفية للحصول على مكافأة حلوة السكر، وقد بدت الأشعة فوق البنفسجية + الضوء الأخضر والضوء الأخضر متطابقة للفريق البحثي بدون تفرقة بينهم، أما الطيور الطنانة فقد ظلت تختار بشكل صحيح الأشعة فوق

البنفسجية + الضوء الأخضر المرتبط بماء السكر. وتبين هذه النتائج المبهرة إلى وجود فرق ملحوظ - فيما يتعلق بالطيور - بين الأشعة فوق البنفسجية والأحمر والأشعة فوق البنفسجية + الحمراء، وينطبق الشيء نفسه على الأشعة فوق البنفسجية + الخضراء، والأشعة فوق البنفسجية + الصفراء، والأشعة فوق البنفسجية + الأرجواني. وبالرغم من أننا نحن البشر لا يمكننا بعيوننا البشرية الضعيفة أن نفهم حقًا كيف تبدو هذه الاختلافات في الألوان بالنسبة للحيوانات، وقد لا نتمكن من رؤيته أو فهمه، ولكن الطائر الطنان يمكنه ذلك.

وفي تجربة أخرى، قام الباحثون بتحليل ما يقرب من ألف نوع مختلف من ريش الطيور، وما يقرب من 2400 نوعٍ مختلفًا من النباتات، ووجدوا أن ألوان حوالي ثلثها يراها الطائر على أنها لون غير طيفي - مما يشير إلى مقدار تأثير ذلك على القدرة البصرية للطائر ومدى على تفاعله مع العالم. ونتيجة لهذه المساحة الواسعة من القدرة على تمييز الألوان لدى الطيور يمكن أن يطلق على هذه الظاهرة "الألوان السلوكية والبيئية" التي لا يستطيع البشر (ثلاثي الألوان) حتى تخيلها. وقد نصف الطيور بسبب هذا المخروط الرابع أنها تمتلك نظاماً بصري رباعي اللون. وقد تجعلنا هذه الظاهرة نسأل السؤال الأكثر فلسفية حول كيف تبدو الألوان غير الطيفية في عيون الطيور الطنانة. وهل تظهر الأشعة فوق البنفسجية الخضراء للطيور كمزيج من تلك الألوان فقد تبدو مثل وتر مزدوج يعزف عليه عازف الكمان أو كلون جديد رفيع أو لهجة جديدة تمامًا للطيور، كل هذا يعتبر افتراضات من الخيال. ولا يزال هناك الكثير لا نعرفه عن الآليات العصبية التي تمكن أدمغة الحيوانات من إدراك هذه الألوان.

في النهاية، ما يهم الطائر على الأرجح ليس ما إذا تم الكشف عن الإشارات الملونة بواسطة أنواع مخروطية مجاورة أو غير متجاورة. إنها الطريقة التي تعمل بها هذه الألوان لتوفير معلومات حول الطعام أو الأصحاب أو الحيوانات المفترسة.

وسبحان الله له في خلقه حكم وشؤون

- Wild hummingbirds discriminate nonspectral colors
- www.sciencealert.com/hummingbirds-can-see-colours-we-can-t-even-imagine-experiment-reveals

البريد الإلكتروني للكاتب: mohamedlabibsalem@yahoo.com