دراسة التبدلات البنيوية الدقيقة للطبقة الظهارية الصباغية والمستقبلات الضوئية على شبكية عين العظاء *lacerta laevis* إثر تسليط الحزمة الليزرية (هليوم-نيون)

بشير الزالق

قسم علم الحياة الحيوانية-كلية العلوم-جامعة دمشق-سورية

تاريخ الإيداع 2010/07/19

قبل للنشر في 2011/01/10

الملخص

تؤكد نتائجنا وجود ارتباط وظيفي فعال بين الطبقة الظهارية الصباغية (P.E.) وطبقة المستقبلات الضوئية (وهي من نمط مخروط في شبكية عين العظاء). تسبب الحزمة الليزرية (هليوم-نيون) المستمرة والمسلطة على العين تبدلات بنيوية خطرة (وفق معطيات المجهر الإلكتروني النافذ) تمثلت بتخريب واضح شمل أجزاء وعضيات الخلايا الظهارية الصباغية، وكذلك خلايا الاستقبال الضوئي من الشبكية، وكانت أولى النتائج الخطرة على حس الرؤية هو انفصال الطبقة الظهارية عن طبقة المستقبلات الضوئية (أي ما يسمى بانفصال الشبكية). ونتج عن هذا الانفصال فقدان حماية المستقبلات الضوئية من الشدات الضوئية العالية (التي كانت توفرها حبيبات الميلانين المنتشرة في الاستطالات الخلايا الظهارية والمحيطة بالقطع الخارجية للمستقبلات). أصبحت القطع الخارجية للمستقبلات إذاً عرضة لشدات ضوئية عالية من أشعة الليزر الأمر الذي ألحق بالغ الأثر من تخريب في بنية الأغشية البلازمية لأقراص القطع الخارجية وتخريب البنية الكيميائية لأصبغة الرؤية (الأصبغة المميزة للألوان في المخاريط) وينوقع نتيجة لذلك فقدان أقطاب الإحساس الضوئي وظيفتها في نقل الشارة الضوئية لإطلاق وظيفة الرؤية. ترافقت أذيات أشعة الليزر في المخاريط بتبدلات خطرة أخرى تناولت التراجع الواضح في حجم النواة وتخريب مادة الكروماتين وتلاشي عضيات التركيب الحيوي للبروتينات الخلوية وتفكك جزيئات الغليكوجين (جزيئات الطاقة)، ولكن الشيء الأشد خطورة في ذلك هو ماحدث من تخريب في بنية السويقات المشبكية للمخاريط (فقدان التشابك مع الخلايا العصبية ثنائية القطب، والخيوط المشبكية) وينوقع بذلك فقدان قطب النقل العصبي وظيفته في النقل العصبي عبر طبقات المشابك العصبية للشبكية.

الكلمات المفتاحية: البنية الدقيقة، الطبقة الظهارية الصباغية، المستقبلات الضوئية، المخاريط، الحزمة الليزرية (هليوم – نيون)، شبكية العين.

Study of The Ultra Structure Changes of Pigment Epithelium and Photoreceptors of Eye Retina of *Lacerta Laevis* after Exposure To He-Ne Laser

Bashir AL-Zalek
Animal Biology Department –faculty of sciences- Damascus university-Syria

Received 19/07/2010
Accepted 10/01/2011

ABSTRACT

Our results assured the presence of functional association between the pigment epithelium (P.E) and photoreceptors of eye retina of *lacerta laevis*. The continuous effect of He-Ne laser on eye produce dangerous structure changes (according to studies by transmission electron microscope) led to damage of parts and organelles of pigment epithelium and photoreceptors of eye retina. The displacement of the epithelium from the photoreceptors layer was the first dangerous results on vision (Retinal detachment). This detachment conduced to no protection of photoreceptors from high intense light (which usually maintained by melanin pigments spread in epithelium cells surrounding the outer segments [O.S] of photoreceptors) so that the outer segments of photoreceptor became under the influence of intense light of He-Ne laser which conduced to damage of cytoplasmic membrane of outer segment disks and damage of chemical structure of visual pigments (pigment necessary for discrimination of color in cones) so the photo sensible pole lost its function in transferring the sign of light necessary for vision. The lesion happened by the influence of He-Ne laser in the cones, associated by dangerous changes in the retardation of nucleus size and damage of chromatin material and the absence of organelles responsible for biological synthesis of cellular protein, and deconstruction of glycogen molecules (energy mols.). The most dangerous thing is the resulted damage of synaptic pedicle of cones (lost of connection between bipolar nerve cells and synaptic ribbons) so the neurotransmission pole lost its function in neurotransmission across the layer of neurosynapsis of retina. The damaged photoreceptor cells (cones) (which were almost dead) became disables to do their function in vision.

Key Words: Ultra structure, Pigment epithelium, Photoreceptors, cones, Laser (He-Ne), Eye retina.

المقدمة

رغم الاستخدامات المفيدة والسليمة لأشعة الليزر (كالتخثر الدموي في شـبكية العـين النازفة لدى مريض السكري) يكون لهذه الأشعة وخاصة تلك ذات الاستطاعات العالية أثر مؤذ على العين البشرية (1).

فقد بينت البحوث حدوث أذيات في العين في عدة مستويات (القرنية، الجسم البلـوري والشبكية) لدى الأشخاص العاملين في حقل التجارب الليزرية، حيث تحدث لديهم حروقـاً في الشبكية فضلاً عن أذيات أخرى (2).

كما أوضحت التجارب أن تسليط أشعة القلم الليزري (المؤشر) Laser pointer على العين مباشرة يمكن أن يؤدي إلى العمى وإحداث تخريب واضح في الطبقـات المـشكلة للعين عند تعرضها المستمر لهذه الأشعة (3).

تظهر البحوث المرتبطة بالرؤية عند الإنسان أن العين البشرية لها القدرة على تمييـز الألوان الرئيسة الثلاثة (الأزرق والأخضر والأحمر)، وهي ذات أطـوال موجيـة علـى الترتيب: 400-500، 450-630 و500 -700 نانومتر، تتحسس بها ثلاثة أنمـاط مـن المخاريط Cones (4 و5)، والتي يمكن مقارنتها بمخاريط رؤية الألوان لدى الفقاريـات الأخرى (حالة مجموعة العظايا من فصيلة الحرانين Agamidae) التي تتحسس الألوان ذات أطوال الموجات: 440، 493 و571 نانومتراً(6)، ولهذا الـسبب اخترنـا العظـاء السورية كحيوانات تجربة يمكن مقارنة الرؤية لديها بالرؤية لدى الثدييات.

وتشير البحوث (7)، (8)، (9) و(10) إلى أن البنية الدقيقة للطبقة الظهارية الصباغية pigment epithelium لدى الفقاريات الدنيا تتكون من صف مـن الخلايـا الظهاريـة تنفصل عن الطبقة المشيمية choroid للعين (الغنية بالشعيرات الدموية) بصفيحة قاعديـة أو غشاء بروش Bruch's membrane، يشكل هذا الغشاء حدود القطب السفلي للخلايـا الظهارية الصباغية.

يلاحظ إلى الأسفل من هذا الغشاء السابق انثناءات غشائية غير منتظمة تدخل بتلامس مع غشاء بروش.

تتميز هيولى الخلايا الظهارية هذه بغناها بالمتقدرات الحيوية، فضلاً عـن العـضيات الخلوية الأخرى المعروفة، ووجود تنضدات غشائية لها شكل عدسات محدبـة الـوجهين أطلق عليها اسم أجسام الميلوئيـد Myeloid Bodies الـتي تـرتبط بأغـشية الـشبكة الهيولية الداخلية (وهي تشكلات خاصة بخلايا الطبقة الظهارية الصباغية في العين).

يلاحظ في هيولى هذه الخلايا الظهارية الصباغية حبيبات صباغية سوداء هي أصـبغة الميلانين Melanin التي تأخذ عادة الشكل البيضوي تنتشر في جسم الخلايـا الظهاريـة

وتهاجر لتصل إلى الاستطالات الهيولية في القطب العلوي للخلايا الظهارية وقت العمل. كذلك لاحظ الباحثون وجود فجوات هاضمة حاوية على بنى غشائية متحللة ذات كثافة الكترونية عالية (أطلقوا عليها اسم الأجسام المبلعة phgosomes، تتكون الأجسام المبلعة من قمم القطع الخارجية للمستقبلات الضوئية التي تطلقها استطالات الخلايا الظهارية المجاورة للقطع الخارجية للمستقبلات الضوئية (قطب الإحساس الضوئي) درست هذه الظاهرة الطبيعة في شبكية عيون الفقاريات المختلفة حتى أن هذه الظاهرة شوهدت في شبكة عين الإنسان أيضاً (11). وتمثل هذه الظاهرة الدور الرئيس الأول للطبقة الظهارية الصباغية، أما الدور الرئيس الثاني لهذه الطبقة فهو الإسهام في تركيب أصبغة الرؤية (للمستقبلات الضوئية) عن طريق أجسام الميلوئيد حيث تتركب أصبغة الرؤية (الرودوبسين والبروفيروبسين في مستوى أجسام الميلوئيد (7)، أو أن هذه الأجسام تقوم باختزان فيتامين A الذي يعيد تركيب أصبغة الرؤية إلى طبيعتها بعد ابيضاضها تحت تأثير الشدة الضوئية (9).

ويتمثل الدور الثالث للطبقة الظهارية الصباغية في حماية المستقبلات الضوئية وخاصة المخاريط من الشدات الضوئية العالية، حيث ترسل الخلايا الظهارية استطالاتها الغنية بحبيبات الميلانين السوداء لتحيط بالقطع الخارجية للمستقبلات الضوئية (أقطاب الإحساس الضوئي) فتخف من الشدة الضوئية العالية فتعدل حدتها (12).

تبين مؤخراً أن هذه الطبقة الواقية يمكن أن تتأثر بأشعة الأقلام الليزرية بما فيها الآمن منها (الأقلام ذات الضوء الأخضر)، إذ إنّه في حال استمر التعرض لأشعة الليزر الأخضر فإن أذيات واضحة تحدث بهذه الطبقة فضلاً عن إضعاف قوة الإبصار (13).

ويشير بعض الباحثين إلى أن آلية التخريب الليزري على العين يكمن في التخريب الحراري تحت تأثير كيميائي ضوئي Photochemical effect ويكون التأثير المباشر بإحداث حروق مباشرة في محيط العين أولاً ثم العمى إذا استمر التعريض مدة زمنية، وقد وجد أن الأشعة الليزرية أشعة مرئية بالعين البشرية وهي ذات طول موجة (400-700 نانومتر)، أي إنّها تقع في مجال رؤية الألوان لدى الإنسان (14).

هدف هذا البحث إلى تعرف مدى الأذيات البنيوية الدقيقة في خلايا الطبقة الظهارية الصباغية وخلايا الإستقبال الضوئي (نمط مخروط cone) في شبكية عين العظاء ومدى انعكاس ذلك على الرؤية إثر تعرض العين المباشر وغير المباشر للحزمة الليزرية (هليوم- نيون) وذلك باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ.

مواد البحث وطرائقه

حيوانات التجربة:

استخدم في هذا البحث نوع من العظايا السورية، النوع المسمى *Lacerta laevis*

وهو حيوان زاحف يعيش في الحقول، جمعت الحيوانات من غوطة دمشق الشرقية – قرية زبدين، وقد جمع 18 حيواناً بالغاً، وضعت في أقفاص زجاجية مغطاة بشبك معدني مـن أجل التهوية، وقد زودت الأقفاص بالماء والغذاء المناسب (حشرات ويرقات حشرية). وضعت الأقفاص في حرارة المخبر التي تراوحت في شهر نيسان بين 18 إلى 20 درجة مئوية.

تهيئة الحيوانات للاختبار التجريبي:

قبل تعريض الحيوانات لأشعة الليزر كنا نستأصل الأجفان من أجل تجنـب إغمـاض العيون عند تعريض الحيوان للأشعة، وبعدها تثبت الحيوانات على مسطرة بمادة لاصـقة لمنع الحيوان من الحركة وتجنباً لتغيير زاوية ورود الأشعة، ثم نقـوم بتعـريض العـين المفتوحة للحزمة الليزرية (هليوم – نيون المستمرة)، طول الموجة $\lambda \approx 633nm$ وبقـدرة (أو استطاعة تساوي 2.5 m.watt)، وله سطوع ليزري يقدر بـ $3x10^6$ 1m/ cm^2، تعد الحزمة متوسطة الخطورة، وقد استخدمت الاستطاعة نفسها في التجارب الثلاث (معهـد الليزر–كلية العلوم-جامعة دمشق).

تعرض الحيوانات للأشعة مدداً زمنية وعلى مسافات مختلفة من المنبع الليزري بشكل مباشر (التجربة الأولى والثانية)، وبشكل غير مباشر عن طريق انعكاس حزمة ليزريـة عن سطح مرآة (التجربة الثالثة) ولثلاث مجموعات حيوانية مـع الاحتفـاظ بمجموعـة حيوانية شاهدة (دون تعريضها للأشعة)، وفق الجدول الآتي البحث رقم 15السابق).

رقم التجربة	رمز العينة	بعد العينة عن جهاز الليزر	زمن التعريض للأشعة الليزر/ثا
التجربة الأولى	L1R	20 cm.	0,25 sec
	L1L	20 cm.	0,50 sec
	L2R	20 cm.	0,75 sec
	L2L	20 cm.	1 sec
	L3R	20 cm.	1,25 sec
	L3L	20 cm.	1,50 sec
التجربة الثانية	L4R	40 cm	1 sec
	L5R	80 cm	1 sec
	L5L	100 cm	1 sec
	L6L	140 cm	1 sec
التجربة الثالثة	L7R	سطوع منعكس بمرآة	1 sec
	L7L	سطوع منعكس بمرآة	2 sec
	L8L	مباشر 40 cm	1 sec
الحيوانات الشاهدة	L8R	---------	تثبت الشبكية بطريقة العينات السابقة نفسها دون تعريضها للأشعة الليزرية
	L9R	---------	
	L9L	---------	

ملاحظات: La:*Lacerta* العظاء لاسرتا.L: Left العين اليسرى. R: Right العين اليمنى.

إعداد العينات للدراسة بالمجهر الكتروني:

بعد عملية التعرض للأشعة يقطع رأس الحيوان مباشرة وتستأصل العين وتشرح بقصها أولاً إلى نصفي كرتين، نصف أمامي يحوي على الجسم البلوري والقزحية، وهذا القسم يستبعد، وقسم خلفي يحوي على الشبكية Retina بطبقاتها المختلفة، وهي موضوع البحث، ثم تثبت العينات وفق الخطوات الآتية*:

- يغمر الجزء الخلفي من العين في المثبت Glutaraldehyde بتركيز 1% مدة نصف ساعة (10).

- تغسل العينات في محلول موقٍ هو (البفر Buffer وهومحلول ملحي متوازن يتكون من: (Na 2HPO 4 و H 2 PO 4) ثلاثة حمامات مدة كل منها 10 دقائق.

- تنقل العينات إلى المثبت الثاني المسمى برابع أوكسيد الأسميوم OsO4 (تركيز 1% في البفر) مدة ساعة واحدة. ثم تغسل العينات بالبفر ومن ثم ينزع الماء من العينات بواسطة كحولات متزايدة التركيز، وبعدها تغمر العينات في مادة صمغية محلولة بالأسيتون هي مادة الإيبون Epon وتترك العينات في هذا المحلول مدة 24 ساعة.

بعدها تضمن العينات في قوالب من الإيبون يجري تجفيفها وتصلبها في محم بدرجة حرارة 60° درجة مئوية (مدة 3-4 أيام). كما استخدم فوق المقطاع المجهري (أو الدقيق (Ultramicrotomy بهدف الدراسة بالمجهر الضوئي، وقد تركزت الدراسة على العملية الإحصائية لمعرفة عدد المستقبلات الضوئية المخربة في شبكية العين.

أما استخدام المجهر الإلكتروني وإعداد العينات للفحص المجهري فقد جرت في جامعة باريس-7، كلية العلوم مخبر معهد جاك مونو Institut de Jaque Monod-France، المجهر الإلكتروني ماركة Philips Bio-twin .

أجريت مقاطع رقيقة بفوق المقطاع المجهري بثخانة 700 إلى 800 (أنغستروم Aº)، تحمل المقاطع على شبكة نحاسية بحجم حبة العدس، بعدها يجري تلوين المقاطع في أسيتات اليورانيل .A.U مدة 2-10 دقائق، بعدها تغسل العينات بالماء المقطر (3 مرات)، ثم نقوم بإظهار التباين اللوني باستخدام سترات الرصاص، يلي ذلك غسلها بالماء المقطر ثم تجفيف العينات من الماء، بعد ذلك توضع العينات بعاب بتري صغيرة وتغلف بورق الألمنيوم لحجب النور عنها، وبذلك تصبح العينات جاهزة للفحص بالمجهر الالكتروني.

* أجريت المراحل السابقة في مركز الطب النووي بوحدة المجهر الإلكتروني، مشفى المواساة في دمشق.

النتـائـج

1-البنية الدقيقة للطبقة الظهارية الصباغية Pigment epithelium:

لدى الفحص المجهري تبين أن البنية الدقيقـة للطبقـة الظهاريـة الـصباغية (لـدى **الحيوانات الشاهدة**) تشابه -إلى حد بعيد- ما وصفه الباحثون عن هـذه البنيـة الخلويـة الخاصة (لدى العديد من الفقاريات الدنيا وحتى لدى الإنسان) إذْ يمكننا أن نميز هنا وجود غشاء بروش Bruch's المتوضع في القطب القاعدي للخلايا والغشاء القاعـدي المنثنـي المجاور لغشاء بروش، كذلك وجود حبيبـات الميلانـين الـسوداء وأجـسام الميلوئيـد Myeloid Bodies (لوحة1، شكل1) كما نميز بوضوح البنية الغشائية لأجسام الميلوئيد وأخذها شكل عدسات محدبة الوجهين (لوحة1، شكل2).

2- تبدلات البنية الدقيقة للطبقة الظهارية الصباغية إثر تعريـضها لأشـعة الليـزر (هليوم – نيون) لدى حيوانات التجارب:

أظهرت الطبقة الظهارية تبدلات مهمة بعد تعريض عيون الحيوانات للسطوع الليزري لثوانٍ محدودة. فقد حدث تفكك وتراجع في أجسام الميلوئيد كما حدث تناقص وتفكك فـي المتقدرات الحيوية وكثرت الفجوات الهاضمة وبدت فارغة من محتواها الغشائي (لوحة1، شكل3).

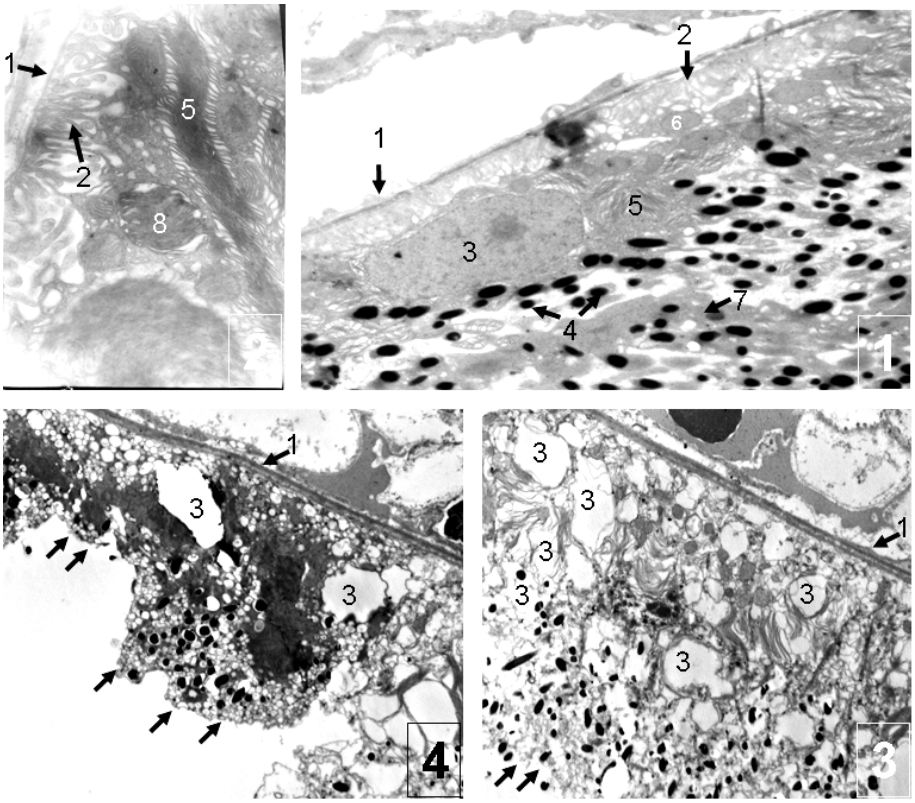
ويلاحظ اختفاء الانثناءات الغشائية المتاخمة لغشاء بروش (لوحة1، شكل3 و4). كمـا لوحظ انكماش كمية الكروماتين وتراجعها في نوى الخلايا.

أما القطب العلوي للخلايا فيظهر انكماشاً شديداً وواضحاً في الاستطالات، وقد ترافـق ذلك بتجمع حبيبات الميلانين وتركزها في القطب العلوي للخلايا الظهارية (التـي فقـدت استطالاتها السيتوبلاسمية) (لوحة1، شكل4) الأمر الذي جعل القطع الخارجية للمستقبلات "عارية" بعد أن كانت محضونة باستطالات وحبيبات الميلانين للخلايا الظهارية الصباغية، وبذلك تكون الشبكية قد انفصلت عن الطبقة الظهارية (وهذا مايعرف بالانفصال الشبكي).

3-البنية الدقيقة لأنماط المستقبلات الضوئية في شـبكية عـين العظـاء *Laserta leavis* (الحيوانات الشاهدة):

يمكن أن نميز في شبكية عين العظاء مستقبلات ضوئية photoreceptors من النمط المخروطي cone فقط (أي لايوجد عصي في هذه الشبكية) وذلك وفق نتائج ومعطيـات المجهر الإلكتروني النافذ، فقد أمكن تمييز ثلاثة أنماط من المخاريط: نمطان من المخاريط البسيطة ونمط واحد من المخاريط المضاعفة.

اللوحة (1)



الشكل (1) صورة بالمجهر الالكتروني للطبقة الظهارية الصباغية(الحيوانات الشاهدة).
1- الغشاء القاعدي (أو غشاء بروش Bruch's) 2- سهم يشير إلى الانثناءات العديدة في غشاء القطب السفلي للخلية الظهارية والذي يستند إلى الغشاء القاعدي، 3- النواة، 4- حبيبات الميلانين السوداء، 5- جسيمات الميلوئيد myelöds، 6- متقدرة حيوية، 7- الاستطالات السيتوبلاسمية للقطب العلوي للخلايا الظهارية التي تحوي على حبيبات الميلانين السوداء .X7ooo
الشكل (2) جزء مكبر من الطبقة الظهارية الصباغية (الحيوان الشاهد).
1- الغشاء القاعدي، 2- الانثناءات في غشاء القطب السفلي، 5- االبنية الغشائية في جسيمات الميلوئيد، 8- جسيم مبلعم مكون من أقراص القطعة الخارجية للمخارط X18000. cones
الشكل (3) الطبقة الظهارية الصباغية عند العظاء المعرضة لأشعة الليزر (هليوم –نيون) لاحظ التخريب الحاصل في الخلايا وخاصة في أجسام الميلوئيد (تباعد وتناقص في حزم الأغشية)، ونلاحظ أيضاً اختفاء الانثناءات في غشاء القطب السفلي مقارنة بالحيوانات الشاهدة ، كذلك نجد كثرة انتشار الفجوات vacuoles (3). تشير الأسهم إلى انكماش وقصر في طول استيطالات القطب العلوي للخلايا الظهارية (التي تحتوي على حبيبات أصبغة الميلانين) .X6000
الشكل (4) الطبقة الظهارية الصباغية عند الحيوانات المعرضة للسطوع الليزري وقد أظهرت أنكماشاً كبيراً مبتعدة عن القطع الخارجية للمخاريط في الشبكية، وهي بذلك تفقد قدرتها في حماية المخاريط من الشدات الضوئية.X5000

أ- **المخاريط البسيطة:**

1- المخروط البسيط الحامل لقطيرة كروية دسمة (لوحة2، شكل1):

القطعة الخارجية outer segment: لها شكل مخروطي، وهي تتكون من عدد كبير من الأقراص الغشائية المتوضعة فوق بعضها بعضاً، تكون هذه الأقراص مفتوحة على الوسط الخارجي (وهذه صفة تتميز بها المخاريط دون العصي) .تتشكل الأقراص من انخماصات الغشاء البلاسمي للهدبcilium (وهي تحمل أصبغة الرؤية) يشكل هذا الهدب ما يسمى القطعة الواصلة (التي تصل بين القطعة الخارجية والقطعة الداخلية للمخروط) (لوحة2، شكل1) ويظهر المقطع العرضي لهذا الهدب أنه يتكون من 9 أشفاع من الأنيبيبات المحيطية مع غياب الشفع المركزي (أي 2x9+o) (لوحة2، شكل2)، وينشأ هذا الهدب يشتق من المريكزcentriole الأول الذي يرمز له بـ C1 الذي يتعامد مع المريكز الثاني C2، ويتوضع هذان المريكزان في القسم العلوي للقطعة الداخلية Inner segment (شكل 3).

في قمة القطعة الداخلية لهذا المخروط نجد قطيرة دسمة يصل قطرها إلى 3,5 ميلي ميكرون (µm) تحاط بالمتقدرات الحيوية (شكل 1). ويلاحظ إلى الأسفل من القطيرة الدسمة العديد من المتقدرات الحيوية (لوحة2، شكل4). ويشاهد إلى الخلف من تجمع المتقدرات الحيوية (أي في المستوى المتوسط للمخروط) تجمعاً ضخماً لعناصر شبكية ملساء وينتشر بينها جزيئات من الغليكوجين glycogene وهي تظهر بلون قاتم، يدعى هذا الجزء بالشكل الإهليلجي paraboloide (يمثل المخزون الطاقي في الخلية)، ويحوي جسم الخلية على نواة كروية ضخمة تحمل كروماتيناً متغايراً.

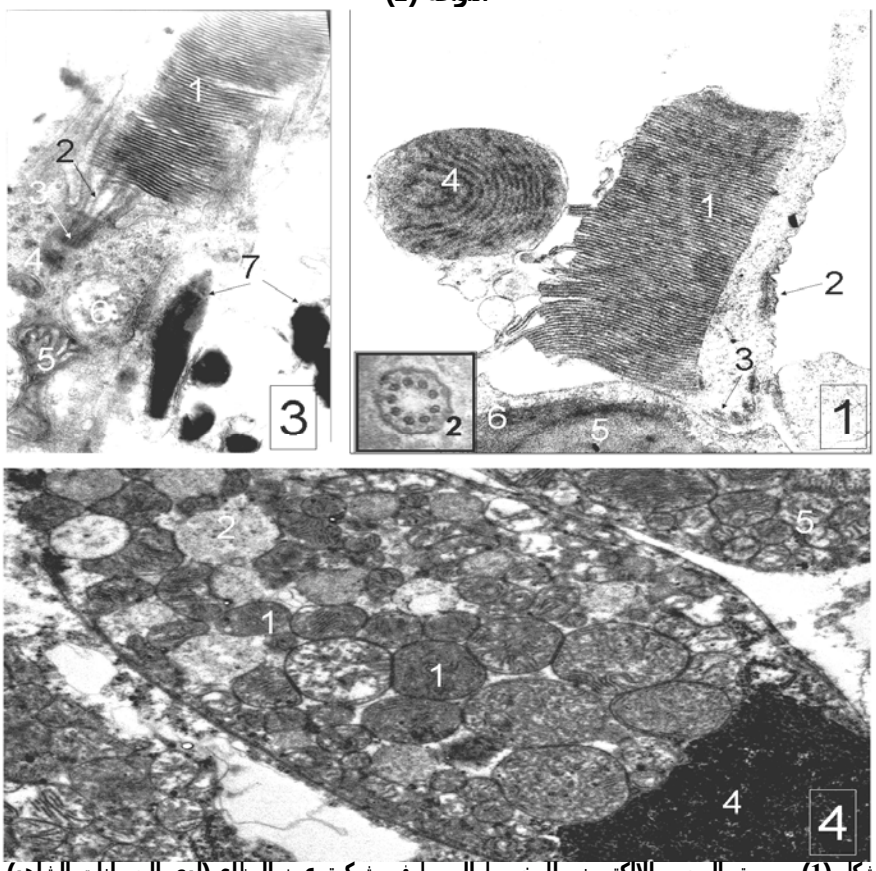
تحاط النواة بالسيتوبلاسما وفيها شبكة هيولية داخلية، وأنيبيبات دقيقة (لوحة3، شكل 3).

2- المخروط البسيط "الموزايكي":

تكون القطعة الخارجية مشابهة في مواصفاتها للمخروط السابق، إلا أن القطعة الداخلية لهذا المخروط تكون من النمط الموزايكي، إذ يلاحظ بين المتقدرات الحيوية قطيرات نيرة من مواد دسمة تنتشر على شكل سبخات بين المتقدرات الحيوية القاتمة، وهذا الوضع البنيوي هو الذي دعا إلى تسمية هذا النمط من المخاريط بالمخروط الموزايكي (لوحة2، شكل3)، كما نلاحظ في القطعة الداخلية لهذا المخروط (وكما في المخروط السابق) جسيم البارابلوئيد آنف الذكر.

ينتهي كل من المخاريط البسيطة بالسويقة المشبكية أو المشبك العصبي Synapse الذي يدخل بتشابكات عصبية مع الخلايا العصبية المجاورة (طبقة التشابك العصبية الخارجية في الشبكية the outer plexiform layer) يحوي المشبك على حويصلات vesicles مشبكية تحوي على الناقل العصبي المعروف (الأستيل كولين) كما تلاحظ الشرائط المشبكية synaptic ribbons التي تبدو قاتمة اللون (سوداء) وعلى جانبي كل شريط نلاحظ صفين من الحويصلات المشبكية تتوضع هذه الأشرطة مقابل استطالتين شجيرانيتين للعصبونات المجاورة، كذلك تلاحظ هنا أغشية ما قبل المشبك التي تقابل (أو توازي أغشية ما بعد المشبك وتنفصل هذه الأغشية عن السابقة بحيز أو فراغ هو الشق المشبكي (يشار لذلك برؤوس الأسهم في اللوحة5، شكل3).

اللوحة (2)



الشكل (1) صورة بالمجهر الالكتروني للمخروط البسيط في شبكية عين العظاء (لدى الحيوانات الشاهد).
1- قطعة خارجية Outer Segment المكونة من عدد كبير من الأقراص المنضدة فوق بعضها بعضاً وهي تحمل على الهدب cilium (2). 3- المريكز البعيد (centriole =C1) الذي يتوضع في المنطقة العلوية من القطعة الداخلية inner segment. 4- حزمة من الأقراص المنفصلة عن قمة القطعة الخارجية للمخروط (ظاهرة طبيعية في المستقبلات الضوئية في شبكية العين)، 5- فطرة دسمة كبيرة. x18500
الشكل (2) مقطع عرضي في الهدب (أو القطعة الواصلة في المستقبل الضوئي) يظهر تسعة أشفاع من الأنبيبات الدقيقة على المحيط دون وجود شفع مركزي (9x2+0) X24000.
الشكل (3) مخروط بسيط موزاييكي الشكل (لدى الحيوانات الشاهدة) يظهر القطعة الخارجية (1) 2-الهدب (القطعة الواصلة)، 3- المريكز البعيد 4- المريكز القريب، 5- جسيمات كوندرية mitochondria 6- فطرة دسمة كبيرة، 7- استطالات هيولية للخلايا الظهارية الصباغية وقد أحاطت بالقطعة الخارجية للمخروط وهي تحوي على حبيبات الميلانين السوداء (الأسهم). X18500
الشكل (4) يظهر القطع الخارجية للمخاريط البسيطة .(لدى الحيوانات الشاهدة).
1-المتقدرات الحيوية في القطعة الداخلية في المخروط الموزاييكي، 2- فطيرات دسمة صغيرة مبعثرة بين المتقدرات الحيوية تعطي للمخروط المظهر الموزاييكي، 4- البرابلوئيد (paraboloïde) الجسم الكثيف الإلكتروني المكون من تجمع لجزيئات الغليكوجين. 5- جزء من القطعة الداخلية لمخروط بسيط آخر يحوي على متقدرات حيوية فقط، من الملاحظ أن حجم هذه الجسيمات أكبر من الجسيمات المشاهدة في القطعة الداخلية للمخروط الموزاييكي. X20000

ب-المخاريط المضاعفة Double cones:

يتكون المخروط المضاعف من مخروطين بسيطين هما:

1-مخروط أساسي طويل. 2-مخروط ملحق قصير.

1- المخروط الأساسي الطويل: (لوحة3، شكل1) القطعة الخارجية outer segment: قطعة متطاولة مخروطية الشكل يصل طولها إلى 4 ميلي ميكرون، تتكون من عدد كبير من الأقراص المفتوحة على الوسط الخارجي.

ترتبط مع القطع الداخلية بالهدب cilium (أو القطعة الواصلة). يظهر في قمة القطعة الداخلية inner segment قطيرة كروية دسمة تحيط بها المتقدرات الحيوية (فهذا المخروط الطويل يماثل في بنيته المخروط البسيط الذي يحمل قطيرة كروية دسمة) إلى الأسفل من القطيرة يلاحظ تجمع كبير من المتقدرات الحيوية كبيرة الحجم مقارنة بالمتقدرات الحيوية في المخروط الموزايكي. يحوي الجزء المتوسط من هذا المخروط على تجمعات لجزيئات من الغليكوجين الحر فضلاً عن العضيات الخلوية المعروفة، وينتهي المخروط بالسويقة المشبكية التي تدخل بتشابك مع العصبونات ثنائية القطب (منطقة تشابك العصبي الخارجي).

2- المخروط الملحق القصير: يصل طول القطعة الخارجية إلى 5 ميلي ميكرون، أي إن القطعة الخارجية للمخروط القصير أطول من القطعة الخارجية للمخروط الطويل.

4 -تأثير السطوع الليزري (هليوم-نيون) في بنية المستقبلات الضوئية في شبكية عين العطاء وفق معطيات المجهر الإلكتروني:

أظهرت النتائج الأولية عند تعرض عيون حيوانات التجربة لحزمة الأشعة الليزرية (سواء التعريض المباشر أو غير المباشر (المنعكس على سطح مرآة) تخريباً واضحاً للمستقبلات الضوئية (من نمط مخروط) إذْ أدى إلى إختفاء كلي لعدد محدد من خلايا الاستقبال الضوئي وبنسب تراوحت بين 7-38% كما في الشروط التجريبية المختلفة في التجارب الثلاث.

تبدو الخلايا المتبقية (خلايا الاستقبال الضوئي و تقدر بنحو 60%-80%) وتحت عدسة المجهر الضوئي سليمة، ولكن معطيات المجهر الإلكتروني تظهر لنا عكس ما كان متوقعاً، فخلايا الاستقبال الضوئي أظهرت (وفي مختلف التجارب) درجات مختلفة من الأذيات نوضحها بصور المجهر الإلكتروني المختلفة للمخاريط.

القطع الخارجية outer segment: تتعرض القطعة الخارجية لتخريب واضح إثر تعريض العين للسطوع الليزي يظهر أولاً بزيادة الكثافة الإلكترونية في أغشية الأقراص، حيث تبدو الأقراص سوداء قاتمة اللون كما يظهر عدم انتظام في تنضدها، ويرافق ذلك تفكك وتشويه في الطبيعة الكيميائية لصبغ الرؤية الخاص بالمخروط، كذلك يلاحظ على الصورة نفسها أن المتقدرات الحيوية (المحيطة بالقطيرة الكروية الدسم) أخذت بالتفكك والتلاشي، وقد ترافق ذلك بتناقص في حجم القطيرة الدسمة في هذا المخروط البسيط (لوحة4، شكل1).

وقد يكون الأذى أشد على القطعة الخارجية حيث يظهر فيها تلاش في أغشية الأقراص

وتفكك الأغشية وتحول الأغشية إلى حويصلات عديدة، ويترافق ذلك بتناقص كبير في عدد الأقراص في القطعة الخارجية حتى يصل إلى حد الاختفاء الكامل، ولم يبق في المخـروط سوى الهدب الذي كان يحمل القطعة الخارجية (يمين الصورة من الشكل 2، اللوحة 4).

وتكون الحالة القصوى من تأثير السطوع الليزي في القطع الخارجية للمخـاريط هـو ارتشاف كلي للقطع الخارجية (لوحة4، شكل3) مع اختفاء القطيرة الدسمة كاملة وما يحيط بها من جسيمات كوندرية في المخروط البسيط الحامل للقطيرة الدسمة (يسار الصورة من الشكل3، اللوحة4).

يلاحظ في **القطع الداخلية** inner segment للمخاريط أنه لا يطرأ عليهـا تغيـرات بنيوية ذات مغزى على المتقدرات الحيوية في كل أنماط المخـاريط (لوحـة4، شـكل3) وكذلك (لوحة5، شكل1)، باستثناء حالة نادرة تشاهد في اللوحة5، الشكل4، ولكن بـشكل عام لم تتأثر المتقدرات الحيوية بالسطوع الليزي.

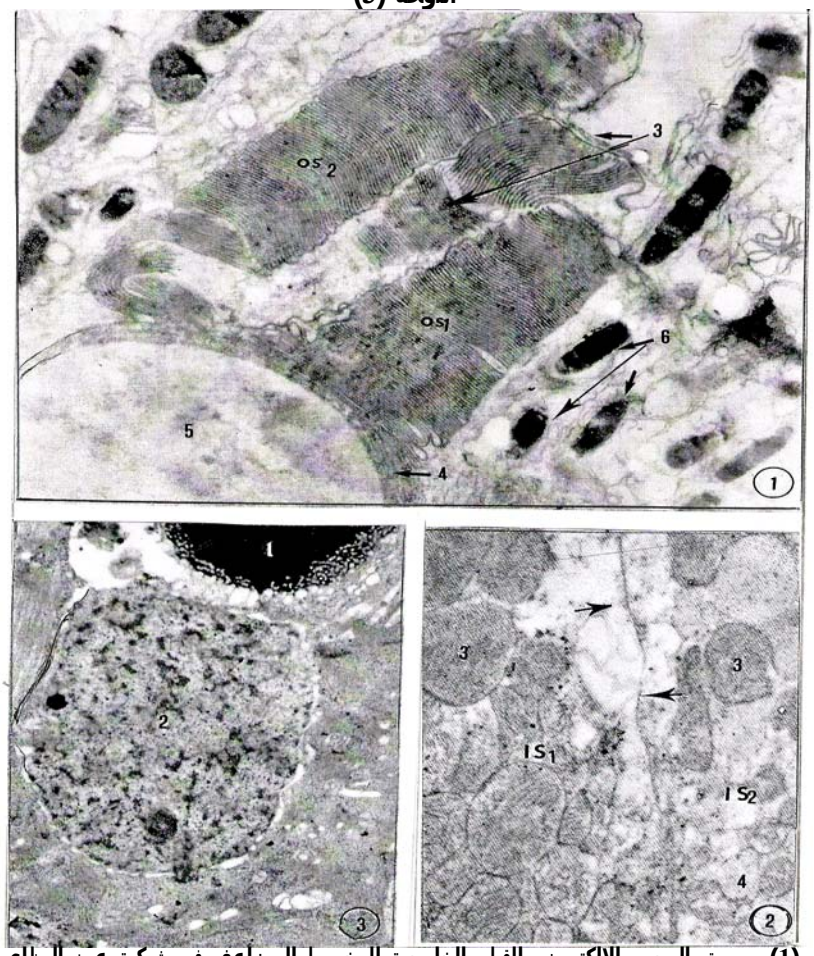
يلاحظ بين خلايا الاستقبال الضوئي -آنفة الذكر- فراغات تشير إلى مكـان لخلايـا استقبال ضوئي قد تلاشت نهائيا ولم يبق منها سوى بقايا وأشلاء غشائية (لوحة4، شكل4) وهذا يؤكد نتائج المجهر الضوئي التي أشارت إلى اختفاء نسب محددة من خلايا الاستقبال الضوئي من شبكية عين العظاء المعرضة للسطوع الليزري.

- في مستوى الجزء المتوسط myoid من خلية الاستقبال الضوئي يلاحـظ اختفـاء لعضيات مهمة في الخلية هي الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية، جهاز كولجي والجـسيمات الريبية (وهي العضيات التي يجرى في مستواها تركيب البروتينات والمركبات الحيويـة الأخرى الخاصة ببناء أغشية وعضيات الخلية، يلاحظ في الصورة التابعة للـشكل (1)، اللوحة (5) مكان نير عند الرقم (3) وهو المكان المسبق لمثل هذه العضيات.

- في مستوى **جسم الخلية Cell Body (حيث توجد نواة خلية المستقبل الـضوئي)** يلاحظ أن تأثير السطوع الليزر يكون شديداً في نوى الخلايا بحيث نلاحظ تراجعاً واضحاً في حجم النوى يترافق بنقص في الكروماتين، يمكن أن يصل حجم النواة فـي مخـاريط حيوانات التجربة إلى نصف حجم النواة (تقريباً) لدى الحيوانات الشاهدة عندما نأخذ قيمـة حساب لوسطي نسبة قطر (أو عرض خلية المخروط/ قطر النواة (اللوحة5، الشكل1).

- في مستوى **السويقة المشبكية للمخاريط** (بعد تعريض العين للـسطوع الليـزري) يلاحظ وفق معطيات المجهر الإلكتروني أن السويقات المشبكية (وهي الجـزء الأخيـر أ والقطب السفلي العصبي لخلية المستقبل الضوئي) قد انفصلت عن جسم الخلية (اللوحة5، شكل4) وقد فقدت الارتباط والتشابك مع العصبونات ثنائية القطب في الشبكية هـذا مـن جهة ومن جهة أخرى فقد اختفت صفات وملامح المشبك العصبي-العصبي (الذي يميـز بنيته لدى الحيوانات الشاهدة في الشكلين2 و3 في اللوحة5) هنا لدى حيوانـات التجربـة يلاحظ فقدان الشرائط المـشبكية synaptic Ribbons التـي تتوضـع عموديـة علـى الاستطالات الشجيرانية ويفقد هنا كل أشكال التشابكات بين أغشية ما قبل المشبك (التابعة لخلية المستقبل الضوئي) وأغشية مابعد المشبك (التابعة للعصبون ثنائي القطب في منطقة التشابك الخارجية للشبكية) (انظر الشكل3 من اللوحة نفسها)، إن كل ماتبقى من الـسويقة المشبكية هو الحويصلات Vesicles فقط (اللوحة5، الشكل4).

اللوحة (3)



الشكل (1) صورة بالمجهر الالكتروني للقطع الخارجية للمخروط المضاعف في شبكية عين العطاء لـدى الحيوانات الشاهدة. يتكون هذا المخروط المضاعف من مخروطين أساسي يحمل قطعة خارجـة قـصيرة نسبياً (OS1) مقارنة بالقطعة الخارجية للمخروط الملحق (OS2) يلاحظ على القطعـة الخارجيـة فـي المخروط الأساسي انفصال حزمتين من الأقراص تشير إليها الأسهم ورقم 3، ويكون المخروط الأساسـي حاملاً لقطيرة كروية دسمة (5) يحيط بها متقدرات حيوية (رقم 4 مع سهم).
ويلاحظ على الصورة إحاطة القطع الخارجية بأستطالات الطبقة الظهارية الصباغية، وهي تحمل حبيبـات الميلانين، كما يشير الرقم 6 والأسهم . x14000

شكل-2: القطع الداخلية للمخروط المضاعف (IS1) للمخروط الأساسي و(IS2) للمخروط الملحق الموزاييكي. يلاحظ في القطع الداخلية المتقدرات الحيوية (3)، وفي المخروط الموزاييكي نلاحظ تبعثر قطيرات نيرة (4) بين المتقدرات الحيوية. تشير رؤوس الأسهم إلى أماكن ارتباط المخروطين بالأغشية. X6086

شكل (3) صورة بالمجهر الإلكتروني في مستوى جسم خلية المخروط تظهر جزءاً من الشكل الاهليلجـي (تجمع جزيئات الغليكوجين)

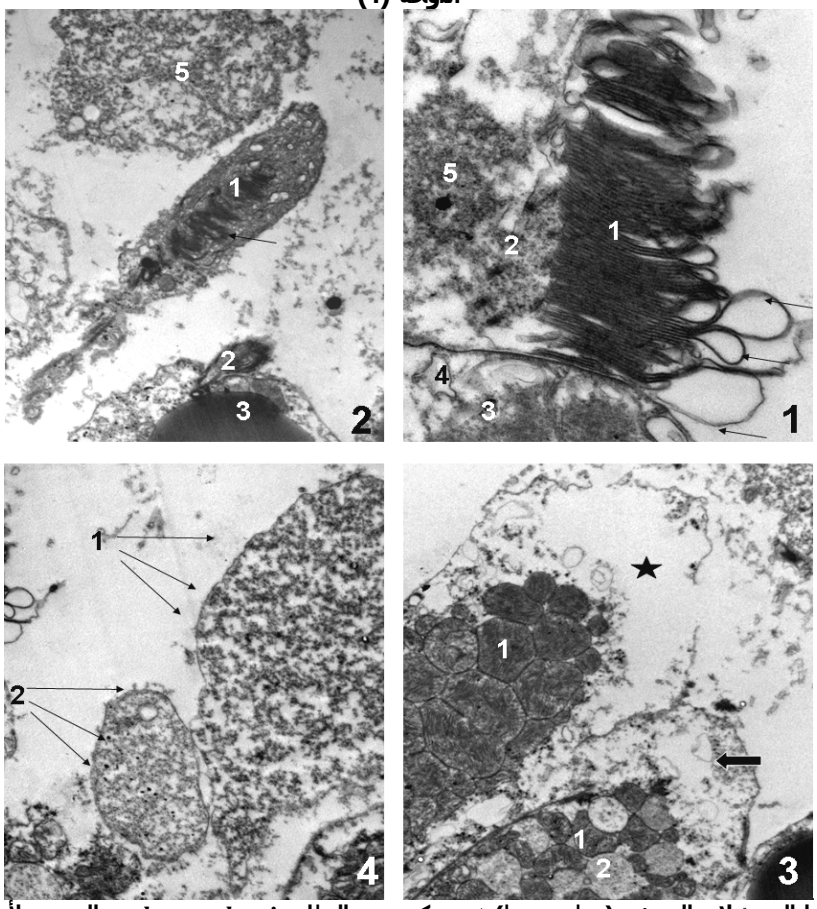
1 - تظهر بلون قاتم كثيف الكترونياً، كما تظهر النواة (2) ذات الكروماتين المتغاير (البقع الـسوداء فـي العصارة النووية) وحول النواة تظهر كمية من الهيولى مع بعض المكتنفات الخلوية. X4600.

ملاحظة: نشاهد في أعلى القطعة الخارجية سقوط حزمتين من الأقراص، وهذا أمـر طبيعي تقوم به خلايا الاستقبال الضوئي بعد أن يجري تجديد أغشية القطعـة الخارجيـة (تشكيل أقراص جديدة) على حساب الهدب الذي تتصل به قاعدة القطعة الخارجية، تعرف الظاهرة باسم "Shedding" بمعنى الطرح (أو فك القديم).

كما يلاحظ على الصورة الاستطالات الهيولية الممتدة من القطـب العلـوي للخلايـا الظهارية الصباغية، وهي تحمل حبيبات من أصبغة الميلانين محيطة بـالقطع الخارجيـة للمخاريط من كل جوانبها.

لا نشاهد قطيرة كروية دسمة في حين تظهر القطعة الداخلية انتشاراً وتوزعاً لقطيرات (نيرة) دسمة بين المتقدرات الحيوية (قاتمة اللون) (لوحة3، شكل2) تحوي الهيـولى فـي القطعة المتوسطة للمخروط على تجمع كبير لجزيئات الغليكوجين التـي تكـون الـشكل الاهليلجي. توجد نواة بيضوية كبيرة متغايرة الكروماتين تظهر في مستوى الخط المحـدد الخارجي من الشبكية (لوحة3، شكل3).

اللوحة (4)



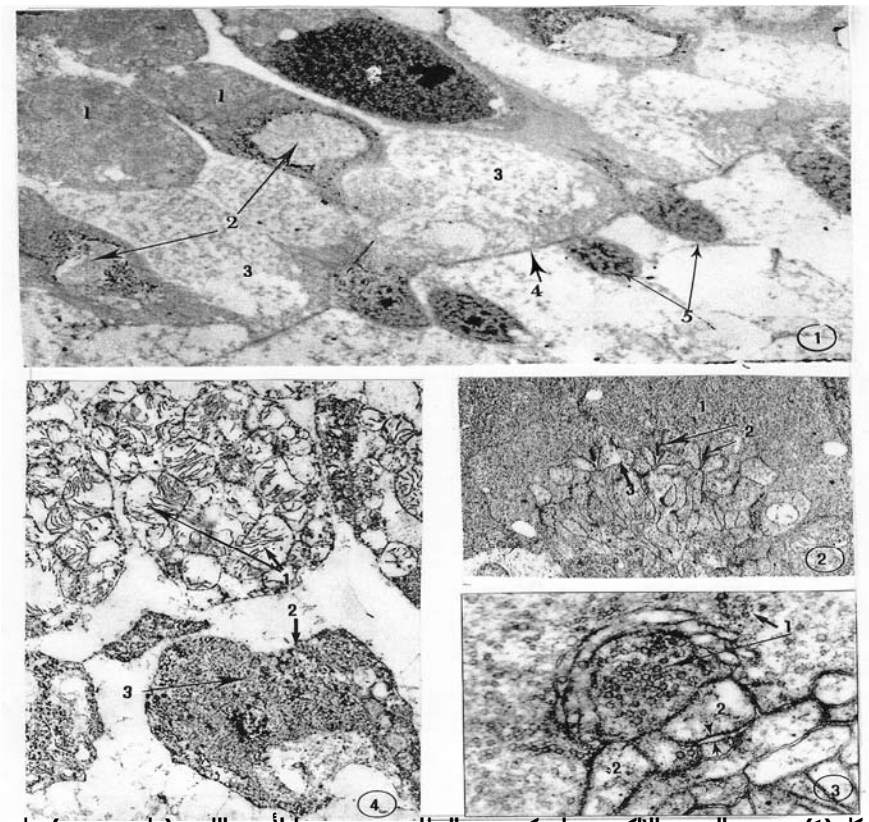
خلايا المستقبلات الضوئية (نمط مخروط) في شبكية عين العظاء *lacerta laevis* بعد التعرض لأشعة الليزر(هليوم- نيون).

الشكل (1) صور بالمجهر الإلكتروني لمخروط بسيط يحمل قطيرة كروية دسمة، يلاحظ هنا أن القطعة الخارجية (1) وقد أظهرت كثافة إلكترونية واضحة كما نلاحظ عدم انتظام (أو فوضى) في أغشية أقراص القطعة الخارجية. تستند القطعة الخارجية إلى الهدب (2) (الذي يصل القطعة الخارجية في الداخلية التي تظهر في قمتها قطيرة كروية دسمة (3) وقد اختفت في محيطها المتقدرات الحبوية (4). بقايا غشائية لخلية مجاورة (5). X16000

الشكل (2) قطعة خارجية (1) تظهر تلاشي عدد كبير من الأقراص المشكلة لها بحيث لم يبق سوى بعضها (يشير إليها السهم) كما تظهر تفككاً في أغشية الأقراص التي تكون بشكل حويصلات. إلى يمين الصورة نجد أن القطعة الخارجية قد اختفت ولم يبق سوى الهدب (2) مع القطيرة الدسمة (3). بقايا غشائية لخلية مجاورة (4).X12000.

الشكل (3) صورة تبين الاختفاء الكامل للقطع الخارجية لنمطين من المخاريط البسيطة، تشير (النجمة) إلى المكان المسبق للقطعة الخارجية مع القطيرة الدسمة. في المخروط الآخر (إلى اليمين) من النمط الموزاييكي فقدت القطعة الخارجية بشكل كامل (السهم)، أما القطع الداخلية لكلا المخروطين فقد بقيت محتفظة بالمتقدرات الحبوية (1). X6086

الشكل (4) صورة تظهر تخريباً كاملاً لخلية الاستقبال الضوئي (المخروط) (الأسهم والرقم 1)، كما يلاحظ تخريب واضح في بنية السويقة المشبكية مع بقاء في الحويصلات المشبكية (الأسهم والرقم 2). X8000.



الشكل (1) صورة بالمجهر الإلكتروني لشبكية عين العظاء بعد تعريضها لأشعة الليزر (هليوم –نيون) تظهر القطع الداخلية inner segment (1) وفيها يظهر البارابلويئيد (الشكل الإهليلجي) Paraboloide الذي يظهر باللون الفاتح (رقم 2باللون الأبيض)، وهو مكان لتجمع حزينات الغليكوجين في المخروط cone، وفي المستوى نفسه (رقم 2 مع الأسهم) نلاحظ تلاشي حزينات الغليكوجين واختفاءها في المخاريط المجاورة إثر التخريب الذي لحق بهذه المستقبلات الضوئية، فضلاً عن ذلك نجد اختفاء عضيات مهمة في القطعة المتوسطة (3) من هذه الخلايا أي فقدان الشبكة الستوبلاسمية الداخلية الحبيبية وجهاز كولجي. يظهر في مستوى الغشاء المحدد الخارجي (رقم 4 مع الأسهم) من الشبكية نوى المخاريط (5) ((وقد تراجع حجمها بشكل كبير مقارنة بحجم النوى في المخاريط الشاهدة)) إثر الأذى الذي لحق بها من السطوع الليزري.X6000

الشكل (2) صور بالمجهر الالكتروني للسويقة المشبكية للمخاريط لدى الحيوانات الشاهدة، وهي تظهر الحويصلات المشبكية vesicles (1) كما تظهر الخيوط المشبكية Synaptic ribbon (2 مع الأسهم المشيرة إليها) يحاط كل خيط مشبكي بحويصلات مشبكية من الجانبين، وإلى جوار هذه الخيوط نلاحظ فروعاً من الاستطالات الشجيرانية المشبكية (رقم 3 مع السهم). X14000

الشكل (3) شكل مكبر للمشبك العصبي يظهر الحويصلات المشبكية (رقم1 مع الأسهم) كما تظهر التداخلات للاستطالات المشبكية (2) وتشير رؤوس الأسهم المتقابلة إلى غشاء ما قبل المشبك (في الأعلى) وإلى غشاء ما بعد المشبك (في الأسفل) ويمثل الفراغ الواقع بين الغشاءين "الشق المشبكي".X24000.

الشكل (4) صورة بالمجهر الإلكتروني لشبكية عين العظاء المعرضة للسطوع الليزري تظهر قطعاً خارجية وقد بدت فيها الجسيمات الكوندري مخربة الأعراف (1 مع الأسهم التي تشير إلى الجسيمات الكوندرية).

2- يظهر السويقة المشبكية المنفصلة عن جسم المخروط وهي تحوي على حويصلات مشبكية (3) ولكنها فقدت الخيوط المشبكية (S.R)، كما فقدت التشابك مع استطالات الخلايا العصبية المجاورة وأصبحت غير قادرة على نقل السيالة العصبية من المستقبلات (المخاريط) إلى صفوف الخلايا العصبية الأخرى في شبكية العين. X18000.

المناقشة

أظهرت الدراسات السابقة دور الطبقة الظهارية الصباغية فـي حمايـة المـستقبلات الضوئية photoreceptors (في شبكية العين) من الإضاءة الشديدة الساقطة على العين، إذْ تقوم الاستطالات السيتوبلاسمية (للخلايا الظهارية) بإحاطة القطع الخارجية للمستقبلات أو تخترق المسافات بين هذه القطع الخارجية وبفضل حبيبات الميلانين الموجـودة فيهـا يجري امتصاص الشدة الضوئية الزائدة (أو تعديل الكثافة الـضوئية) (16) و(12) (17) (18). وقد توافق وصف بنية الطبقة الظهارية الصباغية الدقيقة في العينات الشاهدة مع ما ذكر في المراجع آنفة الذكر.

إن تأثير السطوع الليزري للحزمة الليزرية (هليوم-نيـون) فـي الطبقـة الظهاريـة الصباغية قد أفقد هذه الطبقة العلاقة الوظيفية في تأمين دور الحماية للمستقبلات الضوئية من الشدات الضوئية العالية حيث انكمشت استطالات الخلايا الظهارية وأصبحت القطـع الخارجية (قطب الاستقبال الضوئي) "عارية" مكشوفة مما أدى إلى أن تكون المـستقبلات عرضة لشدة ضوئية ليزرية مباشرة عالية، وهذا من ثم يزيـد الأذيـات التـي سـتلحق بالمستقبلات الضوئية (وهي المخاريط فقط في شبكية عين العظاء). ويفترض أن تـؤدي هذه الأذيات إلى التخريب الوظيفي لهذه الخلايا.

تشير البحوث أن الطبقة الظهارية تشكل حاجزاً دموياً خارجياً متاخماً للمشيمية وتؤدي دوراً مركزياً في وظيفة الشبكية وخاصة عمل المستقبلات ونقل الغذاء إليها (12) و(17) و(19). إن مثل هذا الدور يمكن أن يفقد فالغشاء المنطوي الذي يشكل سطحاً امتـصاصياً واسعاً لنقل المواد الغذائية من الدم يتراجع سطحه ويتناقص حيث يصبح مستقيماً منبـسطاً بعد الأثر المؤذي للسطوع الليزري.

تشير البحوث العديدة إلى أن خلايا الطبقة الظهارية الصباغية تقوم بعمليـات بلعمـة phagocytosis لقمم القطع الخارجية للمستقبلات الضوئية بهدف الحفاظ علـى الـشبكية وهي عملية تنظيمية تلي الظاهرة الطبيعية تسمى بالتفكك "sheddig" لحزم الأقراص من الجزء العلوي للقطعة الخارجية ثم تقوم الخلية الظهارية ببلعمتها وتفـك ضـمن فجـوات هاضمة مثلما شوهد في شبكية الفأر (20) وكذلك في البحـث (18) (21) و(17) (22)، فقدت هذه الظاهرة في شبكية عين العظاء المعرضة لاشعة الليزر فالطبقة الظهارية أبدت استطالاتها انكماشاً فلم تعد قادرة على نقل حزم الأقراص المنفـصلة مـن قمـم القطـع الخارجية إلى فجواتها الهاضمة التي ظهرت عديدة وفارغه. يشير البحث (21) أن عـدد الأجسام المبلعمة phagosomes يتغير حسب مستويات الشدة الـضوئية بحيـث تكـون الكمية الأعظم في المدة نصف المظلمة أو مدة بداية الإضاءة بالضبط.

وقد وضع بعض الباحثين (23) و(24) فرضية تقول: إن أجسام الميلوئيد Myeloids

الموجودة في سيتوبلاسما الخلايا الظهارية يمكن أن تجدد أصبغة الرؤية (بعد ابيضاضها) في القطع الخارجية إثر التفاعل الضوئي الكيميائي . كما يمكن لهذه الأجسام أن تختـزن فيتامين –A (9)، كما يقترح بعض الباحثين أن دور أجسام الميلوئيـد يتمثـل باسـتقلاب الليبييدات واختزانها وانتزاع سمية بعض المواد مثل Retinoids.كما لوحظ وجود علاقة بين عدد الأجسام المبلعمة وتشكل أجسام الميلوئيد، حيث وجد أن تناقـصها يترافـق مـع زيادة الأجسام المبلعمة (25). ولما كانت أجسام المليوئيد تتكون من حزم مـن الأغـشية التي ترتبط بالشبكة السيتوبلاسمية الداخلية فإن سقوط أشعة الليزر عليها ألحق الأذى فـي بنية هذه الأجسام وأفقدها دورها في النشاط الاستقلابي والوظائف الأخرى التي أشار إليها الباحثون سابقاً.

تشير البحوث إلى أن القطع الخارجية للمستقبلات الضوئية (نمـط مخـروط cone) تشكل في الواقع قطب الاستقبال الضوئي، لما تحمل أغشية أقراصها من صـبغ الرؤيـة pigment visual الذي يقوم بامتصاص فوتونات الضوء الساقط على شبكية العين (حيث تبدأ انطلاق شارة الرؤية وفق تفاعل ضوئي-كيميائي).

يسمى الصبغ في المخاريط بالأوبسين opsin (وهو عبارة عن مادة بروتينية).

وقد أمكن تمييز ثلاثة أنماط من هذا الصبغ في مخاريط الفقاريات التي تدرك الألـوان الرئيسية من الضوء وهي: (الأزرق والأخضر والأحمر) وفق أطـوال موجيـة محـددة (26).

تظهر الدراسة على شبكية عين السمك الذهبي Goldfish أن أغشية القطعة الخارجية للمخروط تكون حساسة لطول موجة ضوئية متوسطة في المخاريط المضاعفة Double Cone حيث تبدى استقطاباً حسياً خاصة في مـستوى المخـروط المـوزاييكي، ولهـذا المخروط القدرة بإدراك الضوء ثنائي الألوان dichroism وفق آليـة فيزيائيـة حيويـة تجري في مستوى قطب الإحساس الضوئي (القطع الخارجية للمخروط المضاعف) (27). حددت دراسة أخرى (أجريت على نوع من الأسماك العظمية) أن المخروط المـضاعف يكون حساساً لأطوال موجية تتراوح بين 545 و575 نانومتراً، في حين تكون حـساسية المخروط البسيط 475 نانومتراً (28).

يعمل الضوء على تبييض صباغ الرؤية حين التفاعل معه ولكن الشدة الضوئية العالية يكون لها أثر تخريبي وهوالتخريب الكيميائي-الضوئي photochemical damage كما أشارت إليه البحوث، حيث يتناول هذا النمط تخريب أغشية القطعة الخارجيـة بعمليـات الأكسدة الضوئية Photooxidation تؤدي إلى انحلال الأغشية مع اسـتحالة فيزيائيـة (29) ويطال التخريب أصبغة الرؤية المحمولة على أغشية القطعة الخارجيـة للمـستقبل الضوئي وأذيات تلحق بالمستقبلات الضوئية فضلاً عن الطبقة الظهارية الصباغية، ويكون الأثر الأكبر للتخريب إثر سقوط موجات ضوئية قصيرة (للـضوء الأزرق علـى وجـه

الخصوص) حيث يسبب التهاباً في الشبكية وصولاً إلى إحـداث مـوت خلـوي مبـرمج apoptosis في خلايا الشبكية (30).

وجد أن الشدة الضوئية العالية التي تتعرض لها العين وبشكل سريع (فلاش) خلال مدة زمنية قصيرة (ميلي ثانية حتى 2 ثانية) يمكنها أن تخفض كمية صبغ الرؤية بنسبة تصل إلى 24% (31).

إن تعريض شبكية عين العظاء *lacerta leavis* لأشعة الليزر (هليوم-نيـون) كـان لمدد زمنية قصيرة (ثوان) وبشدة ضوئية عالية للحزمة الليزرية (وحيدة الطور) متمركزة قد أدت إلى تخريب كبير في أغشية القطع الخارجية للمخاريط تمثل بتغيرات فيزيائيـة-كيميائية لبعض القطع التي أظهرت كثافة إلكترونية عالية مع فوضى في تنضد أقـراص القطعة الخارجية وحدث تفكك واضح للأغشية مع ظهور حويصلات vesicles غشائية، حتى وصل الأذى إلى اختفاء تام لأقطاب الاستقبال الضوئي للمخاريط (فقـدان الأغـشية ومعها أصبغة الرؤية) وبذلك فقد جزء مهم جداً من خلية الاستقبال الضوئي (المخـروط). فسر بعض الباحثين مثل هذا التخريب بأشعة الليزر بآلية التخريب الكيميـائي-الـضوئي photochemical المباشر على الشبكية وبشكل حرق حراري لأطراف الشبكية بطريـق غير مباشر (14).

كما لوحظ التخريب في بنية المستقبلات الضوئية الموجودة في شـبكية عـين أفعـى الغرطر الأمريكية إثر تعريضها لأشعة الليزر (32).

يرى بعض الباحثين أن القطيرة الدسمة oil droplet المشاهدة في المنطقة العلوية من القطعة الداخلية (في المخاريط البسيطة والمضاعفة) أنها تشتق من جـسيمات كوندريـة متضخمة لدى بعض الفقاريات (33)، وأن دور هذه القطيرة الدسمة هـو الإسـهام فـي الوظيفة الضوئية بشكل غير مباشر، فدور هذه القطيرة يكمـن بعمليـة "فلتـرة" الأشـعة الضوئية في المستقبلات الضوئية لشبكية بعض الطيور (34). فهـي تقـوم بامتـصاص الضوء المبعثر الذي يكون بطول موجة تقدر بـ 520 نانومتراً، وهذا الأمر يزيد في حدة الرؤية لدى العظاء التنينية (35). وكذلك الدراسات التي تناولت دور القطيرة الدسمة لدى أنواع مختلفة من الفقاريات (طيور، سلاحف، عظايا) والتي تـرى أن عمليـة الترشـيح الضوئي لهذه القطيرة يحرض أصبغة الرؤية على العمل بشكل جيد في القطعة الخارجيـة للمستقبل الضوئي، وأن وجود هذه القطيرة الدسمة الصفراء (ذات الطبيعـة الكاروتينيـة carotenoid) يكون مفيداً لتمييز الألوان في المخاريط (36).

أظهرت بعض النتائج التجريبية عند تسليط الحزمة الليزرية (هليوم- نيـون) حـدوث تخريب في بنية المتقدرات الحيوية المحيط بجسم القطيرة الدسمة مع تراجـع فـي حجـم القطيرة الأمر الذي يدعم ما جاء في البحث السابق (يعود أصل القطيرة الدسمة المتقدرات الحيوية)، وعندما يزداد الأثر التهديمي لأشعة الليزر فإن هذه القطيرت تختفي كلياً لـدى

العديد من المخاريط، ومع فقدان هذه التشكلات تفقد الوظيفة الترشيحية الضوئية وتمييز الألوان من مخاريط عين العظاء.

وفيما يتعلق بالمتقدرات الحيوية العديدة والغزيرة المتجمعة في القطعة الداخلية للمخاريط فهي تشكل مصانع الطاقة في خلية الاستقبال الضوئي، ووفق بعض الباحثين فإن للجسيمات الكوندرية (المزودة بطاقة الـ ATP الأدينوزين ثلاثي الفوسفات) تلعب دوراً استراتيجياً في توزيع الطاقة باتجاهين متعاكسين في خلية الاستقبال الضوئي: إلى الأعلى (إلى قطب الإحساس الضوئي) خلال مدة الشدة الضوئية، وإلى الأسفل (إلى قطب النقل العصبي – السويقة المشبكية) خلال مدة الظلمة (37).

أوضحت دراستنا حول أثر الأشعة الليزرية في خلايا الاستقبال الضوئي أن المتقدرات الحيوية هي من أكثر عضيات الخلية تحملاً لأذى هذه الأشعة (أي إنّها الأكثر صموداً) حيث احتفظت معظم خلايا الاستقبال الضوئي بالمتقدرات الحيوية بشكلها دون تبدل ملحوظ، ورغم ذلك فإن بعض خلايا الاستقبال (عدد قليل جداً) أظهرت تخريباً في بنية جسيماتها الكوندرية وخاصة في أعراف الجسيم الكوندري، ولعل حدوث هذا الأمر الاستثنائي يعود إلى التمركز البؤري النقطي لحزمة الأشعة الليزرية.

لاحظنا في المنطقة المتوسطة من القطعة الداخلية للمخاريط تجمعاً لجزيئات الغليكوجين (المصدر الآخر للطاقة في خلية الاستقبال الضوئي النشيطة) شكل هذا التجمع ما أطلق علية اسم Paraboloid. وجد الباحثون أن الظلمة تساعد على اختزان الغليكوجين وإن الإضاءة تنقص في حجم هذا التجمع أي أنه في هذا الطور الأخير يستهلك الغليكوجين المنتج للطاقة (38).

إن تخريب الغليكوجين في شبكة عين العظاء كان كبيراً جداً بل كارثياً في بعض خلايا الاستقبال الضوئي (المخاريط) بعد تسليط أشعة الليزر (هليوم-نيون) أدى إلى اختفاء كامل لهذه الجزيئات الحيوية المهمة.

إن تأثير أشعة الليزر (هليوم-نيون) في نوى المستقبلات الضوئية (المخاريط) كان بتراجع في حجم النواة يمكن أن يرافقه تخريب (أو أذيات) في الكروماتين النووي.*وربما يمكن تفسيره كما أوضحه الباحثون بتكسر مادة الـ DNA إثر تسليط أشعة الليزر –الماسح والذي نتج عنه زيادة النشاط للأنزيم المفكك لل DNA وهو DNase وإن مثل هذا التخريب للمادة الوراثية هو مؤشر على موت خلوي مبرمج Apoptosis يكمن في الخلية (39).

وقد اعتمد الباحثون في تعرف آلية التخريب لل DNA بإتباع الطرائق الكيميائية النسيجية المناعية Immunohistochemistry إثر تسليط الأشعة فوق البنفسجية على جلد الإنسان (40) ويرى آخرون أن تخريب الـ DNA إثر سقوط الأشعة في البنفسجية

(بطول موجة محددة) ينال تعاقبات النيكليوتيدات في الـ DNA بحيـث يـصبح الـ DNA عاجزاً عن تركيبDNA جديداً من أجل الإعداد لحدوث انقسام خلوي (41).

* **ملاحظة**: لايمكن في حدود هذا البحث سوى التحدث عن أذيات خلوية (أما المـوت الخلوي المبرمج فيحتاج إلى دراسة أعمق وأوسع ولبحث آخر).

تشكل السويقة المشبكية في المخاريط قطب النقـل العـصبي neurotransmission للشارة الضوئية الآتية من قطب الإحساس الضوئي (الحامل لأصبغة الرؤية) ينقـل هـذا الإحساس من منطقة ما قبل المشبك presynaptic (الخاصة بالنهاية المشبكية للمخروط) إلى الاستطالات الشجيرانية للخلايا العصبية ثنائية القطـب (منطقـة مـا بعـد المـشبك postsynaptic) عن طريق تحرر الناقل العصبي (الأستيل كـولين) مـن الحويـصلات المشبكية synaptic vesicles حيث يستقبل هذا الناقل من قبل مـستقبلات (ذات طبيعـة بروتينية) تتوضع على أغشية منطقة ما بعد المشبك فيجرى تنبيه العصبون ثنائي القطـب بشكل سيالة عصبية تنقل عبر سلسلة من المشابك العصبية إلى أن تصل العصب البصري ومنه إلى الدماغ لتفسير الصورة المرتسمة على الشبكية (42). وقـد وجـد أن الـشرائط المشبكية (أو شرائط ما قبل المشبك presynaptic ribbons) والمحاطة بالحويـصلات المشبكية تؤدي دوراً مهماً في تنظيم عمل المنطقة قبل المشبكية ولاسيما تحريـر الناقـل العصبي وفق ظاهرة الإخراج الخلوي Exocytosisحيث تتلقاه المستقبلات في أغـشية منطقة ما بعد المشبك (43)، ومن ناحية أخرى فإن منطقة ما قبل المشبك تحـوي علـى بروتين خاص يسمى Bassoon يكون ضرورياً لتشكيل الخيوط المشبكية في المخـاريط في الشبكية (44)، ومن هنا نجد أهمية قطب النقل العـصبي فـي الإبـصار(أ والرؤيـة الجيدة)، إن التخريب الكبير الذي لحق بهذا القطب الحيوي بعد تسليط أشعة الليزر علـى العين تمثل باختفاء الخيوط المشبكية والذي يمكن إرجاعه إلـى تفكيـك وتـشويه ببنيـة البروتين الخاص (باسون) لمنطقة ما قبل المشبك والذي له الدور الأساس في تركيب هذه الخيوط المشبكية (كما جاء في البحث السابق الأخير) وقد ترافق هذا التخريـب باختفـاء الانخماصات والتداخلات بين أغشية ما قبل المشبك وما بعده. إن هـذا الوضـع يـشابه التبدلات والتشوهات البنيوية للمشبك العصبي بعد عملية فصل الطبقة الظهارية الصباغية عن بنية الشبكية (أو ما يسمى بالانفصال الشبكي Retinal detachment) الـذي يـرى الباحثون أنه يمكن أن يخفض الرؤية أويفقد الرؤية في منطقة اللاطخة من شـبكية العـين (45).

وهكذا نخلص إلى أن تأثير الأشعة الليزرية للحزمة (هليوم- نيون) في شـبكية عـين العظاء كان مؤذياً جداً وأدى إلى إحداث تبدلات بنيوية خطرة في كل من خلايـا الطبقـة الظهارية الصباغية وخلايا الاستقبال الضوئي (وهي من نمط مخاريط فقـط فـي هـذه الشبكية) تجلت بالنقاط الآتية:

- انفصال الطبقة الظهارية الصباغية عن طبقة المستقبلات الضوئية المتاخمة لها (والمرتبطة معها بعلاقة وظيفية)، كان من نتائجه السلبية فقدان الارتباط الوظيفي.

- حدوث تخريب بنيوي في طبقة الخلايا الظهارية الصباغية أفقد هذه الخلايا وظيفتها الرئيسية في حماية أقطاب الإحساس الضوئي(القطع الخارجية) من الشدة الضوئية العالية مما زاد في أذيات أشعة الليزر عليها.

- في مستوى طبقة المستقبلات الضوئية نال التخريب بشكل رئيس قطبي خلية الاستقبال الضوئي، وهما قطب الإحساس الضوئي مع أصبغة الرؤية وقطب النقل العصبي وهما القطبان المهمان في آلية حس الرؤية، وبتخريب هذين القطبين تصبح خلايا الاستقبال الضوئي غير قادرة (أو عاجزة) عن القيام بدورها في الرؤية وتمييز الألوان وصور الأشياء. هناك نسب معينة من خلايا الاستقبال الضوئي قد تلاشت واختفت نهائياً من الشبكية (نتائج المجهر الضوئي السابقة) وكان ذلك من الشدة الكبيرة لأشعة الليزر المستخدم، وقد أكدت معطيات المجهر الالكتروني هذه النتائج إلا نتائجنا الأخيرة هذه أوضحت وضع خلايا الاستقبال الضوئي المتبقة في الشبكية بأن هذه الخلايا هي خلايا غير سليمة وغير قادرة على أداء وظيفة الرؤية (رغم ما أوحته الوهلة الأولى في نتائج المجهر الضوئي).

يرى بعض الباحثيين أن الحزمة الليزية He-Ne المستمرة ذات الاستطاعة (1 ميلي واتmw) كافية لأن تحرض على أذيات في الشبكة يتمثل بالحرق للشبكية يمكن أن يؤدي إلى فقدان جزئي أو كلي للرؤية (46)، وهذه الاستطاعة المستخدمة في البحث (رقم 42) هي أقل من استطاعة الحزمة التي استخدمناها في بحثنا هذا.

إن خطر أشعة الليزر على النظر يكون كبيراً على الأشخاص العاملين في بحوث الليزر، ولهذا فقد لجأ هؤلاء إلى استخدام نظارت واقية ذات عدسات العضوية القادرة على الحماية من تأثير أشعة الليزر (47).

REFERENCES المراجـع

1-Roider, J., Brinkmann, R., Wirberlauer, C., Laqua, H., Birngruber, R. (2006). Subthreshold (retinal pigment epithelium) photocoagultion in macular diseaes : a Pilot study. *Br J.Ophthalmol;84:40-47.*

2-Abraham, M. (2001). Laser safety considerations waac, Newsletter .Jan.vol.23 N .1.

3- Tasman, W. (1999). Student suffers permanent eye damage from laser pointer: only second of exposure can cause retinal damage .School News, Top news mon,Feb. 01.1999.

4-Neitz, J. and Jacobs, G. H. (1988). Polymorphism of the long- wavelength cone in normal human color. Vision Nature 323,623- 625.

5-Romney, K. A. and Indow, T. (2002). Estimating physical Reflectance spectra from human color-matching experiments .PNAS. Oct. 29 Vol.22,14607-14610.

6-Barbour, H. R., Archer M. A., Hart, N. S., Thomas, N., Dunlop, S. A., Beazley, L. A., Shand, J. (2002). Retina characteristics of the Omate dragon Lizard, ctenophorus Omatus. The journal of comparative Neurology. Vol.450, issue 4,334-344.

7-Bridges, C. D. B. (1972). The rhodopsin–porphyropsin visual system. In Handbook of sensory physiology. Dartnall H. J. A. (ed.) Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg .New York , VII (1),417-480.

8-Dickson, D. H., Graves, D. A. (1979) . Fine structure of the Lamprey Photoreceptors and retina pigment epithelium (*petromyzon Marinus L.)* Exp. Eye Res. 29, 45-60.

9-Flight, W. F. G, Van Donselaar, E. (1975). Ultrastructure aspect of Incorporation of [H^3] – vitamin A in the pineal organ of the Urodele, *Diemicty viridescens viridescens.*Proc. Kon.Ned. Wetensch., C78, 130-142.

10-Porter, K. R., Yamada, E. (1960). Studies on the endoplasmic Reticulum. V. Its form and differentiation in pigment epithelial Cells of the frog retina. J. Biophys. Biochem. Cytol.,8, 181-205.

11-Hogan, M. J., Wood, I., Steinberg, R. H. (1974). Phagocytosis by Pigment epithelium of human retina cones. Nature (Lond) 252, 305-307.

12-Rizzolo, L. J. (2003). Cell Biology of the Retinal pigment Epithelium. Res. In Ophthalmology, Home page. WEB journal, Molecular Vision.

13-Robertson, D. (2005). Green Laser pointer can cause Eye Damage .EMBARGOED: Hold for release unit Monday, May 9 at 3 p.m. CDT. Archives of ophthalmology , myo Clinic.

14-Paschotta, R. (2007). Encyclopedia of Laser physics and Technology. Laser safety. Eye protection. R. P. photonics conulting GmbH.

15-Akeel, K., El-Zalek, B. and Saiof, F. (1999). The effect of C. W. He- Ne Laser Brightness on the Eye Retina of *lacerta laevis.* Damascus Univ. J. for Basic Sciences .Vol.17 No. 1 ,2001

16-Murry, R. L., Dubin, M. W. (1975). The occurrence of actinlike filament in association with migrating granules in Frog retina pigment epithelium. J.cell Biol. 64. 705-710.

17-Strauss, O. (2005). The Retina Pigment Epithelium in Visual Function. *Physiol. Rev.* 85:845-881, doi;10.1152/physrev.00021pp1- 100 .

18-Lucélia, D. (2007). Fine structure of the retinal pigment epithelium and cone Antractic Fish Nothohenie coriicepe Richardson in Light and dark-conditions. Revista Brasileria de zoologia. Rev.Bar.Zoo.Vol.24 nº1Curitiba, Paraná –Brasil.

19-Steven, K. F., Geoffrey, P. L., Kenneth, A. L., Edward, B. And Mark, R. V. (2007). Cellular Remodeling in Mammalin Retina Detachment. Webvision. Bookshelf I NCBI I NTH Help contact Help Desk I Copyright and Disclaimer.pp1-51.

20-Ah-Lai, L., Ling, Q., Hajjar, K. A., Futter, C. E., Greenwood, J., Adamson, P., Wavre-Shpton, S. T., Moss, S. E. and Hayes, M. J. (2009). Annexin A2 Regulates Phagocytosis of Photoreceptor Outer Segments in the Mouse Retina. Orignally published as *MBoC* in press. Vol.20, issue 17, 3896-3904.

21-Grace, M. S., Wang, L. A., Pickard, G. E., Besharse, J. C. and Menaker, M. (2003). Tetau mutation the period of rhymic photoreceptor outer segment disk shedding in hamaster. Science Direct- Brain Research. Volume 735, Issue 1, p 93-100.

22-Kevany, B. M. and Palczewski, K. (2010). Phagocytosis of Retina Rod and cone Photoreceptors. *Physiology* 25, No. 1,8- 15.doi:10.1152/physiol.00038.

23-Bridges, C. D. B. (1972). The rhodopsin-porphyropsin visual system. In: Handbook of sensory physiology. Dartnall H. J. A. (ed.) Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York ,VII (1), 417-480.

24-Nguyen-Legros, J. (1975). A propos des corps myéloïdes de l'epithélium pigmentaire de la rétine des Vertébrés. J. ultrastruct. Res.,53, 152-163.

25-Howard Dickson, D. and Harvey, H. L. (1992). Myeloïd body development in the Chick retinal pigment epithelium current eye research Vol.11, pp.147-152.

26-Mediawiki. (2008). Color vision. From wikipedia, the free encyclopedia. GNU free Documentation License 510© U.S.

27-Roberts, N. W. and Needham, M. G. (2008). A mechanism of polarized Light sensitivity in cone photoreceptors of Goldfish *Carassius auratus.* Biophysical journal. Science Direct Vol.93, Issue 9, p.3241-3248.

28-Shand, J., Hart, N. S., Thomas, N. and Partridge J. C. (2002). Development changes in cone visual pigment of black bream *A Acanthopagurus butcheri.* Journal of Exper. Biology 205, p.3661- 3667.

29-Noell, W. K. (1980). Possible mechanisms of photoreceptor damage by light in mammaliam eye. Science Direct, vision Res. Vol.20, Issue 12,P.1163-1171.

30-Jiangmei, W. U., Seregrad, S., Algvere, P. V. (2006). Photochemical Damage of Retina. Survey of Ophthalmology. Vol.51 Issue 5, p.461-481.

31-Debecker, J. and Zanen, A. (1975). Flash bleaching of visual pigments in man investigated by early receptor potential recording. Vision Res.Vol. 15 issue 1 , p.113-116.

32-Zwich, H., Edsall, P., Stuck, B. E., Wood, E., Elliott, R., Cheramie, R. and Hacker, H. (2007). Laser induced photoreceptor damage and recovery in high numerical aperture eye of the garter snake. Elsevier Ltd. Doc:10. 1016. USA.

33-Gayoso, M. J., Dias-Flores, L. and Garrido, Y. M. (1978). Gotas Lipidical de los fotoreceptores de la retina de los Vertebra do :oil droplet in the photoreceptors of Vertebrates retina. Morfo. Nor .y patolo. Sec. A , 2, 1-28.

34-Bowmaker, J. K. (1980). Colour vision in birds and the role of oil droplet. Trends Neurosci, p.196-199.

35-Barbour, H. R., Archer, M. A., Hart, N. S., Thomas, N., Dunlop, S. A., Beezley, D., Shand, J. (2002). Retinal characteristic of the drargon lizard, *Ctenophorus ornatus.* InterScience. J. of comparative Neurology. Vol.450, Issue 4, p.334-344.

36-Hart, N. S., Lisney, T. J. and Collin, S. P. (2006). Cone photoreceptor oil droplet pigmentation is affected by ambient Light intensity. Journal of experimental.Biology 209, 4776-4787 Australia.

37-Jonathan, D. L., Linton, J. D., Holzhausen, H. C., Babia, N., Sang, H., Miyagishima, K. J., Streans, G. W., Linasay, K., Wei, J., Chertov,, A. O., Perlers, T. A., Caffe, R., Pulk, H., Seeliger, M. W., Tanimoto, N., Fong, K., Bolton, L., Kuok, D. L., Sweet, I. R., Bartoletti, T. B., Redu, R. A., Travis, G. H., Zagotta, W. N., Townes-Anderson, A., Parker, E., Van der zee, C. E. E., Smpath, A. P., Sokolov, M., Thoreson, W. B., and Hurley, J. B. (2010). Flow of energy in outer retina darkness and light . Edited by Jeremy Natha n, Johns Hopkins university Science Session PNAS podcats Vol.107 nº 19. 8599-8604.

38-Ali, M. A. and Anctil, M. (1974). Retinomotor responses and isolated photoreceptors in *Amia calva* (Holostein: Amiidae). Copeia, 2, 379-386.

39-Darzykiewicz, Z., Bedner, E. and Smolewski, P. (2008). *In situ* Detection DNA Stand-Breaks in Analysis of Apoptosis by flow and Laser -Scanning . Springerlink . Vol. 203, p. 1064-3745.

40-Eggest, G., Volden, G. and Krokan, H. (1983). U. V. induced DNA damage and it repaire in human skin in vivo studied by sensitive immunohistochemical methods . Pubmed.4(6): 745-50.

41-Jackson, D. A., Hassan, A. B. Erriglon, L. J. and Cook, P. R. (1994). Sites in human nuclei where damage induced by ultraviolet light is repaired: Localization relative to transcription sites and concentration of proliferation cell nuclear antigen and tumour suppressor protein, P53. J. of cell Science 107, 1753-1760. U.K.

42-Kolb, H., Fernandez, E. and Nelson, R. (2009). Anatomy and physiology of the retina. Ultrastructure of rod and cone synaptic endings, part II, in Webvision Med. Univ. Utah edu.

43-Lenzi, D., Gersdorff, H. V. (2001). Structure suggests function : The case of synaptic ribbons as exocytotic nanomachines. Inter Science BioEssys. Vol.23 Issue 9, p.831-840.

44-Dick, O., Dieck, S., Altrock, W. D., Ammerüller, J., Weiler, R., Garner, C. C., Gundelfinger, E. D. and Brandstätter, J. H. (2003). The presynaptic Active Zone Protien Bassoon is Essential for photoreceptor Ribbon synapse Formation in the Retina. Neuron cell Symposia. Vol. 37.Issue 5, p.775-786.

45-Fisher, S. K., Lewis, G. P., Linberg, K. A., Barawid, E. and Verardo, R. (2007). Cellular Remodeling in mammalin Retina Induced by Retinal Detachment. Webvision . Bookshelf I NCBI NTH.

46-Tanguy, E. (1996). Development d'un Laser Verre Codopé erbium et ytterbium compact á scurité oculaire pour des applications telemétrie .Thése Doctorat . Univ. Paris-Xi Orsay ,France.

47-Salsi, S., Conckaert, J. C., Mayer, A., André, J. C. (1998). Equipement de protection contre les laser. Comportement non linéaire induit par des flux lumineux élevés. INRS ND 2075-171- 98 Univ. Paris XI, Orsay.