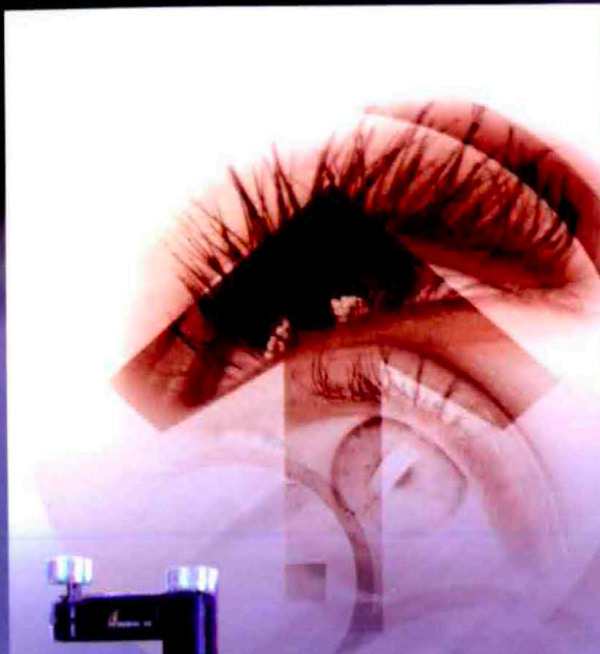




منشورات جامعة دمشق
المعهد الطبي

علم البصريات



الدكتور

أنس أكرم عنبري

مدرس في كلية الطب البشري



١٤٢٦ - ١٤٢٧ هـ
٢٠٠٦ - ٢٠٠٧ م

جامعة دمشق



منشورات جامعة دمشق
المعهد الطبي

علم البصريّات

الدكتور

أنس أكرم عنبري

مدرس في كلية الطب البشري

١٤٢٦ - ١٤٢٧ هـ

٢٠٠٥ - ٢٠٠٦ م

جامعة دمشق



منشورات جامعة دمشق
المعهد الطبي

علم البصريّات

الدكتور

أنس أكرم عنبري

مدرس في كلية الطب البشري

١٤٢٦ - ١٤٢٧ هـ

٢٠٠٥ - ٢٠٠٦ م

جامعة دمشق

الفهرس

الصفحة	الموضوع
٧	المقدمة
٩	الباب الأول
١١	الفصل الأول : خصائص الضوء والوظيفة الإبصارية
٤١	الفصل الثاني : انعكاس الضوء
٤٩	الفصل الثالث : انكسار الضوء
٦١	الباب الثاني
٦٣	الفصل الرابع : المواشير
٧٥	الفصل الخامس : العدسات
٨٧	الفصل السادس : العدسات الحرجية
٩٧	الفصل السابع : الوصفات البصرية، عدسات النظارات
١١٥	الباب الثالث
١١٧	الفصل الثامن : زوجات الأجهزة البصرية بما فيها العين
١٢٩	الفصل التاسع : الانكسار بواسطة العين
١٤٥	الفصل العاشر : أسواء الانكسار
١٧٧	الفصل الحادي عشر : قصو البصر
١٩١	الفصل الثاني عشر : العدسات اللاصقة
٢٠١	الفصل الثالث عشر : وسائل دعم الرؤية المتدنية
٢٠٧	الفصل الرابع عشر : الأجهزة
٢٦٥	الفصل الخامس عشر : الليزر
٢٨٣	الفصل السادس عشر : الانكسار السريري العملي

٢٩٩	الفصل السابع عشر: الجراحة الانكسارية
٣١٥	الباب الرابع
٣١٧	الملحق الأول : تعاريف رياضية
٣١٨	الملحق الثاني : خصائص العدسات
٣١٩	الملحق الثالث : نقاط سريرية مفيدة في الممارسة العملية
٣٢٥	المصطلحات العلمية

مقدمة :

يقصد هذا الكتاب أن يقود أبناءنا في قسم النظارات بالمعهد الطبي بدمشق ضمن منهاج البصريات وفي حاجاتهم خلال سني الدراسة دون اختصار اللازم لهم، ويكون بعد التخرج مرجعاً كافياً دون إطالة معينة لهم في ممارستهم. يأتي هذا الكتاب فيلبي ناحية تفتقر لها مكتبتنا العربية ملتزماً بما سنّ الأولون إذ زرعوا ليأكل أبناءهم وأملاً بالتزام أولادنا بواجبهم لمن بعدهم والله الموفق.

أنس أكرم العبيري

الباب الأول

الفصل الأول : خصائص الضوء والوظيفة الإبصارية

الفصل الثاني : انعكاس الضوء

الفصل الثالث : انكسار الضوء

الفصل الأول

خصائص الضوء والوظيفة الإبصارية

مقدمة

يمكن تعريف الضوء بأنه الطاقة التي تتحسس لها العين البشرية. لم يتمكن العلماء حتى الآن من فهم الطبيعة الحقيقية للضوء بالمفهوم الفيزيائي بشكل كامل، على الرغم من أن سلوك الضوء وخصائصه قد أشبعت دراسة وأصبحت مفهومة جيداً.

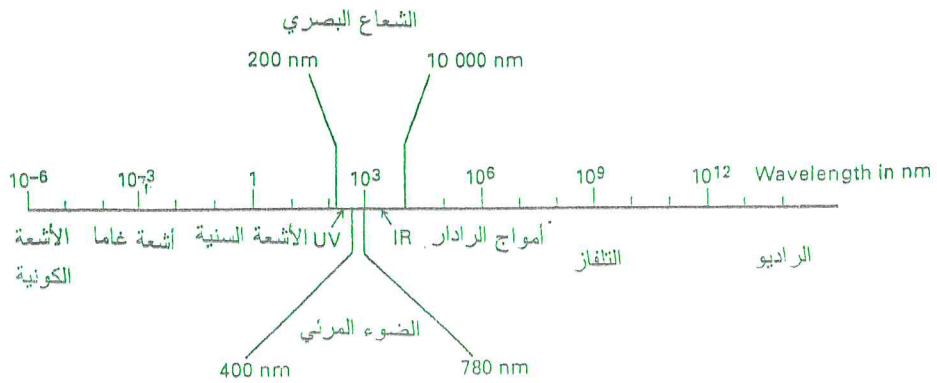
سنتطرق في هذا الفصل بشكل يسير لطبيعة الضوء وخصائصه.

الطيف الكهرطيسي : الإشعاع البصري

يتوضع الإشعاع البصري بين الأشعة السينية والأمواج القصيرة في الطيف الكهرطيسي (شكل ١-١)، ويقسم إلى سبعة أشرطة موجية. يتألف كل من هذه الأشرطة الموجية من الأطوال الموجية التي تبدي ارتكاسات بيولوجية متشابهة. هذه الأشرطة السبعة هي: الأشعة فوق البنفسجية C (٢٨٠-٢٠٠ ن.م)، الأشعة فوق البنفسجية B (٣١٥-٢٨٠ ن.م)، الأشعة فوق البنفسجية A (٣١٥-٤٠٠ ن.م)، الإشعاع المرئي (٤٠٠-٧٨٠ ن.م)، الأشعة تحت الحمراء A (٧٨٠-١٤٠٠ ن.م)، الأشعة تحت الحمراء B (١٤٠٠-٣٠٠٠ ن.م)، الأشعة تحت الحمراء C (٣٠٠٠-١٠٠٠٠ ن.م). وكما هو الحال بالنسبة لكل الإشعاع الكهرطيسي فإنه في حالة الإشعاع البصري أيضاً كلما كان طول الموجة أقصر، كلما كانت طاقة الفوتون أو الكوانتوم أكبر.

تمتص القرنية والصلبة بشكل أساسي كل الإشعاع البصري الوارد بأطوال موجية قصيرة جداً (أشعة فوق بنفسجية C, B) وأطوال موجية طويلة (أشعة

تحت حمراء B,C). يتم امتصاص الأشعة فوق البنفسجية C الواردة من قبل العدسة(*)، بينما تمر الأطوال الموجية ضمن المدى (٤٠٠-١٤٠٠ ن.م) (الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة) عبر الأوساط العينية لتقع وتتمحرق على الشبكية. تحرض الأطوال الموجية المرئية المستقبلات الضوئية في الشبكية لتعطي إحساساً بالضوء، بينما قد تؤدي الأشعة تحت الحمراء إلى حدوث تأثيرات حرارية (حروق الكسوف).



شكل ١-١ : الطيف الكهرطيسي.

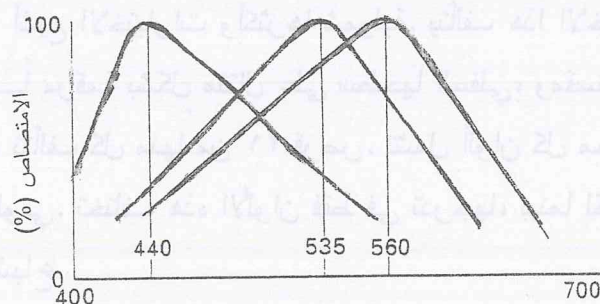
رؤية الألوان

تتراوح الأطوال الموجية المرئية للطيف الكهرطيسي بين ٤٠٠-٧٨٠ ن.م. يتحدد لون أي جسم بالأطوال الموجية الصادرة أو المنعكسة عن سطحه. الضوء الأبيض هو مزيج من الأطوال الموجية للطيف المرئي. يتم تلقي اللون بواسطة ثلاثة تجمعات من المستقبلات الضوئية المخروطية في الشبكية، والتي تتحسس للضوء ذي طول الموجة القصير (أزرق) أو المتوسط (أخضر) أو الطويل (أحمر) (شكل ١-٢).

*- حسب المعجم الطبي الموحد: البلورة - الجسم البلوري - عدسة.

تحدث العيوب الولادية في رؤية الألوان عند غياب أحد الأصبغة في المخاريط، أو عند حدوث انزياح في حساسيتها الطيفية.

بالتالي فإن عمى الأخضر Deuteranopia وعمى الأحمر Protanopia وعمى الأزرق Tritanopia تدل على غياب وظيفة المخاريط الخضراء أو الحمراء أو الزرقاء على التوالي، بينما يدل غمش الأخضر Deuteranomaly وغمش الأحمر Protanomaly وغمش الأزرق tritanomaly على انزياح في حساسية المخاريط الموافقة. يحمل الصبغي الجنسي X المورثات المرمزة للصبغ الأحمر والأخضر، بينما يحمل السابع مورثة الصبغ الأزرق. توجد عيوب الجهاز الأحمر/الأخضر عند ٨% من الرجال و ٠,٥% من النساء. أكثرها شيوعاً هو غمش الأخضر الذي يشاهد عند ٥% من الرجال و ٠,٣% من النساء. بينما عيوب الأزرق نادرة.



شكل ١-٢: الحساسية الطيفية لأصبغة المخاريط.

تتميز العيوب اللونية الولادية بكونها تؤثر على أجزاء معينة من الطيف اللوني، بينما تحدث العيوب اللونية المكتسبة في كامل الطيف ولكنها قد تكون أكثر وضوحاً في بعض المناطق منه. على سبيل المثال، تميل الآفات المكتسبة في العصب البصري لأن تسبب عيوباً حمراء -خضراء، ولكن توجد بعض الاستثناءات كما في الزرق واعتلال العصب البصري

الجسمي السائد اللذين يسببان في البداية عيوباً زرقاء صفراء بشكل رئيسي. وقد تبين مؤخراً أنه من الممكن اكتشاف الأذية في الساحة البصرية في الزرق بشكل أبكر باستعمال منبهات ضوئية زرقاء على خلفية صفراء. تميل الآفات الشبكية المكتسبة لأن تسبب عيوباً زرقاء- صفراء (باستثناء حثل المخاريط وداء ستارغارد اللذين يسببان عيباً أحمر - أخضر بشكل رئيسي).

الاختبارات السريرية لرؤية الألوان

تم تصميم الاختبارات السريرية لرؤية الألوان لتجرى ضمن ظروف مكافئة لضوء النهار في فترة ما بعد الظهر في نصف الكرة الشمالي.

اختبار المئة تدرج لوني لـ فارنس وورث - مانسل

Farnsworth-Munsell (FM) hue 100 test

هو أشيع الاختبارات وأكثرها شمولية. يتألف هذا الاختبار من ٨٤ قرصاً ملوناً مرقمة بشكل متتالٍ على سطحها السفلي، ومقسمة إلى أربعة مجموعات، تتألف كل منها من ٢١ قرص. تشمل ألوان كل مجموعة جزءاً من الطيف اللوني. تختلف هذه الألوان فقط في تدرجها، بينما لكل منها نفس السطوع والإشباع.

يجب ترتيب الألوان ضمن كل مجموعة على شكل نسق مع ألوان إشارة في النهايتين وبينهما تتدرج الألوان بحسب قربها من لون الإشارة، يدل الترتيب الذي يقوم به المريض على طبيعة العيب اللوني الموجود لديه.

اختبار D15

تستعمل في هذا الاختبار ألوان من كل أجزاء الطيف، حيث يتم ترتيبها بدءاً من لون إشارة وحيد. لا يميز هذا الاختبار العيوب اللونية

الخفيفة، لكن في معظم الحالات يستطيع الأشخاص الذين يتجاوزون هذا الاختبار أن يميزوا التدرجات.

اختبار إيشيهارا Ishihara (الصفائح اللونية المتساوية الكاذبة)

يستعمل هذا الاختبار بشكل نوعي في العيوب اللونية الحمراء-الخضراء التي هي أشيع الشذوذات في رؤية الألوان. تتألف صفائح الاختبار من بقع عشوائية ذات كثافة لونية متساوية ومتغايرة فيما بينها. يتم تمثيل الأرقام أو الخطوط المتموجة (من أجل الأميين) بوساطة بقع ذات ألوان مختلفة.

لن يرى المريض المصاب بعمى الألوان سوى نموذج عشوائي من البقع أو أرقام غير صحيحة. لا يمكن تمييز الأشكال عن الخلفية إلا بلونها وليس باختلاف تباينها.

اختبار لانثوني اللوني الحديث Lanthony test

يجرى لاختبار القدرة على تمييز التدرجات اللونية ويمكن استعماله لدى الأطفال.

الأشعة فوق البنفسجية

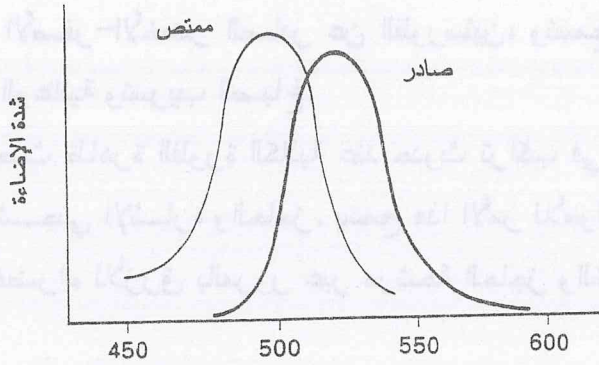
تتحسس المستقبلات الضوئية الشبكية أيضاً للأشعة فوق البنفسجية القريبة UVA ذات الأطوال الموجية ٣٥٠-٤٠٠ ن.م. يتم امتصاص هذه الأمواج عادةً من قبل العدسة. أما في حالات اللاعدسية مع عدسة مزروعة داخل العين (البلورة الكاذبة) وغير مزودة بمرشحة للأشعة فوق البنفسجية فإن هذه الأشعة تعطي إحساساً بلون أزرق أو بنفسجي. يلاحظ المرضى الذين تعرضوا لاستئصال البلورة حديثاً أن كل شيء يبدو أكثر زرقة مما هو عليه قبل العملية.

الأمر المقلق والمكتشف حديثاً هو أن الأشربة الموجبة بين ٣٥٠ ن.م (UV) و ٤٤١ ن.م (ضوء مرئي) هي الأكثر خطراً لإمكانية تسببها لأذية شبكية ضمن الظروف البيئية الطبيعية. بالتالي فإنه من المرغوب فيه أن تحتوي العدسات المزروعة داخل العين على مرشحة لهذه الأشربة الموجبة من أجل حماية الشبكية. وهذا الأمر هو الذي دعا إلى إنتاج عدسات تحتوي على مواد قادرة على امتصاص UVA. يمكن أيضاً للإشارة الساطعة المستعملة في بعض الأجهزة العينية الحديثة أن تسبب أذية شبكية في ظروف معينة. يمكن أن يؤدي التعرض المديد لمنظار قعر العين غير المباشر ذي الإشارة الساطعة أو لأنبوب الإشارة داخل العين أو لضوء المجهر الجراحي إلى أذية في الشبكية. تحوي أكثر الأجهزة على مرشحات صفراء لإنقاص خطر التعرض لهذه الأطوال الموجبة المؤذية.

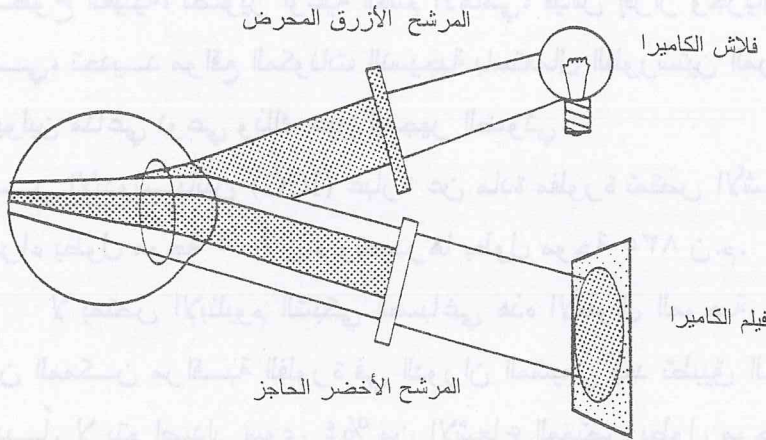
الفلورة Fluorescence

هي عبارة عن ميزة خاصة بجزيئات معينة وذلك بالإصدار العفوي لضوء ذي طول موجة أطول عندما تحرض بضوء ذي طول موجة أقصر. فعلى سبيل المثال: عندما تتم إثارة صباغ فلورسئين الصوديوم البرتقالي بضوء أزرق (٤٦٥-٤٩٠ ن.م) فإنه يصدر ضوءاً أصفر - أخضر (٥٢٠-٥٣٠ ن.م) (شكل ١-٣).

يسمح تصوير الأوعية بالفلورسئين بدراسة حالة الدوران الشبكي والمشيمي وذلك بتصوير مرور الفلورسئين داخل الأوعية بعد تطبيقه جهازياً. يمر الضوء الأبيض الصادر عن وحدة الوميض في آلة التصوير عبر مرشحة الإشارة الزرقاء لينير قعر العين بضوء أزرق (شكل ١-٤).



شكل ١-٣: طيف الامتصاص والإصدار للفلورسئين.



شكل ١-٤: المراشح في جهاز تصوير أوعية قعر العين بالفلورسئين.

تتقارب الأطوال الموجية المنقولة عبر مرشحة الإنارة إلى طيف الامتصاص الخاص بالفلورسئين. يتم امتصاص معظم الضوء، بينما يعبر قسم منه من دون تبدل، وبعضه الآخر يتحول إلى ضوء أصفر - أخضر بفعل الفلورة. يتم فصل الضوء الأزرق المنعكس والضوء الأصفر - الأخضر المفلور، المغادرين العين من خلال مرشحة الحاجز الأصفر - الأخضر في آلة التصوير. تحصر هذه المرشحة الضوء الأزرق وتعرض الفيلم فقط

للضوء الأصفر-الأخضر الصادر عن الفلورسنتين، وتسمح بالتالي بإظهار التراكيب الوعائية وتسريب الصباغ.

تحدث ظاهرة الفلورة الكاذبة عند حدوث تراكب في المرور الطيفي بين مرشحتي الإثارة والحاجز. يسمح هذا الأمر للأمواج المنعكسة عند النهاية الخضراء للأزرق بالمرور عبر مرشحة الحاجز والظهور على شكل فلورة.

تتضمن التطبيقات الهامة الأخرى للفلورسنتين: تلوين النقص في السطوح العينية، تصوير أوعية القسم الأمامي، قياس إفراز وجريان الخلط المائي، تحديد مواقع المكونات النسيجية باستعمال الفلورسنتين المرتبط مع غلوبولين مناعي نوعي وذلك عبر المجهر الضوئي.

أخضر الإندوسيانين (ICG) عبارة عن مادة مفلورة تمتص الأشعة تحت الحمراء بطول موجة ٨٠٥ ن.م وتصدرها بطول موجة ٨٣٥ ن.م.

لا يمتص الإبتليوم الشبكي الصباغي هذه الأطوال الموجية، وبالتالي فمن الممكن مراقبة الفلورة في الدوران المشيمي بعد تطبيق الـ ICG وريدياً. لا يتم إصدار سوى ٤% من الإشعاع الممتص بطول موجة ٨٠٥ ن.م من قبل الـ ICG مقارنة مع فلورة كاملة للفلورسنتين. أصبح تصوير الأوعية بالـ ICG بالاستعمال السريري الآن، ويتميز بأنه يظهر الأوعية المشيمية الحديثة الخفية غير المرئية بالفلورسنتين.

يمكن استعمال الـ ICG أيضاً كمادة محسسة للضياء لمعالجة الآفات

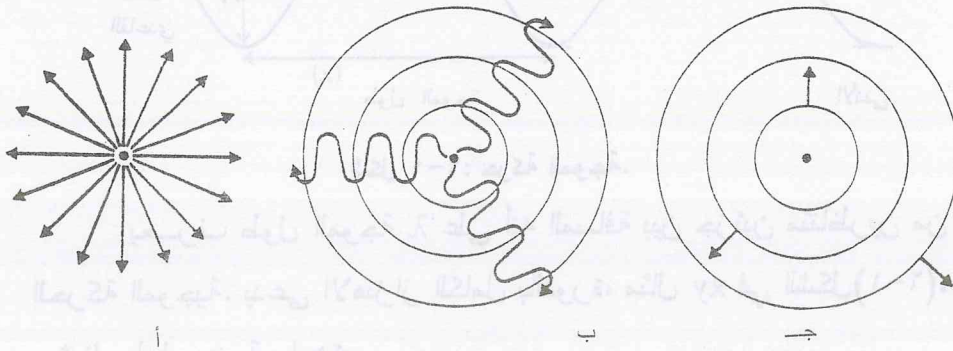
الوعائية بالتخثير الضوئي بالـ Diode laser.

النظرية الموجية للضوء

إن مسار الضوء ضمن وسط بصري ما مثل الزجاج مستقيم دوماً ما لم يصادف عائقاً أو سطحاً فاصلاً بين وسطين بصريين. يتم تمثيل الضوء

في المخططات على شكل سهم أو شعاع (تنتقل الأشعة في المخططات البصرية، اصطلاحاً، من يسار إلى يمين الصفحة). ولكن لا يمكن فهم بعض الملاحظات التجريبية عن سلوك الضوء بشكل كامل اعتماداً على المفهوم البسيط للضوء بأنه شعاع، والأمر المفهوم حالياً أن الضوء ينتقل على شكل أمواج بالرغم من أن مساره يمثل غالباً على شكل أشعة.

يظهر الشكل (٥-١) الطرق المختلفة لتصوير انتشار الضوء من مصدر نقطي. يظهر الشكل (٥-١) أ الضوء على شكل أشعة، بينما يظهر الشكل (٥-١) ب الحركة الموجية لكل شعاع، أما الشكل (٥-١) ج فإنه يظهر هيئة رؤوس الأمواج الناتجة عن التأثير المشترك لعدة أشعة، حيث تم رسم الدوائر المتركة عبر ذرى الأمواج. يلاحظ نفس التأثير عند سقوط قطعة حصى في ماء ساكن، فعندما ينظر إليه من الأعلى تشاهد أمواج دائرية متحركة من نقطة الصدمة (الرؤوس الموجية في الشكل ٥-١ ج).



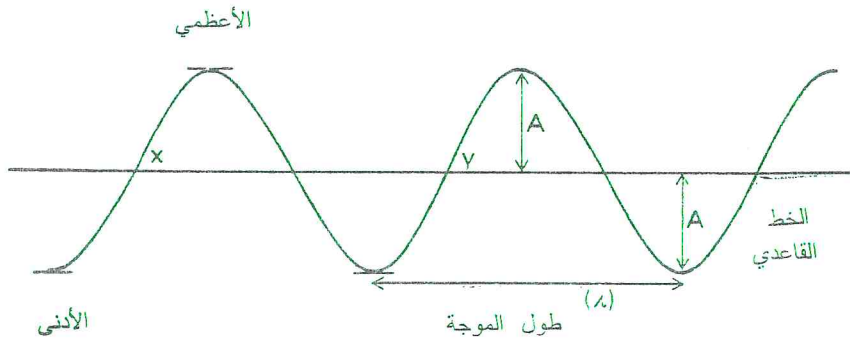
الشكل ٥-١: انتشار الضوء من مصدر نقطي.

- أ- الضوء متمثلاً على شكل أشعة، ب- الضوء متمثلاً على شكل أمواج
- ج- الضوء متمثلاً على شكل رؤوس موجية.

أما إذا تم النظر لهذه العملية من خلال المقطع المعترض فإنها تظهر على شكل تموجات بدءاً من مركز الاضطراب (الحركة الموجية في الشكل ١-٥ب).

تتألف الحركة الموجية من اضطراب أو طاقة تمر عبر وسط لا يتحرك بحد ذاته، وإنما تهتز الجزيئات المكونة له بزوايا معامدة لاتجاه حركة الموجة (شكل ١-٦).

(تخيل شريطاً مربوطاً مع حبل حيث يتم تشكيل موجة على طوله. تتحرك ذروة الموجة على طول الحبل، بينما يتحرك الشريط للأعلى والأسفل في نقطة من الحبل).

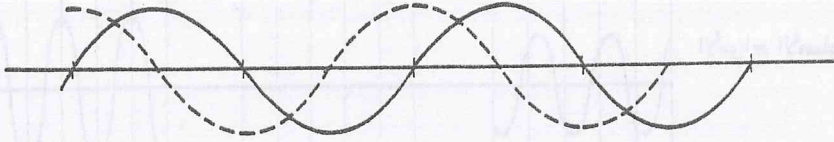


شكل ١-٦: حركة الموجة.

يعرف طول الموجة λ على أنه المسافة بين جزئين متناظرين من الحركة الموجية. يدعى الاهتزاز الكامل بالدورة، مثال xy في الشكل (١-٦)، ويشغل طول موجة واحدة.

السعة A هي الانزياح الأعظمي لجزيئة وهمية من الموجة عن الخط القاعدي. أي جزء من الدورة يدعى طوراً. إذا تحركت موجتان متساويتان في الطول (ولكن ليس بالضرورة متساويتين بالسعة) في نفس الاتجاه ولكن

باختلاف في الطور فيما بينهما، فإن الجزء من الدورة أو طول الموجة الذي تتجاوز به إحدهما الأخرى يدعى تباين الطور (شكل ٧-١).



شكل ٧-١: حركة الموجة: تباين الطور.

يظهر الشكل (٧-١) موجتين متساويتين في الطول متخالفتين في الطور بمقدار ربع طول موجة (يعادل تباين الطور 90° ، الدورة الكاملة 360°). تدعى الأمواج الضوئية المتخالفة في الطور بغير المتماسكة، بينما يدعى الضوء الذي يتألف من أمواج متوافقة في الطور ومتساوية بالطول بالمتماسكة Coherent.

التداخل Interference

عندما تنتقل موجتان من الضوء عبر المسار نفسه، فإن التأثير الناجم يعتمد على فيما إذا كانت الموجتان متوافقتين في الطور أم لا. إذا كانتا متوافقتين فإن الموجة الناتجة ستكون محصلة للتأثيرين، وهذا ما يدعى بالتداخل البناء (شكل ٨-١).

إذا كانت الموجتان متساويتين بالسعة ومتخالفتين بالطور بمقدار نصف دورة (شكل ٨-١ ب) فإنهما ستلغيان بعضهما الآخر: تداخل هدام. يكون التأثير النهائي في كلتا الحالتين هو كما لو أن الموجتين تراكبتا وأضيفتا إلى بعضهما الآخر (بالقيمة الجبرية). بالتالي فإن تباين الطور بمقدار أقل من نصف دورة يؤدي إلى موجة متوسطة السعة والطور (شكل ٨-١ ج).

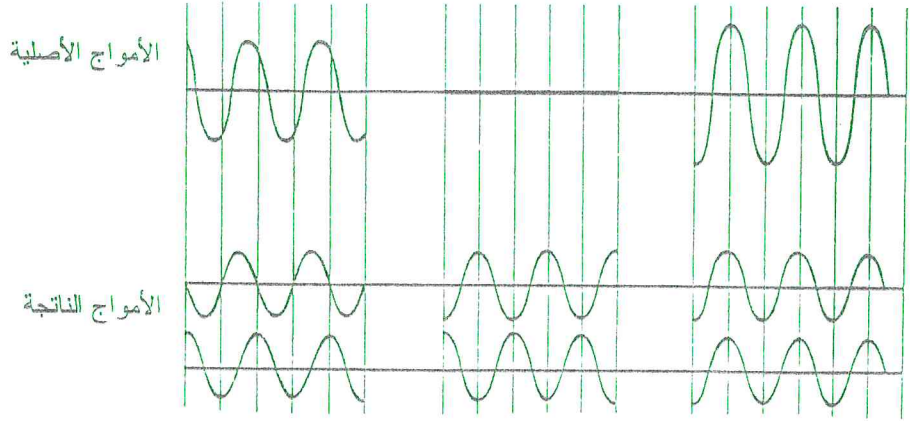
يحدث التداخل الهدام ضمن لحمة القرنية. تتوضع حزم الكولاجين في اللحمة بحيث يتم حذف أي انحراف للضوء من قبلهم بالتداخل الهدام.

أ-تداخل بناء

ب-تداخل هدام

ج-جمع الفرق

بمقدار ربع طور



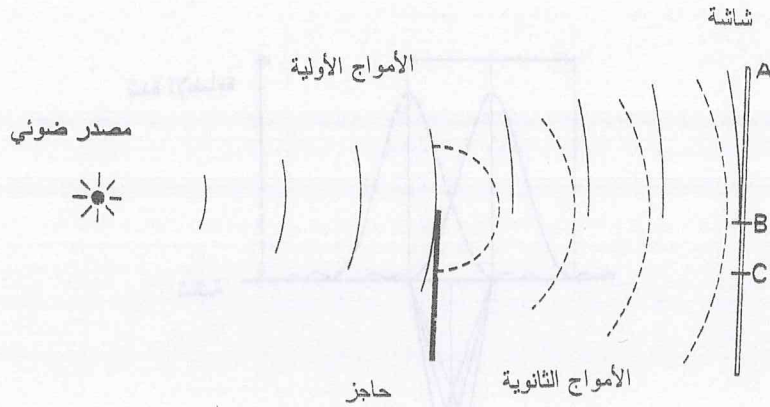
شكل ١-٨: تداخل موجتين.

يستفاد من ظواهر التداخل أيضاً في الأجهزة البصرية، أحد الأمثلة على ذلك هو الغلاف المخفف للانعكاس والذي يطبق على سطوح العدسات. يتألف الغلاف من طبقة رقيقة من مادة شفافة ذات كثافة ملائمة، يلغي الضوء المنعكس من القسم السطحي للطبقة وذلك المنعكس من القسم العميق منها بعضهما الآخر عن طريق التداخل الهدام (راجع الشكل ٧-١١).

الانعراج Diffraction

عندما يصادف رأس الموجة فوهة ضيقة أو حافة عائق (شكل ١-٩)، تنتشر حركة الموجة نحو الجانب بعد العائق. إنه كما لو أن حافة العائق سلكت سلوك مركز جديد تنتج عنه رؤوس أمواج ثانوية متخالفة في الطور مع الأمواج البدئية. تدعى هذه الظاهرة بالانعراج.

تنقص شدة الضوء الواقع على المنطقة AB إلى درجة ما عن طريق التداخل بين الأمواج البدئية والثانوية. يصدر الضوء الواقع على المنطقة BC عن الأمواج الثانوية فقط ويكون ذا شدة أقل بكثير.



شكل ١-٩: الانعراج (مبالغ به).

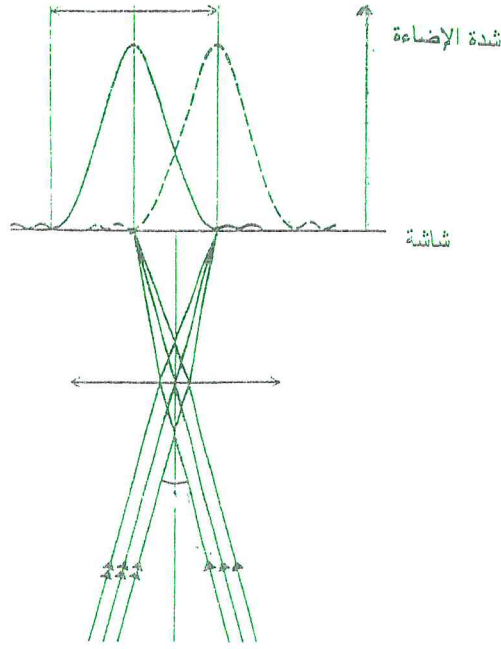
عندما يمر الضوء عبر ثقب دائري ينتج نموذج دائري من الانعراج. يتألف هذا النموذج من قرص مركزي ساطع محاط بحلقات متناوبة نيرة وقاتمة. تدعى المنطقة المركزية الساطعة بالقرص النير.

تكون تأثيرات الانعراج أكثر وضوحاً في الثقوب الضيقة، وهو يحدث في كل الأجهزة البصرية، بما فيها العدسات والعين. يكون تأثير الانعراج عند الثقوب في حالة العدسات والأجهزة البصرية مهماً مقارنة مع زوغانات الجهاز الأخرى (انظر الفصل الثاني). الانعراج هو المصدر الرئيسي لعدم جودة الخيال عندما تكون الحدقة صغيرة في العين. ولكن فائدة الحدقة الواسعة في إنقاص الانعراج تتحدد كثيراً نتيجة زيادة تأثير الزوغانات في الأوساط الكاسرة للعين (الفصل الثامن).

يستعمل مبدأ الانعراج في تصميم بعض أنواع العدسات متعددة المحارق داخل العين.

حد التمييز، قوة التمييز Limit of resolution, Resolving power

تشير عبارتا حد التمييز وقوة التمييز إلى أصغر زاوية من الفصل بين نقطتين بحيث تسمح للجهاز البصري بتشكيل خيالين قابلين للتمييز (شكل ١-١٠).



شكل ١-١٠: زاوية التمييز.

يتم الوصول إلى حد التمييز عندما يكون القرصان النيران مفصولين بحيث يقع مركز أحدهما على الحلقة القائمة الأولى للآخر.

اختبارات حدة البصر - قوة التمييز الخاصة بالعين

من المهم في الممارسة السريرية أن تكون قادراً على قياس قوة التمييز الخاصة بالعين. توجد اختبارات عديدة لحدة البصر. سنقوم هنا بمناقشة الاختبارات الأكثر شيوعاً وأهمية. يجب اختيار الاختبارات الملائمة للعمر والتطور عند الأطفال الصغار. وحالما يصبح الطفل كبيراً بما فيه الكفاية يتم استبدال الاختبارات التي تكون فيها الاستجابة سلوكية بتلك التي تتطلب إجراء التوافق.

أفضل توقيت لفحص الرضع هو عندما يكونوا متيقظين وغير جائعين. يجب أن يكون التنبيهات بكلتا العينين مركزياً وثابتاً وبالإمكان المحافظة عليه (CSM) (Central, Stead, Maintained) الهدف الأفضل

هو وجه (ولاسيما وجه الأم)، أو دمية، أو رسوم متحركة. يدل وجود تفضيل قوي لإحدى العينين مثبت بحدوث استجابة رافضة لتغطية تلك العين، أو حَوَل أو رَأْرأة، أو تحديق جوال، أو فرك مستمر للعين، على تدني حدة البصر. يتطور التثبيت في كافة اتجاهات التحديق بين عمر ٢-٥ أشهر. عندما تكون الرؤية ضعيفة فإن الحركات تكون استكشافية في طبيعتها. يمكن استنتاج الكثير من المعلومات عند مراقبة الطفل وهو يلعب. تدل قدرة الطفل، البالغ من العمر ٥ أشهر أو أكثر، على النقاط حبات الخرز الناعمة الملونة (Hundreds and Thousands) على أن حدة البصر القريبة لديه تكافئ ٢٤/٦ أو أفضل مع غياب أية مشكلة بصرية هامة لديه. بالرغم من ذلك فإن حدة البصر القريبة الجيدة قد تتطور حتى مع وجود حسر بصر عالٍ.

تتألف طبلة كاتفورد Catford Drum من اسطوانة بيضاء مرسوم عليها نقاط سوداء متزايدة الحجم بحيث تتوافق مع مدى حدة بصر بين ٦/٦ حتى ٦٠/٢، وذلك عندما ينظر إليها من على بعد ٦٠ سم. تتم تغطية الطبلة بوساطة شاشة تحوي على فوهة مستطيلة الشكل تظهر بقعة وحيدة فقط. تهتز هذه البقعة أفقياً وتحرض حركات عينية موافقة إذا كانت مرئية من قبل الطفل. يعطي هذا الاختبار تقديراً أعلى من الحقيقة لحدة البصر نظراً لأن الهدف متحرك ولأن الاختبار يجري على مسافة قريبة.

يتألف اختبار STYCAR (وهو اختبار ماسح يُجرى للأطفال الصغار والمتخلفين عقلياً) من عشر كرات بيضاء من مادة البوليسثيرين تتراوح أقطارها بين ٣,٥ مم وحتى ٦ سم. تتم درجة هذه الكرات على أرض جيدة الإنارة متباينة في اللون، وذلك على بعد ٣ أمتار من الطفل. يدل وجود حركات الملاحقة العينية على أنها مرئية من قبل الطفل. اختبار وورث مشابه لهذا الاختبار وتستعمل فيه كرة عاجية.

تعتمد الطرائق الأخرى لتقييم حدة البصر عند الأطفال غير القادرين

على النطق، على النظر التفضيلي وقياس الكمونات البصرية المحرصة. يمكن استعمال النظر التفضيلي لتقييم حدة البصر عند الرضع وذلك بمراقبة دوران الرأس والعينين لديهم نحو الأهداف المميزة والمختلفة. يمكن أيضاً استعمال أشرطة متشابكة متعاقبة بيضاء وسوداء مع هدف آخر منبسط رمادي اللون ومساوٍ لها بالحجم وذو إنارة معيارية. الطفل ذو الرؤية الأفضل قادر على تمييز الأشرطة الأدق والدوران نحوها.

الكمونات البصرية المحرصة عبارة عن الاستجابة الكهربائية المتولدة في القشر القفوي الدماغي والناجمة عن التحريض الإبصاري للعين. التنبه المستخدم هو إما أشرطة متشابكة بيضاء وسوداء أو نموذج يشبه رقعة الشطرنج حيث ينعكس النموذج بتواتر ثابت.

نماذج القياس البصري Optotype عبارة عن رموز يتوافق التعرف عليها مع مستوى معين من حدة البصر. تستخدم في كل هذه الاختبارات أحرف أو صور سوداء على خلفية بيضاء عاتمة أو منارة خلفياً وذلك لجعل التباين أعظمياً. تتوافق متطلبات كل من هذه الاختبارات مع درجة ثقافة الشخص.

يتطلب إجراء الاختبار لدى الأطفال الصغار أن يقوموا بإجراء التوافق بين الأحرف أو الرموز الموجودة على بطاقة تمسك من قبل الفاحص على بعد ٦ أمتار أو ٣ أمتار وبين الأحرف أو الرموز الموجودة في بطاقة أخرى مشابهة تكون معهم. قد يكون من الممكن إجراء الاختبار لدى الأطفال بعمر ١٨-٢٤ شهراً باستعمال الصور مثل صور kay التي تتضمن صور أشياء مثل: قطعة - شجرة - بيت... أو بطاقات كارديف التي توجد فيها صور أيضاً. تستعمل في اختبار STYCAR الأحرف التي يتعرف عليها الأطفال باكراً (H,O,T,V,X) وهو يُجرى لدى الأشخاص بعمر حتى ٣ سنوات تقريباً. أما في اختبار Sheridan-Gardiner فتستعمل سبعة أحرف (يضاف للأحرف السابقة حرفا U, A).

ولقياس القدرة البصرية وضعت أجهزة إسقاط ولوحات خاصة رسمت عليها أحرف أو مربعات أو حلقات مقطوعة أو صور بسيطة قياساتها مختلفة، وأحرف السطر الأخير، وهي الصغرى، رسمت مماسة لأضلاع مربع ضلعه ٧,٢٨ مم ويجب أن تراها العين السديدة البصر من بعد (٥) أمتار ويقال حينئذ أن حدة البصر لهذه العين هي عشرة من عشرة. أما أحرف السطر الأول وهي الكبرى، فهي أكبر من الأحرف الصغرى بعشر مرات، ويجب أن تراها العين السديدة من بعد (٥٠) متراً. وبين هذين السطرين سطور ذات أحرف يتدرج حجمها بتقسيم عشري فيقال أن القدرة البصرية هي :

$$\frac{1}{10}, \frac{2}{10}, \frac{3}{10}, \dots \text{ وهكذا حتى } \frac{10}{10}$$

وإذا لم تتمكن العين من رؤية الأحرف الكبيرة من بعد (٥) أمتار قدرت حدة البصر فيها بعد الأصابع من أكبر بعد ممكن. وإذا لم تتمكن العين من رؤية الأصابع قدرت حدة البصر برؤية حركة اليد، إذا تمكنت من ذلك. وإذا لم تتمكن العين من رؤية حركة اليد، وجهنا إليها ضوءاً فإذا أحسست به كانت حدة البصر فيها حس الضياء فقط وإذا لم تشعر بالضياء كانت حدة البصر معدومة، هذا حسب الطريقة الفرنسية.

أما بالطريقة الإنكليزية فيقف المفحوص على بعد ٦ أمتار من اللوحة وتكون قياسات الأحرف في اللوحة متناسبة مع هذا البعد. وتدرج القياسات يكون سداسياً لا عشرياً. وعلى هذا يقال أن القدرة البصرية هي:

$$\frac{6}{6}, \frac{6}{12}, \frac{6}{18}, \frac{6}{24}, \frac{6}{30}, \frac{6}{36}, \frac{6}{42}, \frac{6}{48}, \frac{6}{54}, \frac{6}{60}$$

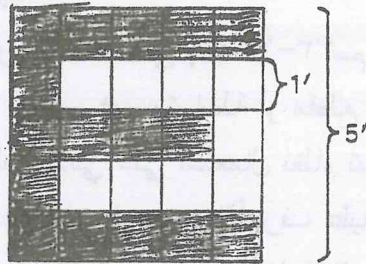
أما الطريقة الأمريكية، فيقف المفحوص على بعد ٢٠ قدماً من اللوحة ويقال أن القدرة البصرية هي:

$$\frac{20}{20}, \frac{20}{25}, \frac{20}{30}, \frac{20}{35}, \frac{20}{40}, \frac{20}{45}, \frac{20}{50}, \frac{20}{55}, \frac{20}{60}, \frac{20}{65}, \frac{20}{70}, \frac{20}{75}, \frac{20}{80}, \frac{20}{85}, \frac{20}{90}, \frac{20}{95}, \frac{20}{100}$$

تتضمن اختبارات القياس البصري لدى الأشخاص القادرين على القراءة تسمية الأحرف، وأشيع هذه الاختبارات اختبار سنلن Snellen. يعتمد هذا الاختبار على النظرية القائلة بأن أصغر جسم يمكن للعين تمييزه، يقابل نفس الزاوية البصرية الخاصة بالمخروط عند النقطة العقدية للعين أي: دقيقة قوسية واحدة (انظر الشكل ١-١١).

تستعمل في هذا الاختبار لوحة تحوي أنساقاً من الأحرف ذات أحجام متناقصة. يتوافق كل نسق مع رقم يدل على المسافة التي يجب أن يميز الشخص الطبيعي الأحرف من خلالها (مقدرة بالأمتار). تقابل الخطوط والفراغات في كل حرف العين بزاوية دقيقة واحدة من الدرجة. تتم قراءة لوحة الاختبار من على بعد ٦ أمتار (٢٠ قدم). بالتالي فإن الشخص الذي يستطيع أن يميز الأحرف في سطر الـ "١٢" مثلاً على بعد ٦ أمتار تكون حدة البصر لديه ١٢/٦ (٤٠/٢٠)، حيث أن البسط يدل على مسافة الرؤية. تبلغ حدة البصر الطبيعية ٦/٦ (٢٠/٢٠) بالرغم من أن اليافعين يحققون ٦/٤ غالباً. قد يكون الأطفال قادرين على إنجاز هذا الاختبار قبل عمر ٥ سنوات، وقد يكونوا قادرين على إجراء التوافق بين أحرف بطاقتين قبل عمر ٤ سنوات.

تعد لوحات لو غمار Log MAR (لو غاريتم زاوية الفصل الأصغري) لقياس حدة البصر أكثر دقة من لوحات سنلن نظراً لوجود ترقٍ منتظم في حجم الأحرف والفراغات فيها من سطر لآخر وضمن نفس السطر (شكل ١-١٢). بالتالي من الممكن الحصول على نتائج مقارنة من أي مسافة اختبار. حدة البصر (فيرنية Vernier Acuity) هي القدرة على اكتشاف أصغر التواء في الخط (شكل ١-١٣). تقاس باستعمال الأشرطة المتموجة المتشابكة. من الممكن عادة تمييز الالتواء الذي يبلغ ٣-٥ ثوانٍ قوسية. وهذا أقل من الحد في حدة البصر بطريقة سنلن لذلك تدعى بحدة البصر الفائقة Hyperacuity.



شكل ١١-١: نموذج الحرف في لوحة سنلن.

D U H R C

U E F P H

C Z R H S

K U P O D

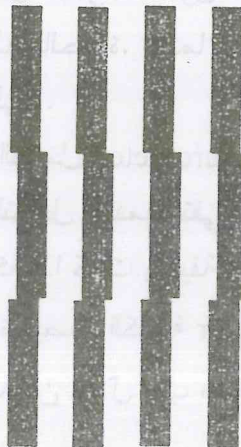
V N D R E

H Z U C P

Z S O K N

N Z K P O

شكل ١٢-١: لوحة لوغمار لاختبار حدة البصر.



شكل ١٣-١:

طريقة قياس

.Vernier Acuity

قياس حدة البصر القريبة

يتم قياس حدة البصر القريبة عادةً على بعد ٢٥-٣٣ سم. تحوي لوحات قياس حدة البصر القريبة على أحرف غير مترابطة أو مقطع من نص.

يعتمد نظام N البريطاني على استعمال نظام تنضيد الأحرف النقطي لتحديد حجم القالب المعدني الذي تم صب الأحرف عليه. يبلغ حجم كل نقطة ٧٢/١ إنش، بينما يبلغ حجم القوالب مضاعفات لهذا الرقم. مثال: يبلغ ارتفاع القالب الذي يحمل أحرف N_5 ٧٢/٥ إنش. تستعمل الأحرف الرومانية معياراً نظراً لأن حجم النص المطبوع يعتمد على نوع الأحرف المختارة. يعد نموذج Jaeger أقل جودة لأنه لا يتبع ترقياً منطقياً في الحجم.

قياس حدة البصر الكامنة

يمكن استعمال هذه الاختبارات لتقييم حدة البصر في العيون التي لا يمكن رؤية اللطخة فيها، كما في العين المصابة بالساد. يدل وجود حدة بصر كامنة جيدة على أن جراحة الساد قد تكون مفيدة. أبسط اختبار سريري هو اختبار النقب الضيق Pinhole.

تعتمد ظاهرة الساحة الزرقاء البصرية الداخلية على القدرة على رؤية نقاط بيضاء متحركة، وذلك عندما تضاء الشبكية بضوء أزرق منتشر. يعتقد أن هذه النقاط تمثل الضوء المنقول عبر الكريات الدموية الحمراء في الأوعية الشعرية المحيطة بالحفرة. عندما تكون هذه الظاهرة موجودة تكون وظيفة اللطخة إجمالاً سليمة.

يسقط مقياس التداخل Interferometer ضوء ليزر ثنائي المصدر على الشبكية. يحدث التداخل عندما يلتقي المصدران مع بعضهما، ويشاهد على شكل خطوط متشابكة إذا كانت وظيفة اللطخة سليمة.

يسقط مقياس حدة البصر الكامنة (PAM) Potential Acuity meter

لوحة أحرف على الشبكية من خلال ثقب صغير.

حساسية التباين Contrast sensitivity

لا تعكس اختبارات حدة البصر بشكل كافٍ قدرة العين على رؤية الأجسام ضعيفة التباين مثل الأوجه. قد تكون حدة البصر طبيعية إلى حد ما بينما تكون حساسية التباين بشكل ملحوظ في العديد من الحالات مثل الساد والزرق والتهاب العصب البصري.

تقاس حساسية التباين باستعمال أشرطة متشابكة متعاقبة بضاء وسوداء، حيث يحدث انتقال تدريجي بين هذه الأشرطة، أي أن حوافها تكون مشوشة Grating Acuity توصف الأشرطة الأضيق بأن تواترها الفضائي Spatial Frequency أعلى. يتم تشكيل منحنى حساسية التباين بتحديد مدى التواترات الفضائية المختلفة ضمن أقل درجة من التباين تستطيع العين من خلاله اكتشاف الأشرطة. يجب أن تتمتع التواترات الفضائية المنخفضة أو العالية جداً بمستويات أعلى من التباين حتى ترى.

تقاس حساسية التباين في الممارسة السريرية باستعمال شاشة تلفزيون أو لوحة. تبدي اللوحة في اختبار بيلي-روبسون أحرفاً ذات مستويات متناقصة من التباين مع الخلفية. أما في لوحة VISITECH فتوجد ٤٠ دائرة ذات مستويات تباين مختلفة.

اختبارات الوهج Glare tests

يدعى الضوء المبعثر الذي ينقص من الوظيفة البصرية بالوهج. قد يكون الوهج العرض البارز في وزمة القرنية أو تندبها أو في الساد أو كثافة المحفظة الخلفية للعدسة. يعتمد تأثير مصدر الوهج على موضعه وشدة وعلى خصائص التبعثر الضيائي للأوساط العينية. يشير قياس الوهج إلى قياس الوظيفة البصرية (مثال: حدة البصر، حساسية التباين، رؤية الألوان) مع وجود مصدر للوهج.

استقطاب الضوء Polarization of Light

يكون توجه مستوي الحركة الموجية للأشعة التي تضم حزمة ضوئية عشوائياً ما لم يكن الضوء مستقطباً. يظهر الشكل (١-١٤-أ) مقطعاً عرضياً في حزمة ضوئية تتجه بشكل معامد للصفحة. وعلى العكس من ذلك فإن الشكل (١-١٤-ب) يظهر مقطعاً عرضياً في حزمة ضوئية تتوضع فيها الحركات الموجية بشكلٍ موازٍ لبعضها الآخر. يقال عن هذه الحزمة أنها مستقطبة.

أ- ضوء غير مستقطب

ب- ضوء مستقطب



شكل ١-١٤: مقطع عرضي في حزمة ضوئية يُظهر مستوى الحركة الموجية.

يتم إنتاج الضوء المستقطب من الضوء العادي بتمريره من خلال عامل أو مادة مستقطبة. تمرر المواد المستقطبة، مثل بلورات كربونات الكالسيوم، فقط الأشعة الضوئية التي تهتز في نفس المستوى. بالتالي، يتم تمرير قسم فقط من الضوء الوارد، ويكون الضوء الصادر مستقطباً. ينقص الوسط المستقطب من الشدة الشعاعية، لكنه لا يؤثر على التركيب الطيفي.

يستقطب الضوء عند الانعكاس عن سطحٍ مستوٍ، مثل الماء، إذا كانت زاوية الورود مساوية لزاوية استقطاب المادة. تعتمد زاوية الاستقطاب على قرينة انكسار المادة المركبة للوسط العاكس (انظر الفصل الثاني والثالث).

يكون الضوء عند زوايا الورود الأخرى مستقطباً جزئياً، أي أنه مزيج من ضوء مستقطب. يكون مستوى استقطاب الضوء المنعكس عن مثل هذا الوسط موازياً للسطح. ونظراً لأن معظم السطوح العاكسة المصادفة في الحياة اليومية هي سطوح أفقية، فإنه من الممكن تحضير نظارات شمسية مستقطبة من أجل الحذف الانتقائي للضوء المستقطب المنعكس الأفقي. هذه

النظارات شائعة الاستعمال لتخفيف الوهج الناتج عن البحر أو الطرق المبللة.

الانكسار المزدوج Birefringence

تملك بعض المواد تركيباً جزيئياً يسمح بتمرير الأمواج الضوئية الموازية له، لكنه ينقص من سرعتها انتقائياً، وبالتالي يعيد توجيه الأمواج الضوئية المهتزة في مستوى معامد له.

تملك بلورات الكوارتز هذه الخاصية، والتي تعرف بالانكسار المزدوج. ونظراً لأنها تشطر الضوء الوارد غير المستقطب إلى حزمتين مستقطبتين تسيران باتجاهين مختلفين، فإن لها قرينتي انكسار.

التلون الثنائي Dichroism

يمنع التركيب الجزيئي للمواد ثنائية التلون تمرير الأمواج الضوئية غير الموازية له بشكل كامل، وذلك عن طريق الامتصاص. بالتالي تصدر فقط حزمة وحيدة من الضوء المستقطب ذات شدة ضعيفة جداً مقارنة مع الضوء الوارد غير المستقطب. من المواد ثنائية التلون: الترومالين والبولارويد (يصنع هذا الأخير من اليود الناعم وبلورات سلفات الكينين التي توضع ضمن مادة من اللدائن). يستعمل البولارويد في النظارات الشمسية.

من الأمثلة الأخرى على استعمال الضوء المستقطب في طب العيون، تقييم الرؤية المشتركة، حيث تستعمل نظارات مستقطبة للفصل بين العينين كما في اختبار تيتموس، وتقييم الغطش وذلك باستعماله لتوليد Haidinger's brushes وفي صناعة العدسات وذلك لفحصهم من أجل الشدة.

الرؤية المجسمة

الرؤية المجسمة Stereopsis هي القدرة على دمج خيالين مختلفين بشكل خفيف فقط، يحرضان عناصر شبكية غير متوافقة ضمن منطقة الدمج

panum في العينين، مع إدراك العمق. تصنف وفقاً لأقل تباين أفقي بين الخياليين الشبكيين قادر على تحريض إدراك العمق، وتقاس بالثنائي القوسية. تبلغ حدة الرؤية المجسمة الطبيعية ٦٠ ثانية قوسية أو أفضل. قد تكون حدة التجسيم عند الشخص الذي يتمتع برؤية مجسمة جيدة جداً أفضل من ١٥ ثانية قوسية، وهي أصغر تباين يقدمه اختبار فريسي (المدى ٦٠٠-١٥ ثانية قوسية).

تتحقق الحدة الأعظمية للتجسيم عند وقوع الخياليين على منطقة اللطخة في الشبكتين التي تكون قدرة التمييز فيها هي الأفضل في العين. بالتالي فإن حدة التجسيم الجيدة هي نتيجة للرؤية المشتركة المركزية. تستبعد حدة التجسيم الأفضل من ٢٥٠ ثانية قوسية وجود غطش هام، بينما تلك الأسوأ من ٢٥٠ ثانية قوسية فإنها قد تكون دليلاً على الغطش.

الاختبارات السريرية لحدة الرؤية المجسمة

توجد العديد من الاختبارات المتوافرة للرؤية المجسمة، لكن أشيعها استعمالاً في UK هي اختبار تيتموس، اختبار TNO، اختبار فريسي، اختبار لانغ.

يتألف اختبار تيتموس Titmus من مخططات توجه Victographs وهو يتضمن أيضاً اختبار Wirt. تتألف مخططات التوجه من صورتين متراكبتين تظهران بطريقة تضمن أن يكون الضوء الداخل لكل عين مستقطباً بشكلٍ مستوٍ، وبحيث يكون الضوء من إحدى الصورتين معامداً للآخر. يجب النظر للصورة المركبة من خلال نظارات مستقطبة.

ذبابة Wirt هي الهدف الأكبر في الاختبار، الذي يتضمن أيضاً مجموعات من الحيوانات والدوائر. تكون إحدى الصور في كل مجموعة متباينة وتظهر بارزة نحو الأمام. يجب إجراء الاختبار من على مسافة

٤٠ سم، وهو يغطي مدى من حدة الرؤية المجسمة يتراوح بين ٣٠٠٠-٤٠ ثانية قوسية.

يتألف اختبار فريسبي Frisby من ثلاث صفائح بلاستيكية شفافة ذات ثخانة متفاوتة. توجد على كل صفحة أربعة مربعات تملؤها أشكال عشوائية صغيرة. يحتوي أحد المربعات في كل صفحة على دائرة خفية مطبوعة على الوجه الخلفي للصفحة، لا تعطي الأشكال العشوائية أي دلائل بصرية على حواف الدائرة الخفية، وبالتالي فإن هذا الاختبار ثلاثي الأبعاد صرف ولا يحتاج ارتداء نظارات مستقطبة أو ملونة. عندما تكون مسافة العمل ٤٠ سم، تبدي الصفائح تبايناً مقداره ١٧٠،٥٥، ٣٤٠، ١٧٠، ٥٥، ثانية قوسية، ويمكن بتعديل مساحة العمل أن يصبح مدى التباين متراوحاً بين ٦٠٠-١٥ ثانية قوسية.

يتألف اختبار TNO من نقوش نقطية عشوائية قليلة البروز يتم إصدارها بواسطة الحاسوب. النقش في هذا الاختبار عبارة عن مخطط مجسم، حيث تمت فيه طباعة صورتين متباينتين باللونين الأحمر والأخضر على التوالي وذلك على خلفية بيضاء. يتم النظر إلى النقش بارتداء نظارات حمراء- خضراء. العين التي تنظر من خلال المرشحة الحمراء ترى الصورة الخضراء فقط وذلك بلون أسود، العين التي تنظر من خلال المرشحة الخضراء ترى فقط الصورة الحمراء وأيضاً بلون أسود، ويمكن دمج المنظرين للحصول على تأثير مجسم. يتراوح مدى التباين في اختبار TNO بين ٤٨٠-١٥ ثانية قوسية.

تتركب الأهداف في اختبار لانغ Lang من خطوط شاقولية ناعمة تشاهد بالتناوب من قبل كل عين على حده، وذلك عند النظر إليها من خلال عدسات اسطوانية. يؤدي انزياح الأخيطة النقطية العشوائية إلى إحداث تباين يتراوح بين ١٢٠٠-٥٥٠ ثانية قوسية. يجب الإمساك ببطاقة الاختبار بشكل

موازٍ لمستوى وجه المريض لتجنب إعطاء دلائل بعين واحدة. يتم إجراء الاختبار من على مسافة القراءة الطبيعية.

القياس الكمي للضوء

قياس الشدة الضوئية Photometry، قياس الطاقة الشعاعية Radiometry

قد يكون هذا العنوان مربكاً نظراً لتعدد المصطلحات المستعملة فيه. يقوم القياس الشعاعي Radiometry بقياس كمية الطاقة الإشعاعية في كل أجزاء الطيف الكهربطيسي بقيم مطلقة، بينما يقوم قياس الشدة الضوئية Photometry بقياس جزء من الطيف وفقاً للاستجابة البصرية التي يسببها، أي الحساسية الطيفية للعين. بالتالي فإن قياس الشدة الضوئية هو الأشيع استعمالاً في علم البصريات.

يقيس القياس الشعاعي كمية الضوء الصادرة عن المصدر (التدفق الشعاعي)، وشدته (الشدة الشعاعية)، والكمية الواقعة على سطح (التألف الشعاعي irradiance) أو المنعكسة عنه (الإشعاع radiance). القياس المكافئ للشدة الضوئية هو : التدفق الضوئي luminous flux، التتوير illuminance، السطوع الضوئي luminance (شكل ١-١٥). تنسب وحدات قياس الشدة الضوئية والقياس الشعاعي إلى بعضها البعض عن طريق "الفعالية الضوئية للإشعاع" وهو عامل تحويل نوعي لكل طول موجة، ويتحدد بحساسية العين نحوه. إن ذروة الحساسية للعين المتكيفة للضوء هي طول الموجة ٥٥٥ ن.م (أصفر-أخضر)، حيث يكون فيها لكل واط من الضوء وحيد اللون مكافئ من الشدة الضوئية مقداره ٦٨٥ لومن lumens.

يقال عن طول الموجة هذا، بالتالي، إنه يتمتع بفعالية ضوئية عظمية. تصبح العين تدريجياً أقل حساسية نحو أطوال الموجات في نهاية الطيف

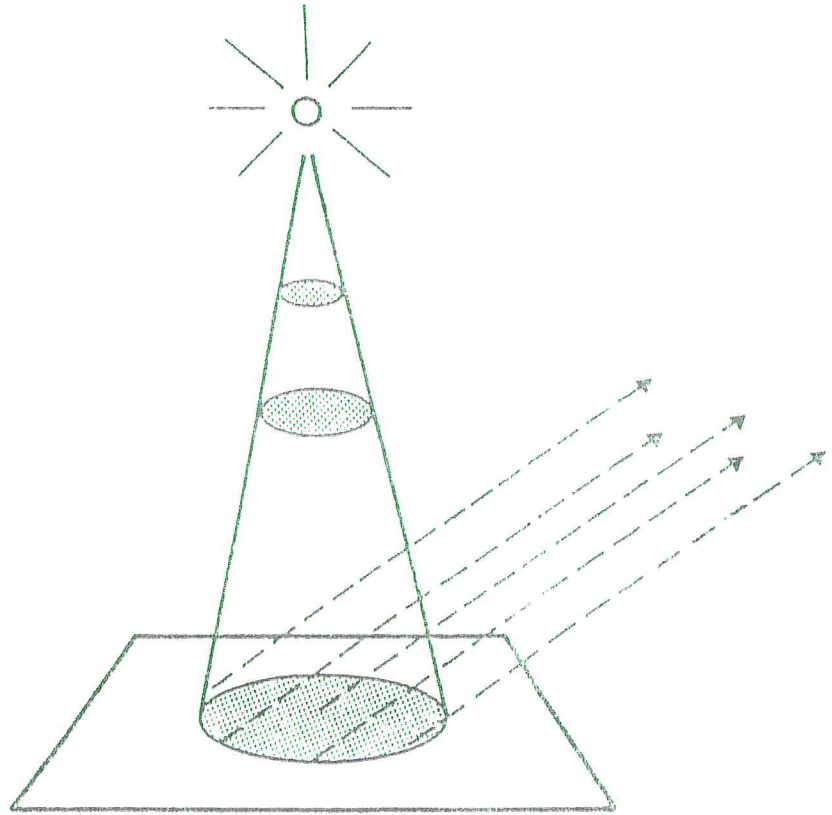
المرئي. بعبارة أخرى، الفعالية الضوئية للإشعاع تصبح أقل، وتصبح نفس الطاقة المتدفقة (وحدة قياس شعاعية) مكافئة لمقدار أقل من التدفق الضوئي (وحدة شدة ضوئية). يقترب عامل التحويل من الصفر خارج المدى ٤٠٠-٧٠٠ ن.م (الضوء المرئي).

يتم حساب مكافئ الشدة الضوئية بالنسبة للضوء متعدد الألوان بجمع مكافئات الشدة الضوئية للأطوال الموجية التي يتألف منها. سنقوم هنا بتعريف الوحدات المتنوعة. يسمى الجريان الكلي للضوء الصادر عن مصدر في كل الاتجاهات بالجريان الشعاعي إذا تم قياسه بالواط أو بالتدفق الضوئي إذا تم قياسه باللومن (شكل ١-١٥).

إن شدة الضوء الصادر عن المصدر هي قياس لتدفق الضوء نسبةً لوحدة زاوية الفراغ الممتد منه. تدعى بالشدة الإشعاعية إذا تم قياسها بالواط/ستيراديان أو بالشدة الضوئية إذا تم قياسها بالكانديلا (لومن/ستيراديان). الستيراديان هو وحدة الزاوية المجسمة (تشبه المخروط)، ويعرف بأنه الزاوية عند مركز كرة والتي تقابل منطقة من سطح الكرة بمقدار ربع نصف القطر. ونظراً لأن مساحة الكرة تساوي $4\pi r^2$ فإن المنبع النقطي الذي تبلغ شدته الضوئية كانديلا واحدة يصدر 4π lumens.

الوحدة القديمة الضوئية كانت الكانديل (الشعلة)، وهي تعتمد على كمية الإصدار المنبثق عن شمعة معيارية. وقد قادت المحاولات لإنتاج منبع ضوئي أكثر تجانساً ودقة، ويمكن استعماله لقياس المنابع الأخرى، إلى ظهور الوحدة المعيارية الحالية (الكانديلا). وفقاً لذلك، تعرف الشدة الضوئية لجسم مشع أسود في السنتيمتر المربع وعند نقطة تجمد البلاتينوم بأنها ٦٠ كانديلا، نظراً لأن الجسم الأسود المشع أكثر سطوعاً من الكانديلا المعيارية بستين مرة.

عندما يرد التدفق الشعاعي على سطح، يقال عن هذا السطح أنه مشع. يدعى التدفق الوارد على واحدة المساحة في أي نقطة بالتألق الشعاعي irradiance، يقاس بالواط/م². يدعى مكافئ التألق الشعاعي بالشدة الضوئية بالتقريب illuminance، ووحدته هي اللوكس (لومن/م²). تنقص إنارة السطح كلما ابتعد عن المنبع الضوئي. تتناسب إنارة السطح عكسياً مع مربع البعد عن المنبع الضوئي (قانون المربع العكسي).



شكل ١-٥: وحدات قياس الشدة الضوئية والإشعاعية للضوء الصادر والمنعكس.

تعتمد إنارة السطح أيضاً على زاوية ورود الضوء عليه. تتناسب

الإنارة طردياً مع زاوية الورد (قانون الجيب cosine)، بالتالي فإن :

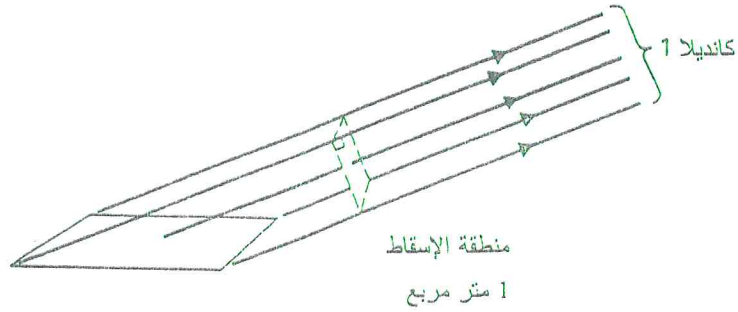
$$E = \frac{I \cdot \cos i}{d^2}$$

حيث E هي الإنارة، I هي شدة السطوع، i هي زاوية الورد، d هي المسافة بين المنبع والسطح.

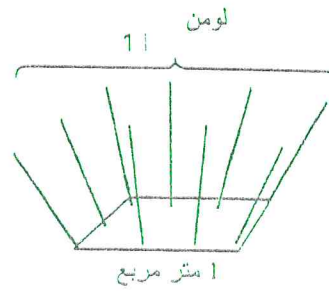
السطح متجانس الانتشار هو ذلك الذي يعكس الضوء بشكل متساوٍ في كل الاتجاهات. إذا قام هذا السطح، بالإضافة لما سبق، بعكس كل الضوء الوارد فإنه يدعى بالناشر المثالي perfect diffuser. تسلك كل نقطة عاكسة على هذا السطح سلوك منبع ضوئي نقطي، نظراً لأنها تصدر الضوء بشكل متساوٍ في كل الاتجاهات. يعرف السطوع في أي نقطة من السطح بأنه شدة الإنارة على واحدة المساحة في أي من الاتجاهات (شكل ١-١٦-أ).

يقاس السطوع بالكانديلا/م^٢. يقاس المكافئ الإشعاعي ب: واط/ستيريديان/م^٢. ومن المهم التأكيد على أن الكانديلا تقيس الضوء الصادر أو المنعكس باتجاه واحد فقط، ولا تقيس الكمية الكلية في كل الاتجاهات. في معظم الحالات، لا يقاس سطوع السطح بالكانديلا وإنما بمقارنته مع ناشر متجانس يصدر الضوء في كل الاتجاهات بمقدار ١ لومن/واحدة المساحة (شكل ١-١٦-ب). يتوافق التدفق الضوئي بمقدار ١ لومن/م^٢ مع سطوع بمقدار أبوستيلب واحد Apostilb (تعريف بديل : ١ أبوستيلب = $\pi/1$ كانديلا/م^٢).

من الوحدات الأخرى: الترولاندر troland، وهو يعادل إنارة الشبكية عند النظر إلى سطح ساطع بمقدار ١ كانديلا/م^٢ من خلال حذقة مساحتها ١ مم^٢ بعد تصحيح تأثير stiles-crawford.



b الأوستيلب



شكل ١-١٦: وحدات السطوع الضوئي.

قياسي الساحة الإبصارية الأتوماتيكي

تقيس الساحة الإبصارية perimetry الحساسية الضوئية من الشبكية عن طريق قدرة المريض على اكتشاف تنبيهات ضوئية مختلفة بعد تقديمها في نقاط موافقة من الساحة الإبصارية.

تبلغ إنارة الخلفية في معظم أجهزة الساحة الإبصارية الحالية ٣١,٥ أبوستيلب (asb). يجب أن تتوضع العين المختبرة في مركز نصف كرة بعد ارتداء التصحيح القريب، ويطلب من المريض أن يحافظ على التنبيه. يتم إسقاط بقع ضوئية على السطح الداخلي لنصف الكرة.

قد تتراوح شدة التنبيهات الضوئية بين ٠,٨ - ١٠٠٠٠٠ asb. يمكن التعبير عن هذا المدى بمقياس لوغاريتمي، وتدعى الوحدات اللوغارتمية بالديسيبل (dB) (وحدة لوغاريتمية واحدة = ١٠ dB). يتوافق المدى ٠,٨ - ١٠٠٠٠٠ asb المستعمل في قياس الساحة الإبصارية مع ٥١ dB.

الفصل الثاني

انعكاس الضوء Reflection of Light

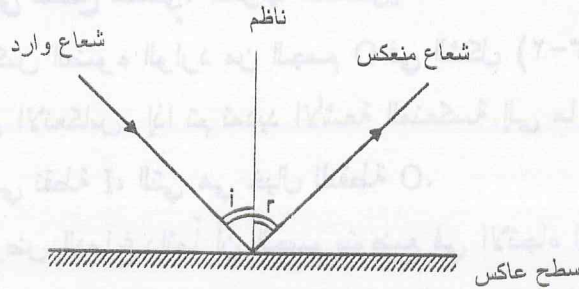
مقدمة

عندما يصادف الضوء سطحاً فاصلاً بين وسطين، فإن سلوكه يعتمد على طبيعة هذين الوسطين. قد يمتص الضوء من قبل الوسط الجديد، أو قد يمر من خلاله، أو قد يرتد نحو الوسط الأول. يدعى ارتداد الضوء هذا عند السطح الفاصل بالانعكاس. يحدث الانعكاس، بدرجة ما، عند كل السطوح الفاصلة، حتى لو تعرض معظمه للامتصاص أو الانكسار. إن الكمية الصغيرة من الضوء المنعكس هي التي تسمح لنا برؤية باب زجاجي، على سبيل المثال، وبالتالي نتجنب الاصطدام به.

قوانين الانعكاس

يحكم القانونان التاليان انعكاس الضوء عند أي سطح فاصل، ويبينهما

الشكل (١-٢).



شكل ١-٢ : الانعكاس عن سطح مستو.

١- يتوضع كل من الشعاع الوارد والمنعكس والناظم في نفس المستوى.

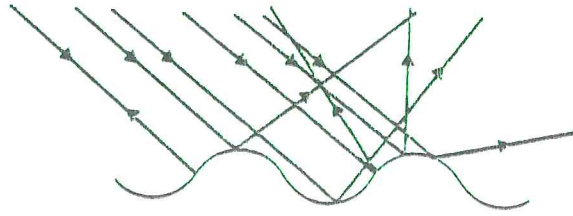
(الشعاع الناظم هو الخط المعامد للسطح عند نقطة الانعكاس).

٢- زاوية الورود (i) تساوي زاوية الانعكاس (r).

الانعكاس عن سطح غير منتظم

عندما يصادف ضوء متوازٍ سطحاً غير منتظم، فإنه يتبعثر باتجاهات عديدة (شكل ٢-٢) وهذا ما يدعى بالانعكاس المنتشر.

الانعكاس المنتشر هو المسؤول عن السطح العاكس المثالي (باستثناء ذاتية الإنارة)، مثال: أثاث المنزل... الخ. أما السطح العاكس المثالي (يخلو من عدم الانتظام الذي يسبب الانعكاس المنتشر) فهو غير مرئي بحد ذاته، وإنما فقط الخيال المتشكل من قبل الضوء المنعكس عنه هو الذي يرى.

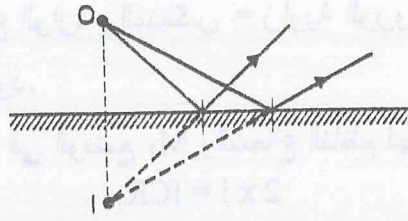


شكل ٢-٢: الانعكاس على سطح غير منتظم: انعكاس مبثر .

الانعكاس على سطح مستوٍ: المرايا المستوية

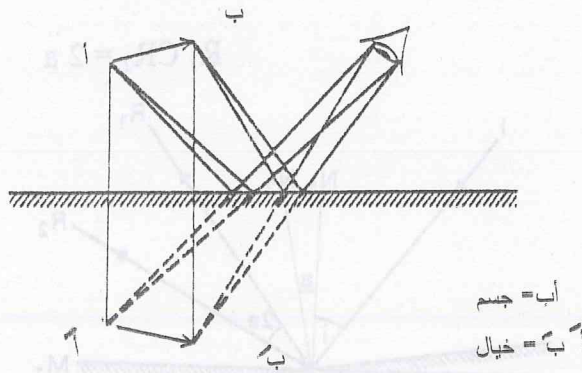
ينعكس الضوء الوارد من الجسم O في الشكل (٢-٣) على السطح وفقاً لقوانين الانعكاس. إذا تم تمديد الأشعة المنعكسة إلى ما خلف السطح، فإنها تتقاطع في نقطة I، التي هي خيال للنقطة O.

يفترض الدماغ دائماً أن الجسم يتوضع في الاتجاه الذي يدخل منه الضوء إلى العين. يبدو الضوء الصادر عن الجسم O كما لو أنه آتٍ من النقطة I (خيال O). ولكن إذا ذهب المراقب نحو النقطة I، فلن يجد خيلاً حقيقياً هناك: أي لا يمكن تلقيه على حاجز. تدعى مثل هذه الأخيلة بالوهمية Virtual. بينما تدعى الأخيلة التي يمكن تلقيها على حاجز بالأخيلة الحقيقية.



شكل ٢-٣: الانعكاس على سطح مستوي : جسم نقطي.

يتمتع الخيال المتشكل بالانعكاس عن سطح مستوي بالمواصفات التالية:
 خيال صحيح (منتصب)، وهمي، مقلوب جانبياً. يتوضع الخيال على خط
 معامد للسطح العاكس، ويبعد عن السطح نفس مسافة بعد الجسم عنه (وإنما
 إلى الخلف من السطح، بينما يكون الجسم إلى الأمام منه).



شكل ٢-٤: الانعكاس على سطح مستوي: جسم طويل.

تدوير مرآة مستوية

إذا تم تدوير مرآة مستوية أثناء ورود الضوء على مركز دورانها،
 فإن الشعاع المنعكس ينحرف بزواوية معادلة لضعفي زاوية تدوير المرآة.

بحسب قوانين الانعكاس: زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس: بالتالي فإن
الزاوية بين الشعاع الوارد والمنعكس = زاوية الورود + زاوية الانعكاس =
ضعف زاوية الورود.

عندما تكون المرآة في الوضع M_1 والشعاع الناطم لها N_1 تكون الزاوية:
$$2 \times i = ICR_1$$

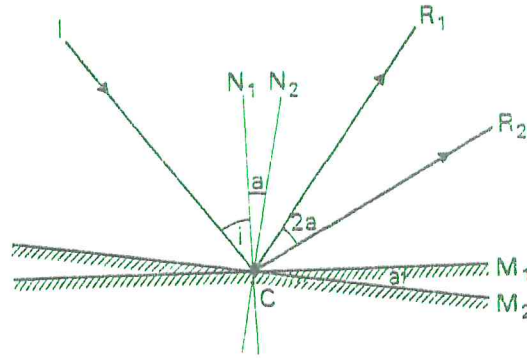
وبعد تدوير المرآة للوضع M_2 ، مع كون الشعاع الناطم لها N_2 تكون الزاوية
 $2(i+a) = ICR_2$ حيث a هي زاوية التدوير.

الزاوية التي ينحرف بها الشعاع المنعكس عند تدوير المرآة M_1 إلى M_2 هي
. $CR_2 R_1$

$$R_1 R_2 = ICR_2 - ICR_1 \quad \text{لكن}$$

$$R_1 CR_2 = 2(i+a) - 2i$$

$$R_1 CR_2 = 2a$$

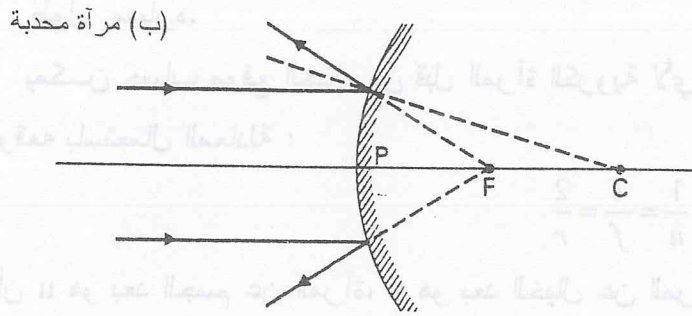
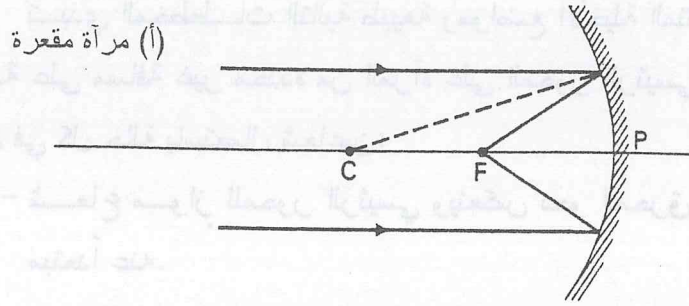


شكل ٢-٥: تدوير مرآة مستوية.

الانعكاس على السطوح العاكسة الكروية

يدعى السطح العاكس الذي له شكل جزء من كرة بالمرآة الكروية.
إذا توضع السطح العاكس على الوجه الداخلي للمنحني فهو مرآة مقعرة. أما
إذا توضع السطح العاكس على الوجه الخارجي للمنحني فهو مرآة محدبة.

مركز الانحناء (C) في (الشكل ٦-٢) هو مركز الكرة التي أخذت منها المرآة، قطب المرآة (P) هو مركز السطح العاكس، (CP) هو نصف قطر الانحناء (r).



شكل ٦-٢: مرآة كروية: انعكاس الضوء المتوازي.

المحور هو أي خط يمر من مركز الانحناء ليقع على المرآة. يدعى المحور الذي يمر من قطب المرآة بالمحور الرئيسي، وتدعى المحاور الأخرى بالتانوية.

تنعكس الأشعة الموازية للمحور الرئيسي نحو المحرق الرئيسي (F) للمرآة في المرايا المقعرة أو بعيداً عنه في المرايا المحدبة. تدعى المسافة (FP) بالطول المحرق للمرآة (F)، وهو يعادل نصف نصف قطر الانحناء.

وهكذا يتشكل خيال جسم واقع على المحور الرئيسي وعلى أي مسافة منه في المحرق الرئيسي (شكل ٢-٧). يكون الخيال المتشكل بوساطة المرآة المقعرة حقيقياً، بينما المتشكل من قبل المرآة المحدبة فهو وهمي.

تبدى المخططات التالية طبيعة ومواضع الأخيلا المتشكلة لأجسام واقعة على مسافة غير محددة من المرآة على المحور الرئيسي. يتم تشكيل الخيال في كل حالة باستعمال شعاعين:

١- شعاع مواز للمحور الرئيسي وينعكس نحو المحرق الرئيسي أو مبتعداً عنه.

٢- شعاع من ذروة الجسم، ويمر عبر الانحناء لينعكس للخلف على طول مساره.

يمكن حساب موقع الخيال من قبل المرآة الكروية لأي جسم، مهما كان موقعه باستعمال المعادلة :

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

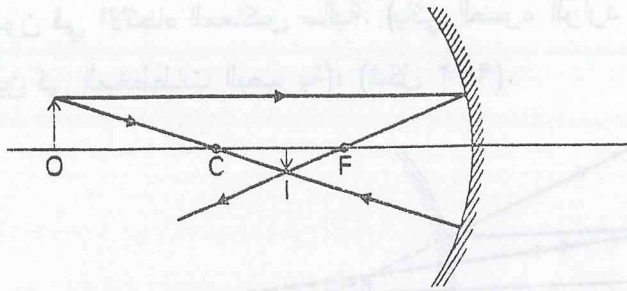
حيث أن u هو بعد الجسم عن المرآة، v هو بعد الخيال عن المرآة، f الطول المحرقي للمرآة، r هو نصف قطر انحناء المرآة.

يمكن أيضاً حساب التكبير الناتج عن المرآة المنحنية. يعرف التكبير بأنه حجم الخيال إلى حجم الجسم. فإذا اعتبرنا أن التكبير M وحجم الخيال I ، وحجم الجسم O يمكن حساب التكبير باستعمال المعادلة:

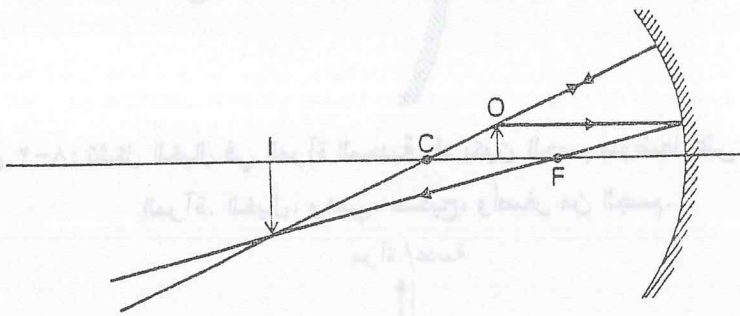
$$M = \frac{I}{O} = \frac{V}{U}$$

(V هو بعد الخيال عن المرآة، U هو بعد الجسم عن المرآة).

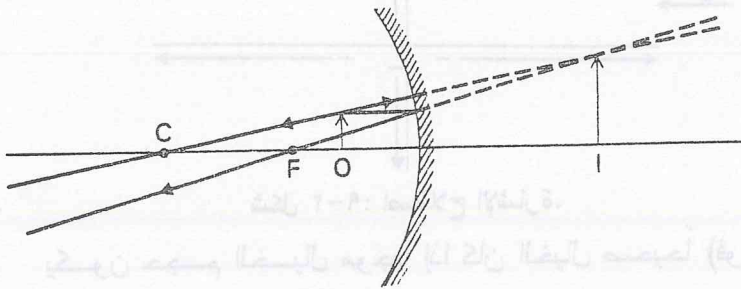
وعند استعمال هذه المعادلة يجب اعتماد اصطلاح الإشارة كما هو مبين في الشكل (٢-٩).



أ-



ب-



ج-

شكل ٧-٢: الخيال المتشكل بواسطة مرآة مقعرة.

أ- يقع الجسم خارج مركز الانحناء C. الخيال حقيقي، مقلوب، أصغر من الجسم. ويتوضع

بين المركز (C) والمحرق الرئيسي (F)، ب- يقع الجسم بين المركز والمحرق الرئيسي.

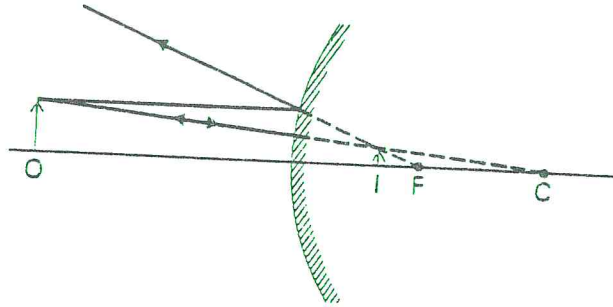
الخيال حقيقي، مقلوب، أكبر من الجسم، يتوضع خارج مركز الانحناء، ج- يقع الجسم

داخل المحرق الرئيسي. الخيال صحيح، وهمي، وأكبر من الجسم.

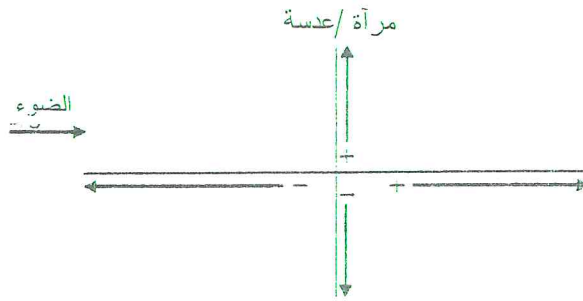
تقاس كل الأبعاد بدءاً من قطب المرآة (أو قمة العدسة) إلى النقطة

المطلوبة. تعتبر الأبعاد التي تقاس بنفس الضوء الوارد موجبة، وتلك التي

تكون في الاتجاه المعاكس سالبة. (يأتي الضوء الوارد عادةً من اليسار إلى اليمين في المخططات البصرية)، (شكل ٢-٩).



شكل ٢-٨: تشكل الخيال في المرآة المحدبة. قد يكون الجسم متوضعاً على أي بعد عن المرآة. الخيال، وهمي، صحيح، وأصغر من الجسم.



شكل ٢-٩: اصطلاح الإشارة.

يكون حجم الخيال موجباً إذا كان الخيال صحيحاً (فوق المحور الرئيسي)، وسالباً إذا كان مقلوباً (تحت المحور الرئيسي). (شكل ٢-٩).

التطبيق السريري

لنظرية المرايا المنحنية تطبيقات عملية واسعة. يسلك الوجه الأمامي للقرنية سلوك مرآة محدبة، ويستخدم على هذا النحو من قبل الأجهزة التقليدية المستعملة لقياس انحناء القرنية.

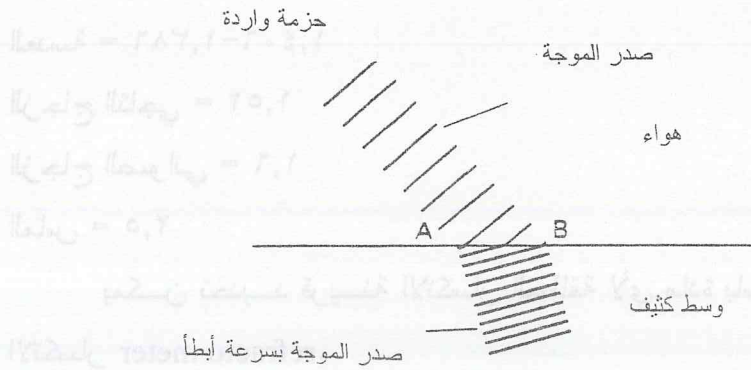
تدعى الأخيلة المنشكلة من قبل السطوح العاكسة في العين بأخيلة بوركنجي-سانسون وهي مشروحة بالتفصيل في الفصل التاسع.

الفصل الثالث

انكسار الضوء Refraction of Light

مقدمة

يعرف الانكسار بأنه تبدل في اتجاه الضوء عندما يمر من وسط شفاف إلى آخر ذي كثافة بصرية مختلفة. يتوضع كل من الشعاع الوارد والمنكسر والناظم في نفس المستوى. تتفاوت سرعة الضوء وفقاً لكثافة الوسط الذي يمر من خلاله. فكلما كان الوسط أشد كثافة كانت سرعة الضوء المار خلاله أقل. عند ورود حزمة من الضوء على سطح يفصل وسطاً أقل كثافة عن سطح أكثر كثافة بشكل مائل (الشكل ٣-١)، فإن حافة الحزمة التي تصل في البداية "A" تتأخر عند دخولها الوسط الأكثر كثافة.



شكل ٣-١: انكسار حزمة من الضوء عند دخولها من الهواء إلى وسط كثيف بصرياً. يستمر الجانب المقابل من الحزمة "B" على نفس سرعته الأصلية، وهكذا فإن الحزمة تنحرف كما هو مبين في (الشكل ٣-١)، لتقترب من الناظم عند دخولها إلى الوسط الأكثر كثافة.

تعطي مقارنة سرعة الضوء في الخلاء مع سرعته في وسط آخر
قياساً للكثافة البصرية لذلك الوسط. يدعى هذا القياس بقرينة الانكسار المطلقة
n " للوسط.

قرينة الانكسار المطلقة = سرعة الضوء في الخلاء / سرعة الضوء
في الوسط.

ونظراً لأن الكثافة البصرية للهواء كوسط مهملة ضمن الظروف
الطبيعية فإن: قرينة الانكسار = سرعة الضوء في الهواء / سرعة الضوء في
الوسط

من الأمثلة على قرائن الانكسار:

الهواء = ١

الماء (بما فيه الخلط المائي) = ١,٣٣

القرنية = ١,٣٧

العدسة = ١,٣٨٦ - ١,٤٠٦

الزجاج التاجي = ١,٥٢

الزجاج الصواني = ١,٦

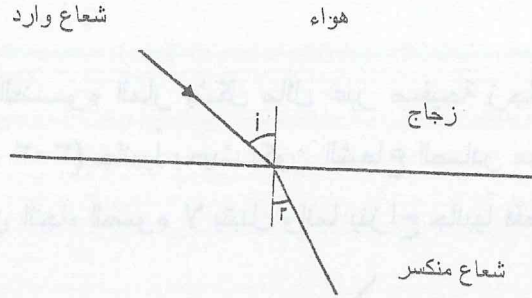
الماس = ٢,٥

يمكن تحديد قرينة الانكسار المطلقة لأي مادة باستعمال مقياس

الانكسار refracto meter.

عند دخول الضوء من وسط أقل كثافة بصرية إلى وسط أشد كثافة

بصرية فإنه ينحرف نحو الناظم.



شكل ٣-٢: انكسار الضوء الداخل من الهواء إلى وسط كثيف بصرياً.
يشكل الشعاع الوارد مع الناقم زاوية (i) تدعى زاوية الورود. تدعى الزاوية بين الشعاع المنكسر والناقم بزاوية الانكسار (r). تتحدد هذه الزوايا بقرينتي انكسار الوسطين وفقاً لقانون سنل Snell's law.
يذكر قانون سنل أن كلاً من الشعاع الوارد والمنكسر والناقم يتوضع في نفس المستوى، وترتبط زاويتا الورود والانكسار مع قرينتي انكسار الوسطين بالمعادلة التالية:

$$\text{medium}_1 \sin i = \text{medium}_2 \sin r$$

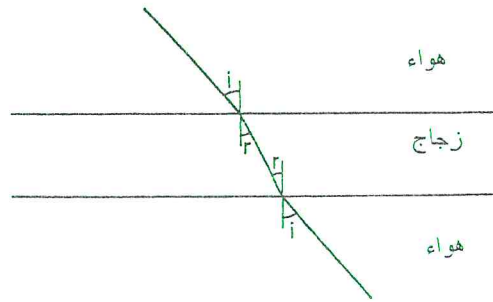
عندما يكون الوسط الأول هو الخلاء تكون n هي قرينة الانكسار المطلقة، أما إذا كان الهواء فتكون n هي قرينة الانكسار.
أما إذا كان السطح الفاصل يفصل بين وسطين مختلفين كثيفين بصرياً مثل الماء والزجاج فيمكن حساب قيمة n لذلك السطح الفاصل كما يلي:

$$n_{\text{water}}^{\text{glass}} = \frac{n_{\text{glass}}}{n_{\text{water}}}$$

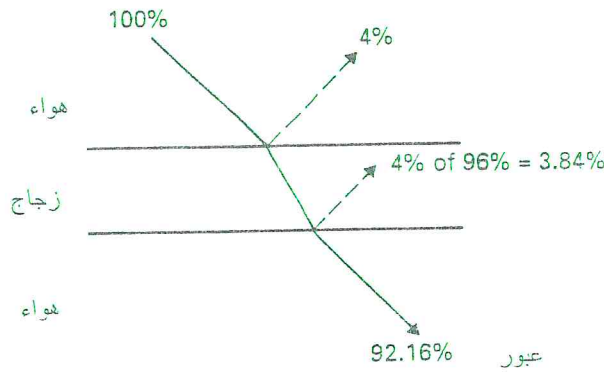
بشكل عام، عند المرور من الوسط ١ إلى الوسط ٢ فإن قرينة الانكسار تعطى بالمعادلة:

$$\ln 2 = \frac{n_2}{n_1}$$

ينحرف الضوء المار بشكل مائل عبر صفيحة زجاجية متوازية الوجهين (شكل ٣-٣) جانبياً بحيث يكون الشعاع الصادر موازياً للشعاع الوارد. وبالتالي فإن اتجاه الضوء لا يتبدل وإنما ينزاح جانبياً فقط.



شكل ٣-٣: انكسار الضوء عبر صفيحة زجاجية متوازية الوجهين.

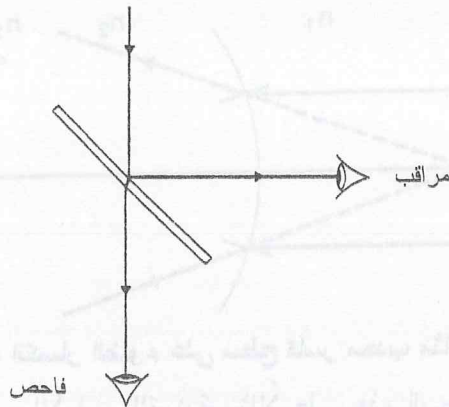


شكل ٣-٤: انعكاس الضوء ونفوذيته عبر الأوساط الشفافة.

يجب التذكر أن بعض الانعكاس يحدث على كل السطوح حتى لو كان معظم الضوء في هذه الحالة يتعرض للانكسار. فعلى سبيل المثال: إذا كانت قرينة انكسار عدسة أو زجاج نافذة في الهواء ١,٥ ينعكس ٤% من الضوء على السطح الأمامي لها بينما يمر الـ ٩٦% الباقي ليصل إلى السطح

الخلفي، وهناك ينعكس أيضاً ٤%، بالتالي فإن العدسة تمرر فقط ٩٢,١٦% من الضوء الوارد الطبيعي.

يبين الشكل (٣-٥) كيفية استعمال صفيحة من الزجاج لشطر الخيال. مثال مرآة التعليم في منظار قعر العين اللامباشر. تنكسر معظم الأشعة عبر الزجاج إلى عين الفاحص، لكن نسبة صغيرة من الضوء تنعكس على السطح الأمامي للزجاج وتسمح للمراقب برؤية نفس المشهد الذي يراه الفاحص.



شكل ٣-٥: صفيحة زجاجية متوازية الوجهين لشطر الخيال.

انكسار الضوء على السطح الفاصل المنحني

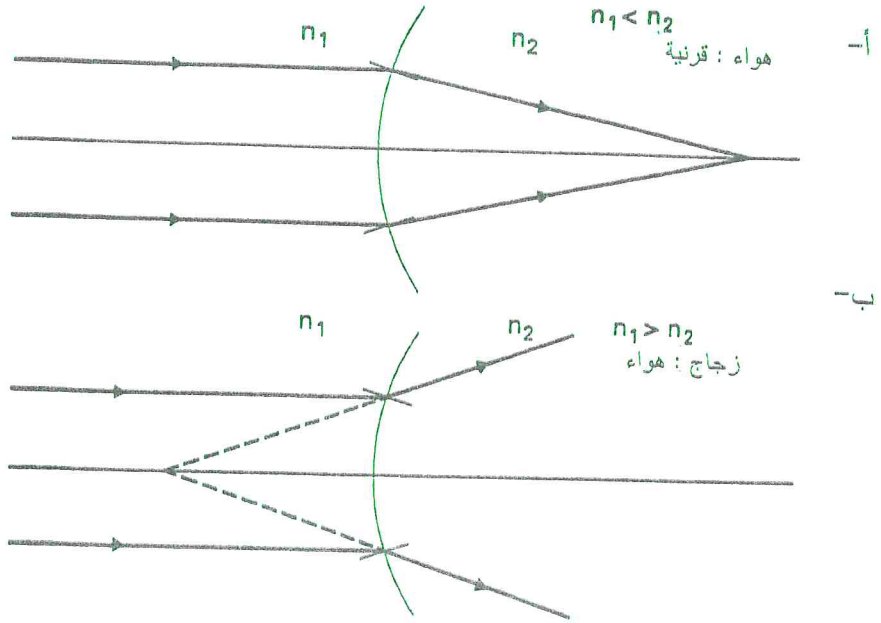
يخضع الضوء الذي يعبر سطحاً منحنياً يفصل بين وسطين مختلفين بقريئة الانكسار لقانون سنل. يسبب السطح المنحني الكروي المحدب تقارباً للضوء المتوازي إلى محرق إذا كانت n_2 أكبر من n_1 ، أو تباعداً (كما لو أنه صادر عن محرق) إذا كانت n_2 أقل من n_1 (شكل ٣-٦).

تعطى القوة الكاسرة أو قوة الجنوح لهذا السطح بالمعادلة:

$$\frac{n_2 - n_1}{r} = \text{القوة السطحية}$$

حيث r هو نصف قطر انحناء السطح مقدراً بالأمتار ووفقاً لاصطلاح الإشارة وتقدر قوة السطح بالكسيرات.

تكون قوة السطح موجبة في السطوح المقربة وسالبة في السطوح المبعدة.



شكل ٣-٦: انكسار الضوء على سطح كاسر محدب مثال: القرنية.

يشكل السطح الأمامي للقرنية مثالاً على هذه السطوح الكاسرة، وهو

مسؤول عن معظم القوة الكاسرة في العين.

تظهر الأجسام المتوضعة في وسط كثيف بصرياً منزاحة عند

النظر إليها من وسط أقل كثافة. ينتج ذلك عن انكسار الأشعة الصادرة التي

تظهر الآن قادمة من النقطة I، التي هي الخيال الوهمي للجسم O (شكل ٣-٧).

تظهر الأجسام في الماء أقل عمقاً مما هي عليه مثال: أصابع قدم

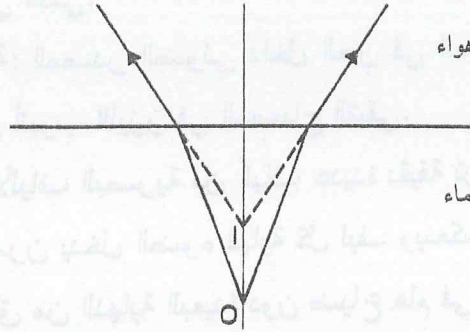
شخص ما في الحمام.

يختلف سلوك الأشعة التي تصدر من وسط كثيف إلى وسط أقل

كثافة اعتماداً على الزاوية التي تصل بها الأشعة للسطح الفاصل. يصل (أ)

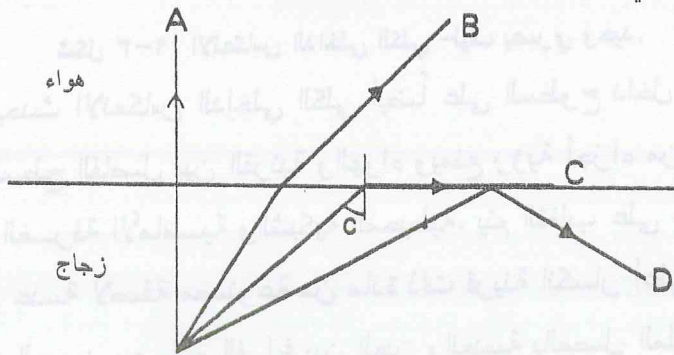
للسطح الفاصل بزاوية ٩٠° ويستمر دون انحراف. أما الشعاع (ب) فهو

يتعرض للانكسار. مع ازدياد ميلان الأشعة عند وصولها للسطح الفاصل، يتم الوصول لمرحلة حيث ينكسر الشعاع (ج) موازياً للسطح الفاصل. تدعى الزاوية C بالزاوية الحرجة Critical Angle .



شكل ٣-٧: العمق الحقيقي والظاهري .

إن الأشعة التي تصل للسطح الفاصل مائلة بشكل أكثر لا تتفد في الوسط الأكثر كثافة وتنعكس كما لو أنه كان مرآة. يدعى ذلك بالانعكاس الداخلي الكلي Total internal reflection .



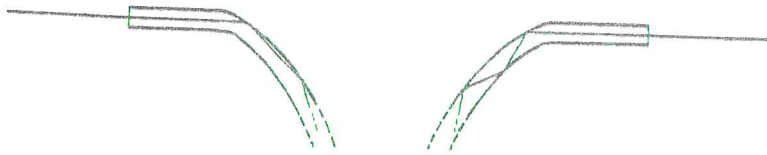
شكل ٣-٨: الانعكاس الداخلي الكلي.

تحدد الزاوية الحرجة بقرينتي انكسار الوسطين، ويمكن حسابها باستعمال قانون سنل. الزاوية الحرجة بالنسبة للسطح الفاصل بين طبقة الدمع والهواء ٨,٥°، وبالنسبة للسطح الفاصل بين الزجاج التاجي والهواء ٤١°.

يستعمل الانعكاس الداخلي الكلي في الأجهزة البصرية. تشكل المواشير عاكسات ممتازة بالانعكاس الداخلي الكلي. تعتمد الألياف البصرية، التي تستعمل لتوصيل الضوء من مصدر بعيد إلى المكان اللازم، أيضاً على الانعكاس الداخلي الكلي.

تتضمن الأمثلة: المصدر الضوئي داخل العين في العمليات الجراحية، نقل ضوء الليزر من أنبوب الليزر في المصباح الشقي.

تتألف الألياف البصرية من ألياف عديدة دقيقة ترتبط مع بعضها بغمد حماية خارجي مرن يدخل الضوء نهاية كل ليف وينعكس بالانعكاس الداخلي الكلي، حتى ينبثق من النهاية البعيدة دون ضياع هام في الطاقة المشعة (شكل ٣-٩). لا ينقص ثني الليف البصري من فعاليته.

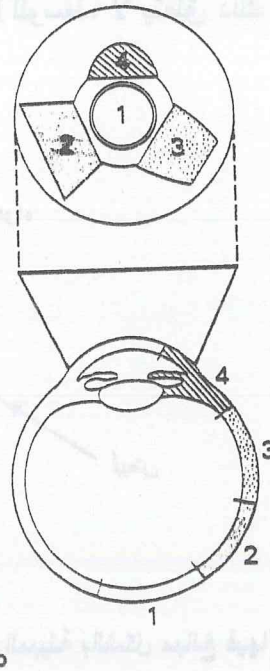
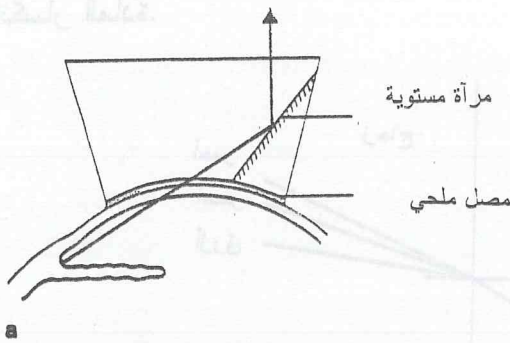


شكل ٣-٩: الانعكاس الداخلي الكلي - ليف بصري وحيد.

يحدث الانعكاس الداخلي الكلي أيضاً على السطوح داخل العين، ولا سيما السطح الفاصل بين القرنية والهواء ويمنع رؤية أجزاء من العين مثل زاوية الغرفة الأمامية والشبكية المحيطة. يتم التغلب على هذه المشكلة بوضع عدسة لاصقة مصنوعة من مادة ذات قرينة انكسار أعلى من قرينة انكسار العين مع ملء الفراغ بين العين والعدسة بالمصل الملحي أو مادة لزجة شفافة، وبالتالي إزالة السطح الكاسر الفاصل بين القرنية والهواء والسماح برؤية زاوية البيت الأمامي (تنظير الزاوية) والشبكية المحيطة (العدسة ثلاثية المرايا).



شكل ٣-١٠: الانعكاس الداخلي الكلي للضوء القادم من زاوية البيت الأمامي على سطح القرنية.



شكل ٣-١١: عدسة تنظير زاوية البيت الأمامي، ب-عدسة ثلاثية المرايا.

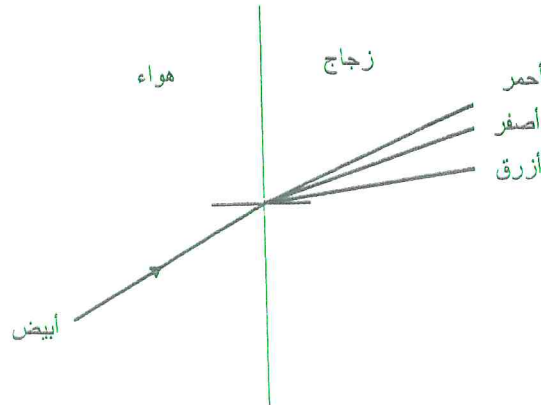
تشتت الضوء Dispersion of Light

لقد تجاهلت هذه المناقشة للانكسار، إلى حدٍ بعيد، حقيقة أن الضوء الأبيض مركب من عدة أطوال موجية. في الحقيقة تختلف قرينة انكسار الوسط بشكل خفيف باختلاف طول موجة الضوء.

ينحرف الضوء ذو طول الموجة الأقصر بدرجة أكبر من الضوء ذي طول الموجة الأطول.

مثال: ينحرف الضوء الأزرق بشدة أكثر من الأحمر. تؤخذ قرينة انكسار المادة نحو طول الموجة الوسطى عادةً، لذلك فهي تؤخذ نحو لهب الصوديوم الأصفر.

تدل الزاوية المتشكلة بين الضوء الأحمر والأزرق وحول الأصفر (شكل ٣-١٢) على القوة التشتيتية Dispersive power للوسط. لا يتعلق ذلك بقرينة انكسار المادة.

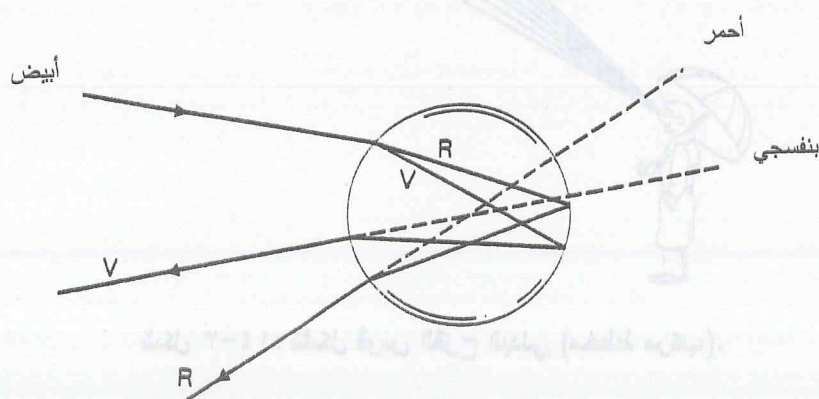


شكل ٣-١٢: مخطط يظهر تشتت الضوء (الزوايا المبينة بالشكل مبالغ فيها).

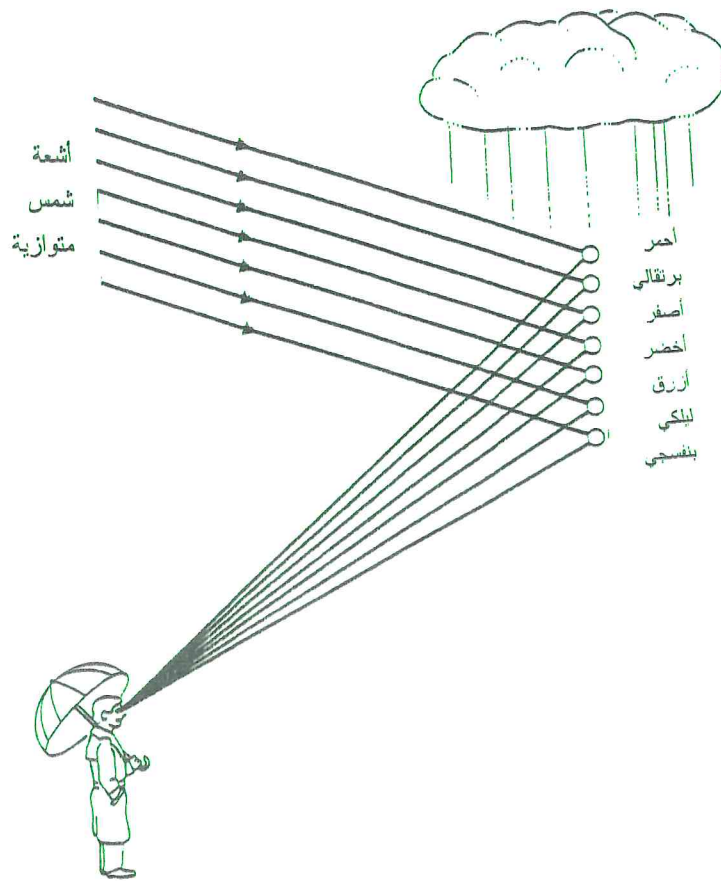
قوس القزح: انعكاس داخلي كلي وتشتت

عندما يدخل ضوء الشمس على قطرة مطر فإنه يتشتت إلى الألوان الطيفية المؤلفة له (شكل ٣-١٣). قد تكون زاوية الورود، ضمن ظروف معينة، مساوية للزاوية التي تسبب انعكاساً داخلياً كلياً داخل القطرة. ينبثق

الضوء المتشتت في النهاية، بحيث يشكل كل لون أو طول موجة زاوية مختلفة مع الأفق. لرؤية قوس القزح، يجب النظر بعيداً عن الشمس. يتلقى المراقب حزمة ضيقة فقط من الأشعة من كل قطرة، أي لون واحد فقط. ينتج قوس القزح الكامل عن الأشعة الآتية من تجمع من القطرات إلى عين المراقب بزاوية متزايدة (شكل ٣-١٤). يتم تلقي اللون البنفسجي، وهو اللون الذي يشكل الزاوية الأصغر مع الأفق، من القطرات السفلية، أما الأحمر، الذي يشكل الزاوية الأكبر مع الأفق، فيتم تلقيه من القطرات العلوية. وهكذا فإن الأحمر يقع في الجزء الخارجي من قوس القزح البدئي. يتشكل قوس القزح الثانوي من قبل الأشعة التي خضعت للانعكاس الداخلي الكلي مرتين ضمن قطرات المطر، وتشاهد الألوان بترتيب معكوس: البنفسجي في الجزء الخارجي من القوس.



شكل ٣-١٣: تشكل قوس القزح البدئي مسار الضوء ضمن قطرة مطر واحدة.



شكل ٣-١: تشكل قوس القزح البدئي (مخطط مركب).

الباب الثاني

الفصل الرابع : المواشير

الفصل الخامس : العدسات

الفصل السادس : العدسات الحرجية

الفصل السابع : الوصفات البصرية، عدسات النظارات

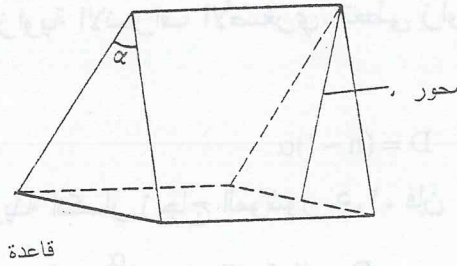
الفصل الرابع

المواشير Prisms

مقدمة

يعرف الموشور بأنه جزء من وسط كاسر محدد بسطحين مستويين يشكلان مع بعضهما زاوية محددة. تدعى الزاوية α بين السطحين بالزاوية الكاسرة أو زاوية ذروة الموشور (شكل ١-٤). يدعى الخط المنصف للزاوية بمحور الموشور.

يدعى الوجه المقابل بقاعدة الموشور. عند وصف المواشير، يتم تحديد التوجه بموقع القاعدة. مثال قاعدة للأسفل... الخ.



شكل ١-٤: موشور الزاوية الكاسرة (α).

يخضع الضوء المار عبر الموشور (شكل ٢-٤) لقانون سنل عند كل من سطحيه.

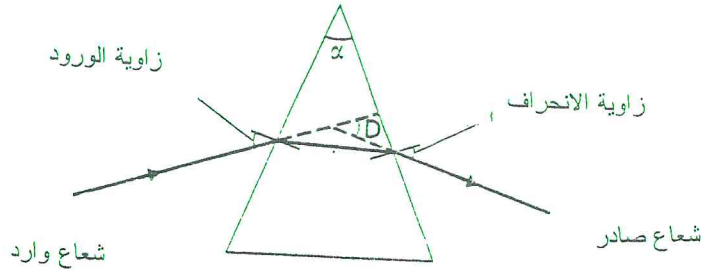
ينحرف الشعاع نحو قاعدة الموشور. يدعى التغير في اتجاه الشعاع الزاوية D ، بزاوية الانحراف.

إذا كان الموشور في الهواء فإن زاوية الانحراف تتحدد بالعوامل الثلاثة التالية:

١- قرينة انكسار مادة الموشور.

٢- الزاوية الكاسرة α للموشور.

٣- زاوية ورود الشعاع الضوئي.



شكل ٢-٤: مرور الضوء من خلال الموشور.

تكون زاوية الانحراف بالنسبة لأي موشور أصغرية عندما تتساوى زاوية الورد مع زاوية الصدور. يقال عن الانكسار -عندئذ- بأنه متناظر، وتدعى الزاوية بزاوية الانحراف الأصغري. تعطى زاوية في هذه الحالات بالمعادلة:

$$D = (n - 1)\alpha$$

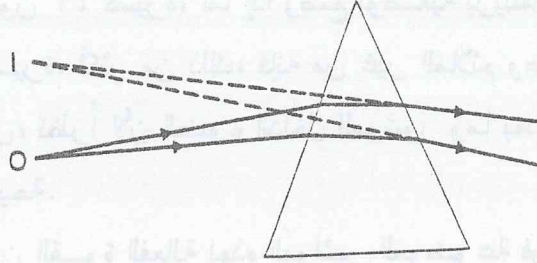
بالتالي إذا كانت قرينة انكسار زجاج الموشور ١,٥، فإن :

$$D = (1.5 - 1)\alpha = -\frac{\alpha}{2}$$

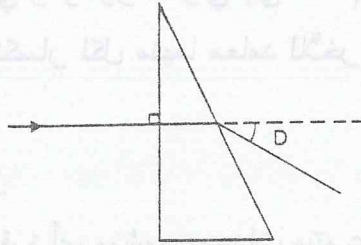
بعبارة أخرى، فإن زاوية الانحراف تعادل نصف الزاوية الكاسرة في الموشور الزجاجي. يكون الخيال المتشكل بواسطة الموشور صحيحاً وهمياً، ومنزاحاً نحو ذروة الموشور (شكل ٣-٤). يصبح الانحراف أصغرياً عندما يمر الضوء عبر الموشور بشكل متناظر.

توجد وضعيتان أوليتان يمكن من خلالهما تعيين قوة الموشور، هما: وضعية الانحراف الأصغري ووضعية برينتس Prentice. يكون أحد وجهي

الموشور في وضعية برينتس معامداً للشعاع الضوئي، وبالتالي فإن كل الانحراف يحدث على الوجه الآخر للموشور (شكل ٤-٤).



شكل ٤-٣: الخيال المتشكل بواسطة الموشور.



شكل ٤-٤: وضعية برينتس في الموشور.

يكون انحراف الضوء في وضعية برينتس أكبر من وضعية الانحراف الأصغري، لأن زاوية الورود لا تساوي زاوية الصدور في وضعية برينتس. بالتالي فإن قوة أي موشور بوضعية برينتس أكبر منها بوضعية الانحراف الأصغري.

تستعمل وضعية برينتس في المواشير العينية الزجاجية عادةً مثل المواشير في عدسات التجربة، بينما تستعمل وضعية الانحراف الأصغري في المواشير العينية البلاستيكية مثل عمود المواشير. إذا لم يستعمل موشور عالي القوة بالوضعية الصحيحة ينتج خطأ كبير. يمكن وضع المواشير البلاستيكية، في المستوى الجبهي، حيث أنه بذلك يكون قريباً كفاية لوضعية

الانحراف الأصغري، مما يسمح بتجنب عدم الدقة الكبيرة. فعلى سبيل المثال، إذا وضع موشور بلاستيكي قوته ٤٠ كسيرة في المستوى الجبهي، فإن قوته ستكون ٤١ كسيرة، أما إذا وضع بوضعية بريننس فإن قوته الفعالة تصبح ٧٢ كسيرة. أكثر من ذلك، فإنه من غير الملائم وضع المواشير فوق بعضها البعض، نظراً لأن الضوء الداخل للموشور وما بعده لن يكون بزاوية الورود الصحيحة.

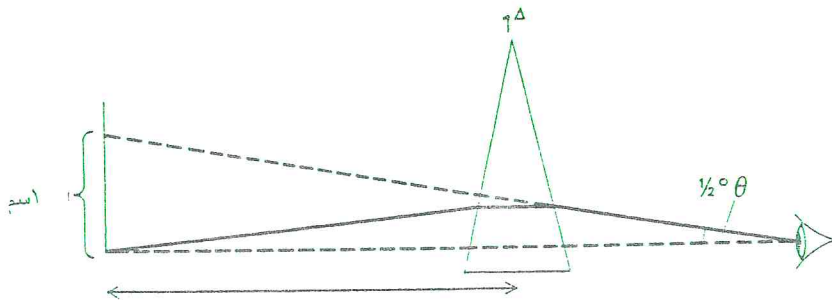
تكون القوة الفعالة لهذه المواشير الموضوعة فوق بعضها مختلفة بشكل عام عن محصلة قوة هذه المواشير إذا اعتبر كل منها لوحده. لكن يمكن وضع موشور أفقي وموشور شاقولي إلى الأمام من بعضهما الآخر، نظراً لأن مستوى الانكسار لكل منهما معامد للآخر وبالتالي مستقل عن الآخر.

ملاحظات حول المواشير

يمكن التعبير عن قوة أي موشور بوحدات متنوعة.

الكسيرة الموشورية (Δ)

يحدث الموشور البالغة قوته كسيرة موشورية واحدة (1Δ) انزياحاً خطياً ظاهرياً بمقدار ١ سم لجسم O/ متوضع على بعد ١ م (شكل ٤-٥).



شكل ٤-٥: الكسيرة الموشورية وزاوية الانحراف الظاهري (θ).

زاوية الانحراف الظاهري

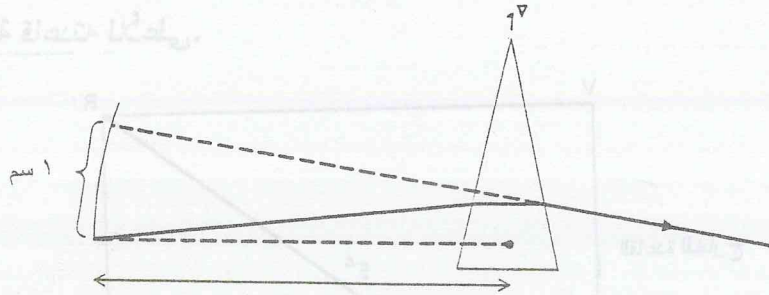
يمكن أيضاً قياس الانزياح الظاهري لجسم O بواسطة الزاوية θ والتي تدعى زاوية الانحراف الظاهري (شكل ٤-٥). بسبب الموشور الذي قوته كسيرة موشورية واحدة زاوية قدرها $1/2^\circ$ من الانحراف الظاهري في ظروف الاستعمال العيني. بالتالي فإن ١ كسيرة موشورية $= 1/2^\circ$.

السنتراد (centrad) (∇)

تختلف هذه الوحدة عن الكسيرة الموشورية فقط في أن انزياح الخيال يقياس على طول قوس على بعد ١ م من الموشور (شكل ٤-٦). يعطي السنتراد زاوية انحراف أعلى بشكل خفيف فقط من الكسيرة الموشورية، لكن الفرق مهم في الممارسة.

الزاوية الكاسرة

يمكن وصف الموشور أيضاً بزاويته الكاسرة (شكل ٤-١). ولكن لا يمكن معرفة قوة الموشور ما لم تكن قرينة انكسار مادة الموشور معروفة.



شكل ٤-٦: السنتراد (∇).

موجز الوحدات الموشورية

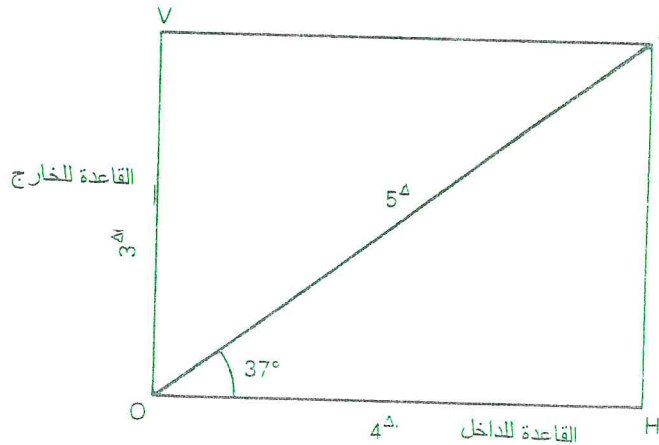
الموشور الزجاجي ذو الزاوية الكاسرة 10° يحرف الضوء بمقدار 5° ، وتبلغ قوته ١٠ كسيرات موشورية، على فرض أن قرينة انكساره ١,٥.

جمع القوة الموجهة للمواشير

يحتاج المريض في بعض الأحيان تصحيحاً موشورياً في كل من الاتجاه الأفقي والشافولي. يمكن تحقيق ذلك بشكل ملائم باستعمال موشور أقوى بزاوية مائلة، يمكن حساب القوة اللازمة والزاوية بجمع القوة الموجهة إما تخطيطياً أو رياضياً (شكل ٧-٤).

تخطيطياً، يتم رسم القوة الأفقية والشافولية على مقياس، ويتم إكمال المستطيل (شكل ٧-٤). يعطي القطر القوة والزاوية ROH اللازمة للموشور المكافئ الوحيد. يجب تحديد الاتجاه وفقاً للزاوية، قاعدة للأعلى/ للأسفل، قاعدة للداخل/ للخارج. يمكن حساب القوة القطرية رياضياً باستعمال نظرية فيثاغورث (مربع طول الوتر يساوي مجموع مربعي الطول الأفقي والشافولي) وظل $RH/OH=ROH$.

وهكذا، فإن الشكل (٧-٤) يظهر أن موشور قوته ٥ كسيرات موشورية، قاعدته للأعلى والداخل، ويتوضع على المحور ٣٧ يكافئ موشور قوته ٤ كسيرات موشورية قاعدته للداخل مع موشور قوته ٣ كسيرات موشورية قاعدته للأعلى.



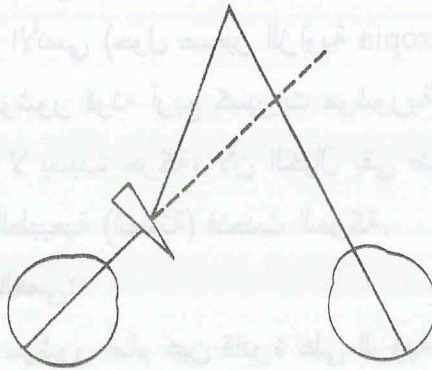
شكل ٧-٤: جمع القوة الموجهة للمواشير.

موشور رايسلي Risley Prism

إن موشور رايسلي هو تطبيق آخر لهذا المبدأ. يتألف من موشورين متساويي القوة، يتوضع إحداهما إلى الأمام والآخر بطريقة تسمح بتدويرهما حول بعضهما، وتظهر القوة الناتجة على مقياس على حافة الجهاز. يمكن استعمال موشور رايسلي بالاشتراك مع قضيب مادوكس لقياس الشطور، كما أنه يستعمل موشور رايسلي بالاشتراك مع قضيب مادوكس لقياس الشطور، كما أنه يستعمل من قبل العديد من مصوبي البصر في رأس مقياس الانكسار (بدلاً عن علبة العدسات التجريبية).

ترجمة تقارير تصويب البصر

إن تسليحنا بمعرفة أن كل كسيرة موشورية تساوي نصف درجة يجعل تقارير تصويب البصر سهلة القراءة والفهم. يقيس مصوب البصر زاوية الحول بطريقتين. يتم قياس الزاوية بين المحورين البصريين للعينين بالدرجات باستعمال الـ Synoptophore، مع العلم إن إشارة + تستعمل للحول الأنسي وإشارة - للحول الوحشي.



الشكل ٤-٨: استعمال الموشور في الحول.

كما يمكن قياس زاوية الحول باختبار التغطية الموشورية (PCT).
يجرى اختبار التغطية المتناوبة بوضع مواشير متزايدة القوة أمام العين حتى
تزال كل حركة من العين (شكل ٤-٨). يعبر عن النتيجة بالكسرات
الموشورية ، ويستعمل الاختصار eso للحول الأنسي و exo للحول
الوحشي.

استعمال المواشير

المواشير التشخيصية

١- تقييم الحول والشطور:

- أ- قياس الزاوية موضوعياً باختبار التغطية الموشورية.
 - ب- قياس الزاوية شخصياً باستعمال قضيب مادوكس.
 - ج- لتقييم إمكانية حدوث الشفع بعد جراحة الحول عند البالغين.
 - د- قياس احتياطي الدمج. يتم وضع مواشير متزايدة القوة أمام العين حتى
ينقطع الدمج. هذا الأمر مفيد جداً في تقييم وجود رؤية مشتركة عند الأطفال
بعمر أقل من سنتين.
 - هـ- اختبار الأربع كسرات موشورية. هذا الاختبار حساس للدرجات
الصغيرة من الحول الأنسي (حول صغير الزاوية microtropia).
 - إن وضع موشور قوته أربع كسرات موشورية قاعدته للخارج أمام
العين المنحرفة لا يسبب حركة، لأن الخيال بقي ضمن عتمة الكبح. أما
بوضعه أمام العين الطبيعية (المثبتة) فتحدث الحركة.
- #### ٢- تقييم الادعاء بالعمى:
- إذا وضع موشور أمام عين قادرة على الرؤية، فإن العين ستتحرك
لاستعادة الحركة.

أشكال المواشير المستعملة في التشخيص

تتضمن أشكال المواشير المستعملة في التقييم: المواشير المفردة غير المثبتة، المواشير في مجموعة عدسات التجربة، أعمدة المواشير. تتركب هذه الأعمدة الموشورية من مواشير متجاوزة ذات قوة متزايدة.

المواشير العلاجية :

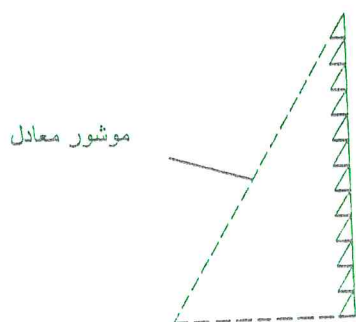
١- عدم كفاية التقارب، الاستعمال العلاجي الأشيع للمواشير في قسم تصويب البصر هو في تطوير احتياطي الدمج عند المرضى المصابين بعدم كفاية التقارب. تستعمل المواشير ذات القاعدة للخارج في أوقات تمارين المريض. أي لا تلبس بشكل مستمر.

٢- إزالة الشفع في حالات معينة من الحول، تتضمن هذه الحالات: انكسار معاوضة الشطور، الحول الشاقولي الصغير، بعض حالات الشلل الشاقولي مع الشفع في الوضعية البدئية. تستعمل المواشير عند هؤلاء المرضى الذين لا تستحب الجراحة لديهم.

أشكال المواشير العلاجية:

١- الاستعمال المؤقت: تتضمن المواشير المستعملة في المعالجة تلك التي تثبت على النظارات للاستعمال التجريبي. من الأشكال المحسنة في هذه المواشير: مواشير فريزنيل Fresnel Prisms المتوفرة بكل القوى للاستعمال السريري. يتألف موشور فريزنيل من صفيحة بلاستيكية من المواشير الدقيقة المتوازية ذات الزوايا الكاسرة المتساوية (شكل ٤-٩). يساوي التأثير الموشوري الكلي ذلك الخاص بموشور وحيد كبير. هذه الصفيحة أخف وزناً من الموشور الزجاجي ويمكن لصقها على نظارات المريض.

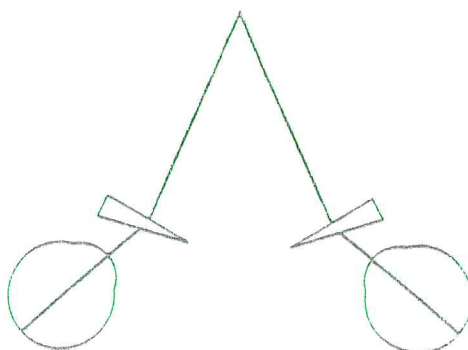
٢- الاستعمال الدائم: يمكن تحقيق الدمج الدائم للموشور في نظارات المريض بإزاحة العدسة الكروية الموجودة عن المركز. أو يمكن تثبيت الموشور على النظارات بدلاً من ذلك.



شكل ٤-٩: موشور فريزنيل.

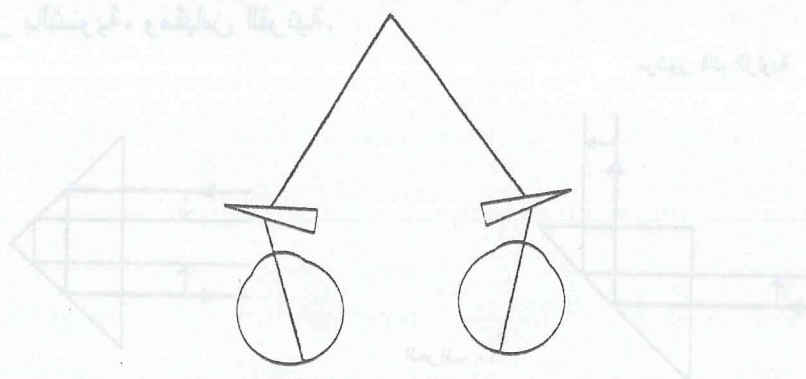
ملاحظات على وصف المواشير

حين وصف المواشير، بشكل عام، يتم تقسيم مقدار التصحيح بين العينين (شكل ٤-١٠). يجب أن تكون قاعدة الموشور للخارج لتصحيح التقارب. مثال: موشور قوته 8Δ لكل من العينين قاعدته للخارج (شكل ٤-١٠). بينما يجب أن تكون قاعدة الموشور للداخل من أجل تصحيح التباعد.



شكل ٤-١٠: تقارب مع تصحيح موشوري.

مثال: موشور قوته 6Δ لكل من العينين قاعدته للداخل (شكل ١١-٤). أما لتصحيح الانحراف الشاقولي فإن اتجاه الموشورين يكون متعاكساً في العينين. مثال: موشور 2Δ قاعدته للأسفل في العين اليمنى وموشور 2Δ قاعدته للأعلى في العين اليسرى من أجل تصحيح الحول العلوي الأيمن. يجب وضع ذروة الموشور دائماً باتجاه العين المنحرفة (شكل ١٢-٤).

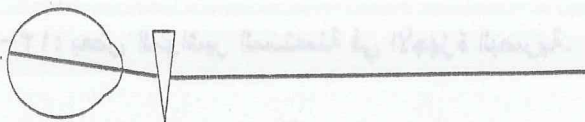


شكل ١١-٤: تباعد مع تصحيح موشوري .

عين مرتفعة



عين منخفضة

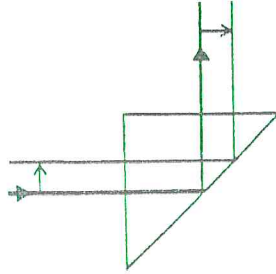


شكل ١٢-٤: انحراف شاقولي مع تصحيح موشوري .

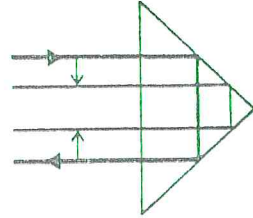
المواشير في الأجهزة البصرية

تستعمل المواشير بشكل شائع في الأجهزة العينية كعاكسات للضوء. يتم تصميم الموشور ووضعه بحيث يحدث الانعكاس الداخلي الكلي داخله. من الواضح أن المواشير تقدم مرونة في التعامل مع الخيال أكبر مما تقدمه المرايا. يوجد العديد من الأجهزة المتوفرة (شكل ٤-١٣). تتضمن الأجهزة التي تستعمل فيها المواشير المصباح الشقي، مقياس التوتر بالتسوية، ومقياس القرنية.

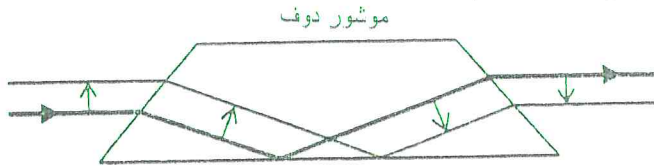
موشور قائم الزاوية



انحراف ٩٠°



انحراف ١٨٠°، الخيال مقلوب ولكنه غير منقول من الأيسر إلى الأيمن



موشور دوف

لا يحدث انحراف، الخيال مقلوب ولكنه غير منقول جانبياً

شكل ٤-١٣: بعض المواشير المستعملة في الأجهزة البصرية.

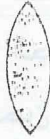
الفصل الخامس

العدسات الكروية

مقدمة

تعرف العدسة على أنها جزء من وسط كاسر محدود بين سطحين منحنيين لهما محور مشترك. عندما يشكل كل سطح جزءاً من كرة، فإن العدسة تدعى بالعدسة الكروية. توجد أشكال عديدة من العدسات الكروية (شكل ١-٥)، ولبعضها سطح مستوي واحد.

أ- عدسات محدبة



I عدسة محدبة الوجهين

ب- عدسات مقعرة



I عدسة مقعرة الوجهين



II عدسة محدبة مستوية



II عدسة مقعرة مستوية



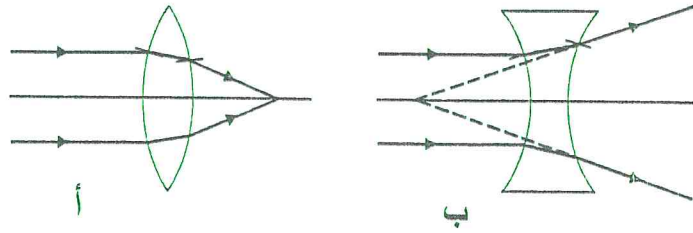
III هلال محدب



III هلال مقعر

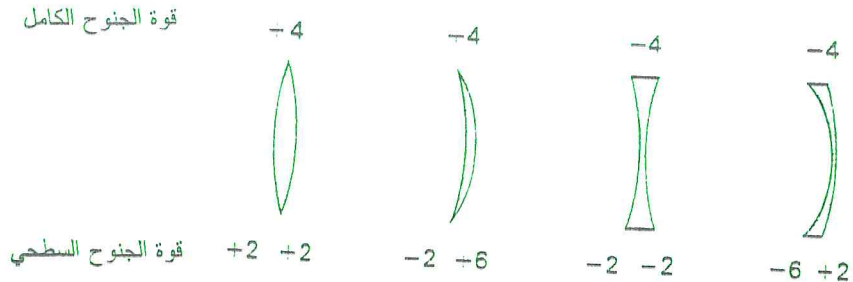
شكل ١-٥: الأشكال الأساسية للعدسات الكروية.

هذا الشكل مقبول لأن السطح المستوي يمكن أن يعتبر جزءاً من كرة نصف قطرها ما لانهاية. تسبب العدسة المحدبة تقارباً في الضوء الوارد، بينما تسبب العدسة المقعرة تباعداً في الضوء الوارد (شكل ٥-٢).



شكل ٥-٢: يخضع الضوء المار عبر العدسة لقانون سنل عند كل من السطحين:
أ- عدسة محدبة. ب- عدسة مقعرة.

تعتمد قوة الجنوح الكالية للعدسة الكروية على قوة الجنوح الخاصة بكل من السطحين (شكل ٥-٣)، وعلى سماكة العدسة. معظم العدسات المستخدمة في طب العيون عدسات رقيقة.

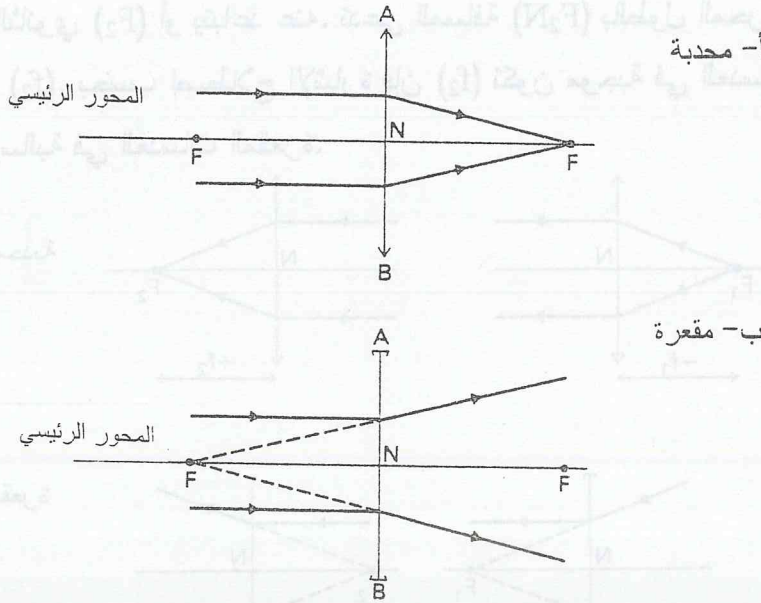


شكل ٥-٣: قوة الجنوح في العدسات الرقيقة الكروية.

وفي العدسات الرقيقة يمكن تجاهل عامل الشخانة، وهكذا فإن القوة الكالية للعدسة الرقيقة هي محصلة قوتي السطحين. يمكن اعتبار الانكسار على أنه يحدث عند المستوي الرئيسي للعدسة، وفي المخططات التالية لا

يظهر سوى المستوى الرئيسي. الانكسار في العدسات النخينة أكثر تعقيداً، وسوف نتعامل مع نظرية العدسات النخينة في الفصل التاسع، نظراً لأنها متعلقة أكثر بدراسة الآلية الانكسارية في العين.

يظهر المستوى الرئيسي للعدسة AB في الشكل (٥-٤ أ-ب). (لاحظ أنه في مخطط الأشعة تظهر الطبيعة المحدبة أو المقعرة للعدسة برمز ملائم عند نهايتي الخط الذي يدل على المستوى الرئيسي). تدعى النقطة التي يتقاطع بها المستوى الرئيسي مع المحور الرئيسي بالنقطة الرئيسية أو العقدة للعدسة /N/. تمر الأشعة عبر النقطة العقدية دون انحراف.



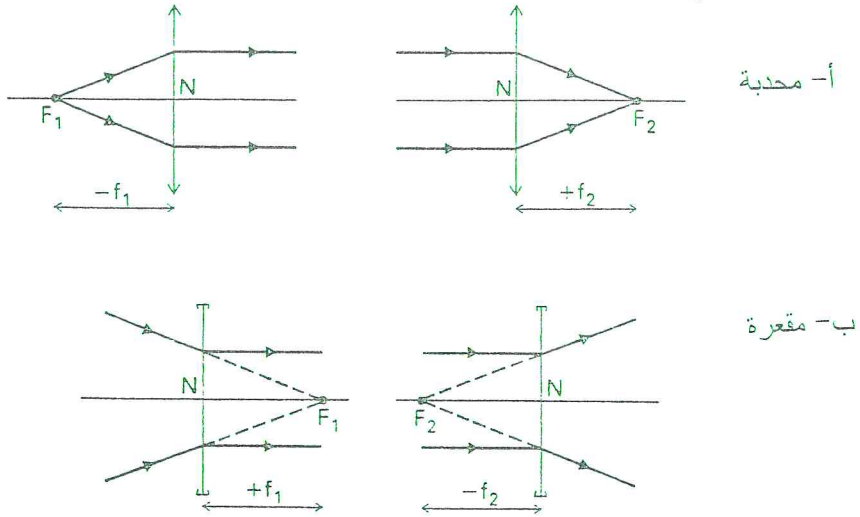
شكل ٥-٤: النقاط الأساسية في العدسات الكروية الرقيقة: أ- محدبة ب- مقعرة.

يتقارب الضوء الموازي للمحور الرئيسي نحو النقطة F (المحرق الرئيسي) أو يتباعد عنها (شكل ٥-٥). ونظراً لأن الوسطين على جانبي العدسة متماثلان (الهواء)، فإن الأشعة المتوازية الواردة على العدسة من الجانب المقابل، أي من اليمين في الشكل (٥-٤) ستتكسر بنفس الطريقة.

بالتالي يوجد محرق رئيسي في كل من جانبي العدسة، وعلى نفس البعد عن النقطة العقدية. يتم تمييز المحرقين الرئيسيين عن بعضهما اصطلاحاً، وفقاً للقوانين التالية. (يجب التذكر بأن الضوء يأتي دائماً من اليسار لليمين في المخططات البصرية).

المحرق الرئيسي الأولي (F_1) هو مصدر الأشعة التي تصبح موازية للمحور الرئيسي بعد انكسارها بالعدسة. تدعى المسافة (F_1N) بالطول المحراقي (f_1).

يتقارب الضوء الوارد الموازي للمحور الرئيسي نحو المحرق الرئيسي الثانوي (F_2) أو يتباعد عنه. تدعى المسافة (F_2N) بالطول المحراقي الثانوي (f_2). بحسب اصطلاح الإشارة فإن (f_2) تكون موجبة في العدسات المحدبة وسالبة في العدسات المقعرة.



شكل ٥-٥: المحرقان الرئيسيان في العدسات الكروية الرقيقة.

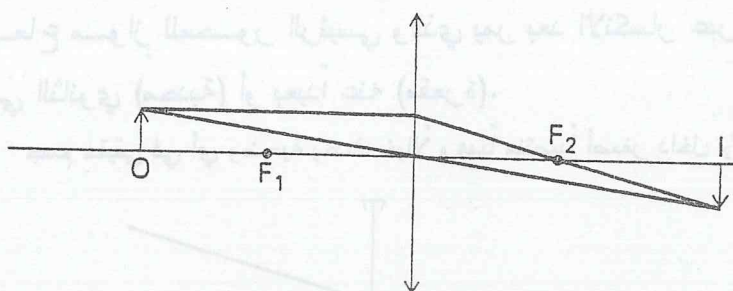
يتم وصف العدسات وفقاً لطولها المحراقي الثانوي، وهكذا فإن العدسة المحدبة أو المقربة تدعى أحياناً بالعدسة الموجبة، ويرمز لها بإشارة $+/$ ، بينما تعرف العدسة المقعرة أو المبعدة بالعدسة السالبة، ويرمز لها بإشارة $-/$.

إذا كان الوسطان على جانبي العدسة متشابهين، مثال: الهواء، فإن $(f_2=f_1)$.
 أما إذا كان الوسط الثاني مختلفاً عن الوسط الأول، مثال: العدسات اللاصقة،
 فإن f_1 لا تساوي f_2 .

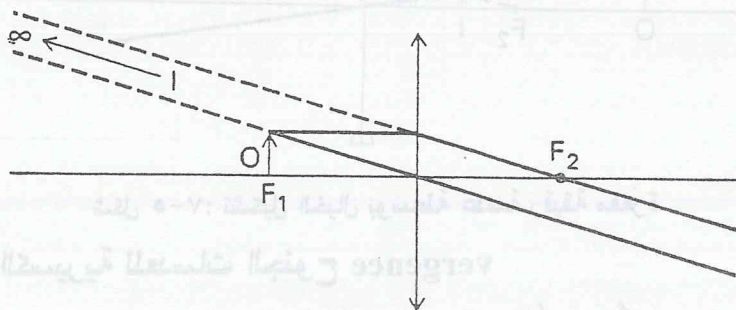
معادلة العدسات الرقيقة

كما هو الحال في المرايا الكروية، فإن موقع وطبيعة الخيال المتشكل بوساطة
 العدسات الكروية يعتمد على موقع الجسم. وتطبق على ذلك معادلة مشابهة:

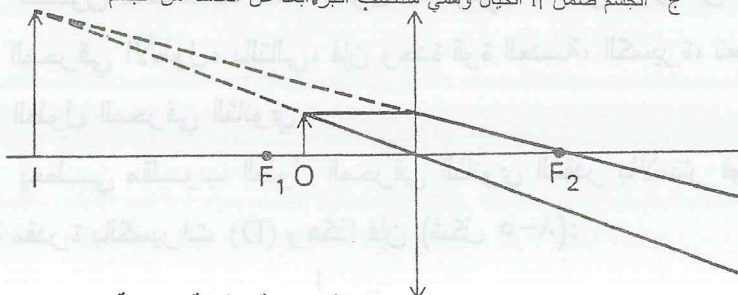
أ- الجسم خارج f_1 الخيال حقيقي، مقلوب، خارج f_2



ب- الجسم في f_1 الخيال وهمي منتصب في اللانهاية



ج- الجسم ضمن f_1 الخيال وهمي منتصب أكبر، أبعد عن العدسة من الجسم



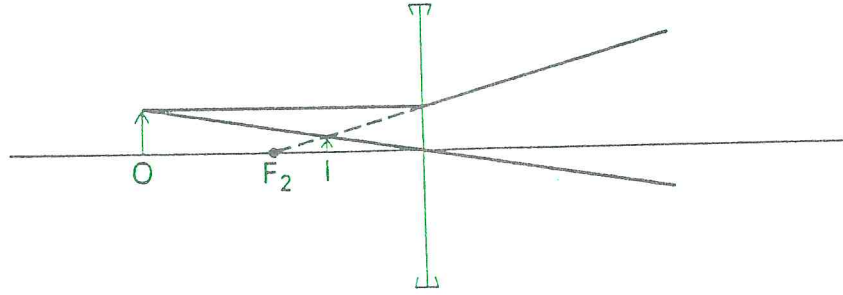
شكل ٥-٦: تشكيل الخيال بوساطة عدسة رقيقة محدبة.

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{U} = \frac{1}{f_2}$$

حيث V هو بعد الخيال عن النقطة الرئيسية، U هو بعد الجسم عن النقطة الرئيسية، f_2 هو الطول المحرقي الثانوي.

يمكن تشكيل خيال الجسم الواقع في أي مكان باستعمال شعاعين (شكل ٥-٦، ٥-٧):

- ١- شعاع من ذروة الجسم يمر عبر النقطة الرئيسية من دون انحراف.
 - ٢- شعاع مواز للمحور الرئيسي والذي يمر بعد الانكسار عبر المحرق الرئيسي الثانوي (محدبة) أو بعيداً عنه (مقعرة).
- جسم حقيقي في أي وضعية يحدث خيلاً وهمياً منتصباً أصغر داخل f_2 .



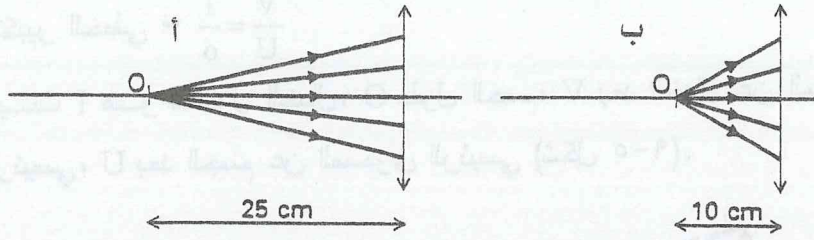
شكل ٥-٧: تشكيل الخيال بواسطة عدسة رقيقة مقعرة.

القوة الكسيرية للعدسات الجنوح vergence

تكون العدسات ذات الطول المحرقي الأقصر أقوى من تلك ذات الطول المحرقي الأطول، بالتالي، فإن وحدة قوة العدسة، الكسيرة، تعتمد على مقلوب الطول المحرقي الثانوي.

يعطي مقلوب الطول المحرقي الثانوي المقدر بالأمتار قوة جنوح العدسة مقدرة بالكسيرات (D) وهكذا فإن (شكل ٥-٨):

$$F = \frac{1}{f_2}$$



شكل ٥-٨: جنوح الأشعة: أ- الجنوح عند العدسة = $0,25/1$ كسيرات

ب- الجنوح عند العدسة = $0,1/1$ كسيرات .

حيث (F) هي قوة جنوح العدسة بالكسيرات و f_2 هو الطول المحرقى الثانوي بالأمطار.

إن قوة العدسة المقربة ذات الطول المحرقى الثانوي +٥ سم هي +١ / $0,05$ أو +٢٠ كسيرة.

كذلك فإن قوة العدسة المقعرة ذات الطول المحرقى الثانوي -٢٥ سم هي: -١ / $0,25$ أو -٤ كسيرات.

من الممكن التفكير بالعبارات الأخرى في معادلة العدسة بطريقة مشابهة. يعطي مقلوب بعدي الجسم والخيال بالأمطار القيمة الكسيرية التي هي مقدار جنوح الأشعة بين الجسم أو الخيال والعدسة. بعبارة أخرى، إنها قياس لدرجة التقارب أو التباعد في الأشعة. إن مفهوم الجنوح مهم جداً لفهم البصريات الخاصة بالمطابقة وقصو البصر.

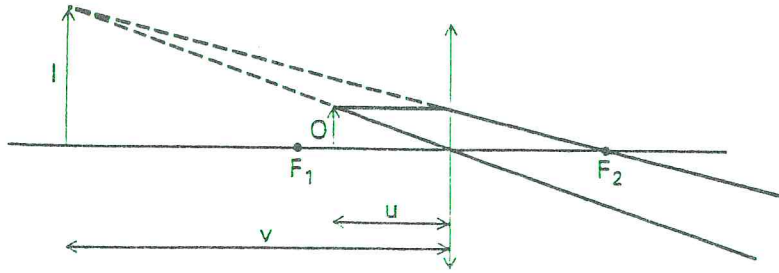
معادلات التكبير

التكبير الخطي

يمكن حساب التكبير الخطي المحدث بالعدسات الكروية بواسطة المعادلة الأساسية:

$$\frac{V}{U} = \frac{I}{O} = \text{التكبير الخطي}$$

حيث I هو طول الخيال، O طول الجسم، V بعد الخيال عن المستوى الرئيسي، U بعد الجسم عن المستوى الرئيسي (شكل ٩-٥).

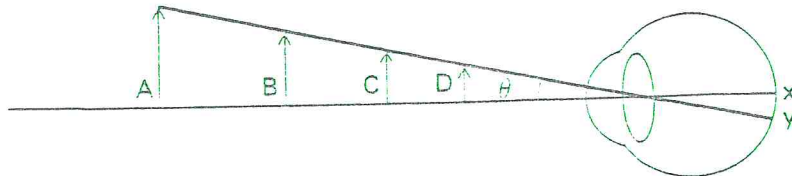


شكل ٩-٥: التكبير الخطي. عدسة محدبة. الجسم ضمن الطول المحرق.

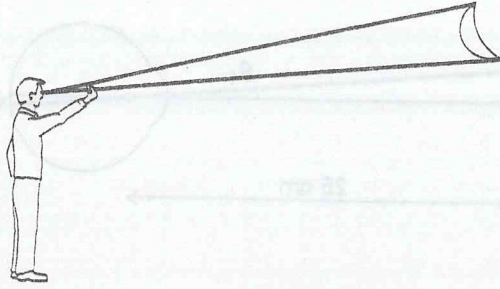
التكبير الزاوي

إن الطول الفعلي للجسم والخيال، في الممارسة العينية، أقل أهمية من الزاوية التي يقابلها بها العين، لأن هذه الزاوية هي التي تتحكم بحجم الخيال الشبكي.

يظهر الخيال الشبكي XY . بالتالي فإن لها جميعاً طولاً ظاهرياً واحداً. يعطى الطول الظاهري بنسبة طول الجسم (أو الخيال) مقسوماً على بعده عن العين، والذي هو بالطبع ظل الزاوية θ . في حالة العين تكون هذه الزوايا صغيرة وفي حالة الزوايا الصغيرة يمكن اعتبار أن ظل θ مساوٍ للزاوية θ بحد ذاتها.



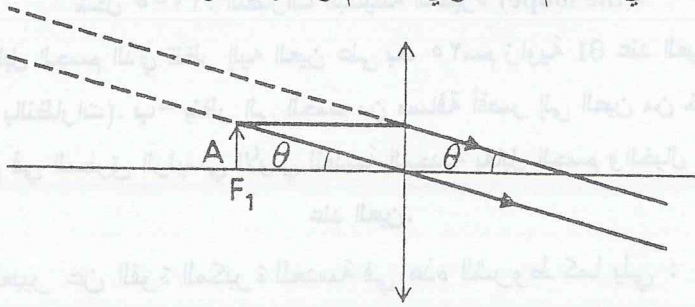
شكل ١٠-٥: أ- الطول الظاهري: الزاوية الإبصارية.



شكل ١٠-٥: ب- الطول الظاهري: الزاوية الإبصارية موضحة في الشكل.

قطعة نقود يمسكها الشخص على طول ذراعه تخفي منظر القمر.

يسمح مفهوم الطول الظاهري بتحديد طول محدد لخيال في اللانهاية، مثل ذلك المتشكل بعدسة محدبة عندما يتوضع الجسم في المحرق الرئيسي الأولي. يقابل الجسم وخياله اللانهائي نفس الزاوية θ عند العدسة (شكل ١١-٥)، وأيضاً عند العين إذا ما اقتربت كثيراً من العدسة. بالتالي فإن التكبير الزاوي ثابت أي الحجم الظاهري للجسم والخيال هو نفسه.

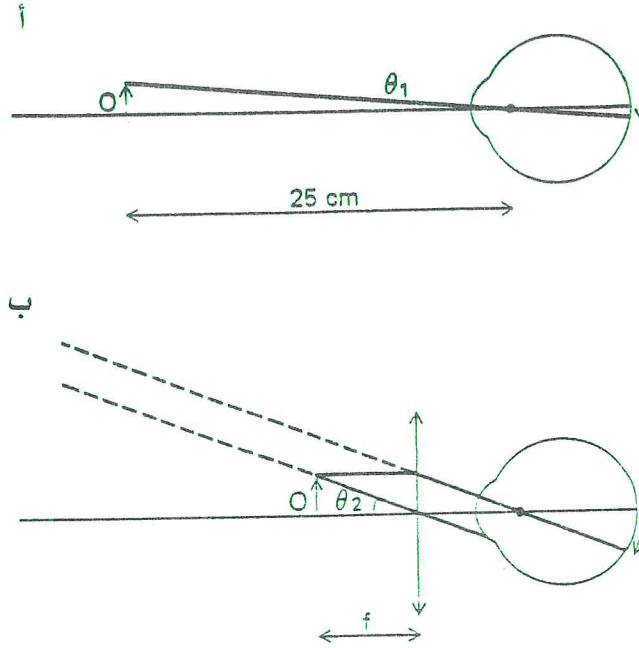


شكل ١١-٥: تشكل الخيال بعدسة محدبة والجسم في المحرق الرئيسي الأولي:

النظارات المكبرة.

النظارات البسيطة المكبرة The Loupe

إن استعمال العدسات المحدبة يمكن العين من رؤية الجسم على مسافة قصيرة جداً ومن الحصول على خيال مميز واضح. مع اقتراب الجسم من العين تزداد الزاوية التي يقابل بها العين ويزداد حجم الخيال الشبكي.



شكل ٥-١٢: النظارات البسيطة المكبرة (the loupe).

أ- يقابل الجسم الذي تنظر إليه العين على بعد ٢٥ سم زاوية θ_1 عند العين (دون مساعدة بالنظارات). ب- ينظر إلى الجسم من مسافة أقصر إلى العين من خلال عدسة والجسم في المحرق الرئيسي الأولي للعدسة المحدبة يقابل الجسم والخيال زاوية θ_2 عند العين.

يمكن التعبير عن القوة المكبرة للعدسة في هذه الشروط كما يلي :

الحجم الظاهري للخيال

القوة المكبرة = $\frac{\text{الحجم الظاهري للجسم}}{\text{الحجم الظاهري للخيال}}$ على بعد ٢٥ سم من العين

بشكل آخر :

$$\text{لكن } \frac{(\text{طل } \theta_2) \tan \theta_2}{(\text{طل } \theta_1) \tan \theta_1} = M \text{ القوة المكبرة}$$

$$\tan \theta_2 = \frac{O}{f}, \tan \theta_1 = \frac{O}{25}$$

$$\frac{25}{f} = M = \frac{O}{f} \times \frac{25}{O} \quad \text{وهكذا:}$$

لكن ٢٥ سم $1/4 = M$ و $F = 1/f$ كسيرة (حيث F هي قوة العدسة بالكسيرات)

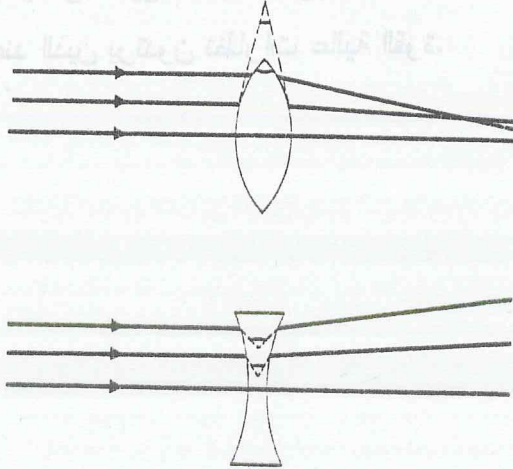
$$M = \frac{F}{4} \quad \text{بالتالي:}$$

وهكذا فإن المكبرة $\times 8$ شائعة الاستعمال فيها عدسة قوتها ٣٢ كسيرة.

إزالة تمرکز العدسة الكروية والقوة الموشورية

تنحرف الأشعة الضوئية الواردة على العدسة خارج منطقتها المحورية نحو المحور (عدسة محدبة) أو بعيداً عنه (عدسة مقعرة) بالتالي فإن المنطقة المحيطية في العدسة تعمل كموشور.

تصبح الزاوية الكاسرة بين سطحي العدسة أكبر كلما اقتربنا من حافة العدسة (شكل ٥-١٣) وهكذا، فإن التأثير الموشوري يزداد باتجاه محيط العدسة.



شكل ٥-١٣: الانحراف الموشوري من قبل العدسات الكروية.

يدعى استعمال قسم غير مركزي من العدسة للحصول على تأثير موشوري بإزالة تمركز العدسة. كثيراً ما تستعمل إزالة تمركز العدسات في النظارات التي يكون إدخال موشور بها ضرورياً. من ناحية أخرى، فإن عدم تمركز العدسات، ولاسيما العدسات عالية القوة، قد يؤدي لتأثير موشوري غير مرغوب. هذا الأمر من الأسباب الشائعة لعدم تحمل النظارات، ولاسيما عند مرضى اللابورة والحسر العالي.

بالتالي فإنه من الأهمية بمكان التنبؤ بالقوة الموشورية الناتجة عن عدم تمركز العدسة الكروية. يعطى ذلك بالمعادلة:

$$P = F \times D$$

حيث P هي القوة الموشورية بالكسيرة الموشورية، F قوة العدسة بالكسيرة، D هو عدم التمرکز بالسنتيمتر.

إن زيادة القوة الموشورية في الأقسام المحيطية من العدسة الكروية هي السبب الكامن للزوغان الكروي. أكثر من ذلك فإنه يسبب تأثير العتمة الحلقية المزعجة وتأثير علبة العفريت Jack-in-the-box الذي يسبب صعوبة كبيرة عند الذين يرتدون نظارات عالية القوة.

الفصل السادس

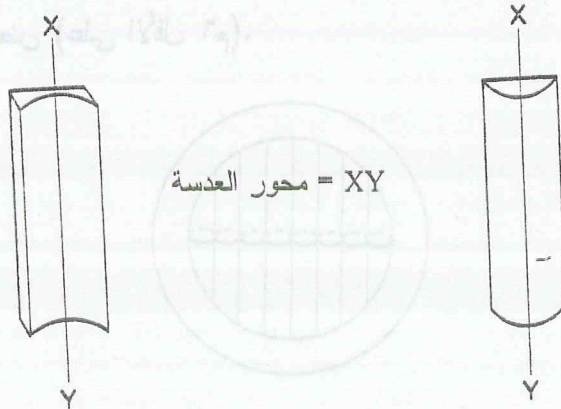
العدسات الحرجية Astigmatic Lenses

مقدمة

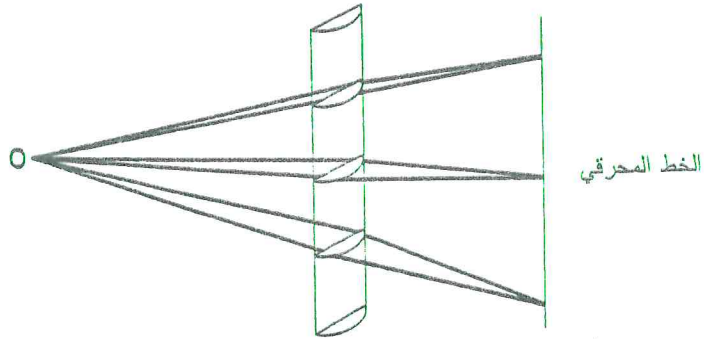
إن لكل الأقطار في سطحي العدسة الكروية الانحناء نفسه (لأنها جزء من كرة)، كما أن الانكسار متناظر حول المحور الرئيسي. أما في العدسة الحرجية فليس لكل الأقطار الانحناء نفسه، ولا يمكن الحصول على خيال نقطي لجسم نقطي. يوجد نمطان من العدسات الحرجية هما: العدسات الاسطوانية والحيدية.

العدسات الاسطوانية cylindrical lenses

يكون أحد سطحي هذه العدسات مستوٍ، والسطح الآخر يشكل جزءاً من اسطوانة (شكل ٦-١). بالتالي ليس للعدسة قوة جنوح في أحد المحاور، وهذا ما يدعى بمحور الاسطوانة. تعمل العدسة الأسطوانية كعدسة كروية في المحور المعامد لهذا المحور. التأثير الكلي هو تشكيل خيال خطي لجسم نقطي. يدعى ذلك بالمحرق الخطي وهو مواز لمحور الاسطوانة (شكل ٦-٢).



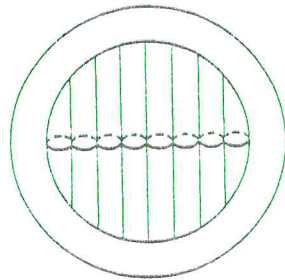
شكل ٦-١: عدسة اسطوانية.



شكل ٦-٣: تشكّل خيال جسم نقطي O بواسطة عدسة اسطوانية محدبة.

قضيبي مادوكس Maddox rod

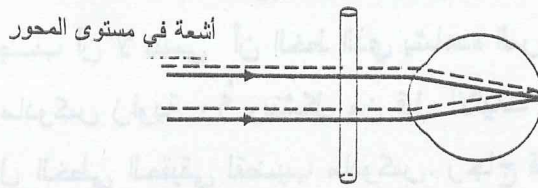
تتألف هذه الأداة المفيدة - والتي تستعمل في تشخيص عدم توازن عضلات العين الخارجية من سلسلة من العدسات الاسطوانية المحدبة القوية المرصوفة بجانب بعضها البعض ضمن إطار عدسة تجريبية (شكل ٦-٣). ينظر المريض إلى مصدر ضوئي نقطي بعيد من خلال قضيبي مادوكس، الذي يوضع بالقرب من العين (في إطار تجربة). يجب أن تكون بقعة الضوء بعيدة كفاية لكي تعتبر الأشعة الصادرة عنها متوازية عند الوصول للمريض (على الأقل ٦ م).



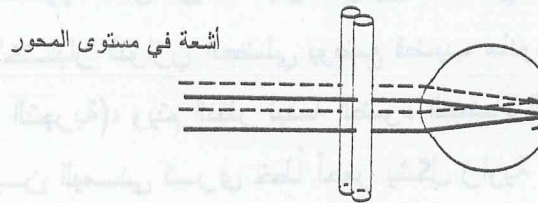
شكل ٦-٣: قضيبي مادوكس.

يمر الضوء خلال المحور الموازي لمحور كل اسطوانة دون أن ينحرف ثم يتقارب إلى محرق من قبل العين (شكل ٤-٦) . يتألف قضيب مادوكس من نسق من هذه الاسطوانات، وبالتالي يتشكل نسق من المحارق على الشبكية (شكل ٥-٦).

تتشترك هذه المحارق مع بعضها وتظهر على شكل خط من الضوء يشكل زاوية ٩٠° مع محور قضيب مادوكس.



شكل ٤-٦: بصريات مادوكس. الضوء في محور القضيب.



شكل ٥-٦: قضيب مادوكس. لإظهار تشكل خط من المحارق من قبل العناصر المتجاورة في قضيب مادوكس.

يتجمع الضوء الوارد على قضيب مادوكس في محور معامد لمحوره من قبل كل اسطوانة إلى محرق خطي حقيقي بين القضيب والعين (شكل ٦-٦). هذا المحرق قريب جداً من العين بحيث لا تستطيع الآليات الانكسارية في العين تشكيل خيال مميز على الشبكية. بالتالي فإن الضوء يتبعثر فوق مساحة واسعة من الشبكية (شكل ٦-٦) ولا يشوش تلقي الخيال الخطي المركب الموصوف في الأعلى (شكل ٥-٦).



شكل ٦-٦: بصريات قضيب مادوكس. يرد الضوء على محور معامد لمحور قضيب مادوكس.

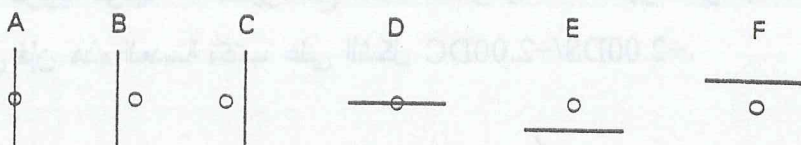
يجب أن لا ننسى أن الخط الذي يشاهده المريض يشكل مع محور قضيب مادوكس زاوية 90° ويتشكل من قبل الآليات الانكسارية للعين. إنه ليس الخيال الخطي الحقيقي لقضيب مادوكس. زجاج قضيب مادوكس أحمر اللون، وبالتالي فإن الخيال الخطي الذي يراه المريض أحمر أيضاً. استعمال قضيب مادوكس لاختبار التوازن العضلي

لاختبار التوازن العضلي يوضع قضيب مادوكس أمام العين اليمنى (في إطار التجربة)، ويتم النظر لبقعة الضوء البيضاء البعيدة بالعينين. بالتالي فإن العين اليمنى ترى خطأً أحمر يشكل زاوية 90° مع محور قضيب مادوكس، بينما ترى العين اليسرى بقعة ضوئية بيضاء. وهكذا فإن العينين تريان خياليين غير متشابهين ومتباينين مما يسمح لأي خلل في التوازن العضلي بأن يصبح ظاهراً.

يجب أن يكون القضيب أفقياً لاختبار خلل التوازن العضلي الأفقي، بحيث يعطي خطأً شاقولياً، والعكس بالعكس.

يجب أن لا ننسى أن العين خلف قضيب مادوكس (عادةً اليمنى) تتحرف نحو الجانب المعاكس للجانب الذي يدل عليه الخط الأحمر (شكل ٦-٧).

يُقاس أي انحراف بوضع مواشير أمام العين اليسرى حتى يتحقق السواء البصري.



شكل ٦-٧: المنظر الذي يراه المريض وقضيب مادوكس أمام العين اليمنى
A: سواء بصري أفقي، B: شطور وحشي. لدى هذا المريض شفع، متصالب. ويدل هذا على شطور وحشي، C: شطور أنسي، D: سواء، بصري شاقولي، E: شطور علوي أيمن، F: شطور سفلي أيمن (شطور علوي أيسر).

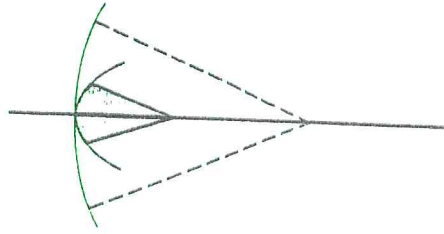
السطح الحدي Toric surface والعدسات الحيدية

تعرف العدسات ذات السطح الحدي الواحد بالعدسات الحيدية، أو العدسات الكروية الاسطوانية. لا تشكل هذه العدسات خيلاً وحيداً محدداً لأن المحورين الرئيسيين يشكلان خطين منفصلين ومتعامدين.

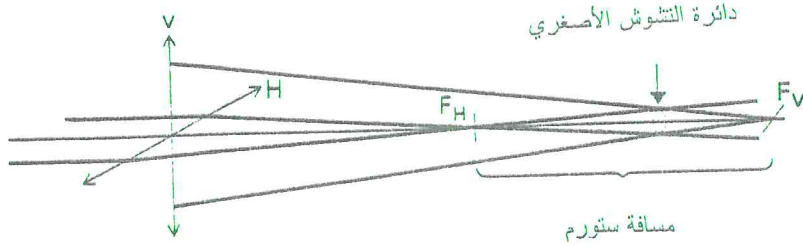
تشكل الأشعة الضوئية بين المحرقين الخطيين شكلاً يعرف باسم مخروط ستورم (نسبة للعالم الرياضي ستورم الذي وصفه عام ١٨٣٨). تدعى المسافة بين المحرقين الخطيين بمسافة ستورم (شكل ٦-٩). يدعى المستوي الذي تتقاطع فيه الحزمتان الضوئيتان بدائرة التشويش الأصغري أو دائرة الانتشار الأصغري.

تتشكل الأخيلة الدائرية المشوهة في كل المستويات الأخرى بين F_V و F_H . يمكن اعتبار العدسة الحدية بأنها عدسة كروية مع وجود عدسة اسطوانية متراكبة معها. يمكن تعريف العدسات الحيدية رقمياً على شكل كسر، بحيث تكون القوة الكروية في البسط بينما تكون القوة الاسطوانية في

المقام، فعلى سبيل المثال: يمكن اعتبار عدسة اسطوانية ذات قوة +٢ كسيرة في أحد المحورين الرئيسيين و +٤ كسيرة في المحور الرئيسي الآخر بأنها عدسة كروية قوتها +٢ كسيرة مع عدسة اسطوانية +٢ كسيرة متراكبة معها. بالتالي فإن هذه العدسة تكتب على الشكل +2.00DS/+2.00DC.



شكل ٦-٨: سطح حدي. المحوران الرئيسيان مع نصف القطر ومركزي الانحناء.



شكل ٦-٩: الخيال المتشكل بواسطة العدسة الحرجية الحديدية - مخروط ستورم.

المكافئ الكروي Spherical Equivalent

يفيد في بعض الأحيان حساب قوة العدسة الكروية ذات التأثير الأقرب للعدسة الحديدية، وهو ما يعرف بالمكافئ الكروي. يظهر ذلك فيما إذا كانت العين مديدة أو سديدة أو حسيرة. يفيد هذا الاعتبار -على وجه الخصوص- في اختبار قوة العدسة داخل العين لدى المريض.

يتم حساب قوة المكافئ الكروي في وصفة العدسة الحديدية بالجمع الجبري للقوة الكروية مع نصف القوة الاسطوانية. مثال: المكافئ الكروي

للعدسة $+2.00DS/-2.00DC$ هو $+1.00DS$ ، بينما بالنسبة للعدسة $+2.00DS/+2.00DC$ هو $+3.00DS$. تتطابق النقطة المحرقة للمكافئ الكروي مع دائرة التشويش الأصغري لمخروط ستورم في العدسة الحيدية.

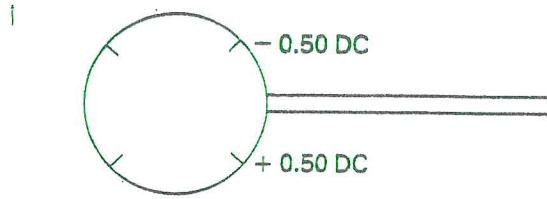
الاسطوانة المتصالبة The Cross cylinder

يمكن التحقق من انحناء الاسطوانة التجريبية في الانكسار السريري- بوضع اسطوانة أخرى فوقها بحيث يكون محورها مائلاً عن محور الاسطوانة التجريبية. يمكن التحقق من قوة الاسطوانة بوضع اسطوانة أخرى فوقها بحيث ينطبق محورها مع محور الاسطوانة التجريبية وذات قوة وإشارة متغايرتين. قادت هذه الاعتبارات لتطوير الاسطوانة المتصالبة.

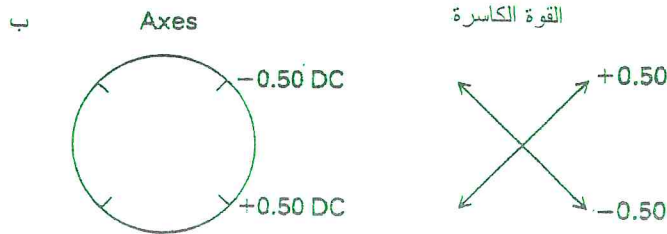
الاسطوانة المتصالبة شكل من العدسات الاسطوانية تستعمل في الانكسار. استعملت بادئ الأمر من قبل إدوارد جاكسون (١٨٩٣-١٩٢٩) ومنذ ذلك الوقت أصبحت تعرف باسم الاسطوانة المتصالبة لجاكسون Jackson's cross cylinder.

الاسطوانة المتصالبة عدسة كروية اسطوانية تكون فيها قوة العدسة الاسطوانية ضعفي قوة العدسة الكروية ومعاكسة لها بالإشارة (شكل ٦-١٠ - أ).

بالتالي فإن القوة الصرفة هي نفسها لعدستين أسطوانيتين متراكبتين متمائلتين بالقوة لكن بإشارتين متعاكستين ومحوراهما متعامدان. توضع العدسة على حامل يشكل زاوية 45° مع كل من المحورين. تكون قوة كل من المحورين المؤشرين على العدسة معدومة من إحدى الاسطوانتين، حيث تتوضع قوة كل اسطوانة على المحور المعامد لمحورها الذي يتطابق مع المحور المؤشر الذي لا يحمل قوة من نفس اسطوانته.



شكل ٦-١٠ أ: اسطوانة متصالية $-0.50DS/+1.00DC$



شكل ٦-١٠ ب: اسطوانة متصالية تظهر المحورين المؤشرين على العدسة والقوة الكاسرة في المحورين الرئيسيين.

تسمى الاسطوانة المتصالية وفقاً لقوة الاسطوانة وهي مؤشرة على الحامل. توصف الاسطوانة المتصالية المبينة في الشكل (٦-١٠ أ، ب) بأنها أسطوانة متصالية ١ كسيرة. تتوفر الاسطوانة المتصالية بقوتين ٠,٥٠ ، ١ كسيرة.

تستعمل الاسطوانة ١ كسيرة للتحقق من قوة الاسطوانة التجريبية عند المرضى متدنيي الرؤية ومن محور الاسطوانة عند جميع المرضى. أما الاسطوانة المتصالية ٠,٥٠ كسيرة فتستعمل للتحقق من قوة الاسطوانة التجريبية عندما تكون الرؤية جيدة.

تستعمل الاسطوانة المتصالبة سريرياً لضبط محور الاسطوانة الموصوفة ومن ثم لضبط قوتها. كما يمكن استعمالها للتأكد من أن المريض لا يحتاج لتصحيح اسطواناني إذا لم يظهر ذلك بتتظير الشبكية. يطلب من المريض - في الممارسة- أن ينظر إلى السطر الأكبر بمقدار سطرين من أصغر سطر تمكن من رؤيته على لوحة حدة البصر. ذلك لأن الاسطوانة المتصالبة تشوش الرؤية فتستعمل أحرف أكبر لتسهيل التمييز بين وضعيات الاسطوانة المتصالبة.

لضبط المحور، توضع الاسطوانة المتصالبة أمام العين بحيث يكون حاملها موازياً لمحور الاسطوانة التجريبية. تقلب الاسطوانة على وجهها ويسأل المريض عن أي وجه حقق له الرؤية الأفضل. توضع الاسطوانة المتصالبة بالوضعية الأفضل ويدور محور الاسطوانة التجريبية بشكل خفيف باتجاه المحور الذي يحمل نفس الإشارة في الاسطوانة المتصالبة.

تكرر العملية حتى يصبح محور الاسطوانة التجريبية بالوضعية الصحيحة، وهي الوضعية التي يؤدي قلب الاسطوانة المتصالبة على وجهها فيها إلى إعطاء نتيجة متماثلة غير مقبولة بالنسبة لرؤية المريض. لضبط قوة الاسطوانة التجريبية، توضع الاسطوانة المتصالبة حيث يكون محورها الأول ثم الثاني فوق محور الاسطوانة التجريبية. لهذه العملية تأثير زيادة قوة الاسطوانة التجريبية ومن ثم إنقاصها

لإثبات عدم الحاجة لتصحيح الاسطواناني، توضع الاسطوانة المتصالبة فوق العدسة الكروية التجريبية بأربعة اتجاهات مختلفة على المحاور: ٩٠ ، ١٨٠ ، ٤٥ ، ١٣٥. إذا فضل المريض إحدى هذه الخيارات فإن التصحيح الاسطواناني ضروري. يمكن عندئذ تحديد المحور والقوة بالطريقة الموصوفة أعلاه.

من المهم أن تكون الرؤية لدى المريض أفضل ما يمكن قبل استعمال
الاسطوانة المتصالبة لتحقيق النتائج الأفضل من الاختبار.

الفصل السابع

الوصفات البصرية، عدسات النظارات

مقدمة

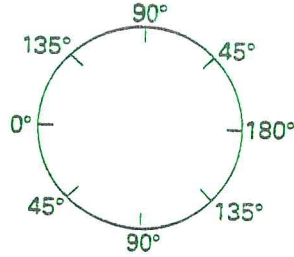
للعدسات الموصوفة في الفصلين الخامس والسادس استعمالات عديدة في طب العيون. تستعمل العدسات كوسائل مساعدة بصرية للمرضى المصابين بسوء الانكسار على شكل نظارات أو عدسات لاصقة أو مساعدات الرؤية المتدنية . كما أن العدسات أجزاء أساسية في معظم الأجهزة المستعملة في طب العيون. سنناقش في هذا الفصل استعمال العدسات في النظارات.

وصف العدسات

عند وصف عدسات النظارات، فإن خصائص العدسة اللازمة تتحدد بالطريقة التالية . تكتب العدسة الكروية لوحدها، على سبيل المثال: $-3.25DS$ أو $+2.00DS$.

في حالة العدسة الاسطوانية لوحدها، يجب تحديد القوة الكاسرة والمحور. يتم التأشير على محور العدسة الاسطوانية بوساطة خط، ويتم تأشير الإطار التجريبي وفقاً للاصطلاح العالمي المعمول به (شكل ٧-١). وهكذا تكتب العدسة الاسطوانية ذات القوة $2.00DS$ - وذات المحور الشاقولي بالشكل التالي: $2.00DC \text{ AXIS } 90^\circ$ - يتضمن تصحيح أسوء الانكسار غالباً وصف عدسات اسطوانية وكروية أي: تصحيح حيزي حرجي في هذه الحالة، يحتوي إطار التجربة في نهاية الانكسار على عدسة كروية (مثال $+2.00DS$) و عدسة اسطوانية (مثال $+1.00DC \text{ axis } 90^\circ$) توضع العدسة الاسطوانية عادةً إلى الأمام من العدسة الكروية للسماح برؤية خط المحور .

تكتب الوصفة كما يلي: $+2.00DS/+1.00DC$ axis 90° ويمكن أن تختصر
كما يلي: $+2.00/+1.00_{90}$.



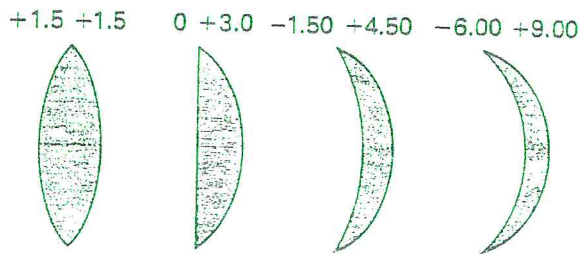
شكل ٧-١: الاتجاه الاصطلاحي للعدسات الاسطوانية.

تحويل العدسات

عندما يتم تغيير وصفة عدسة من شكل لآخر مكافئ له بصرياً، فإن العملية تدعى تحويل العدسات.

التحويل البسيط للعدسات

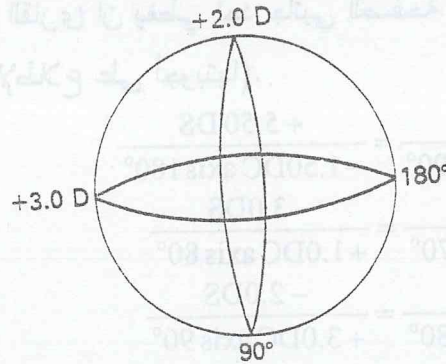
ينطبق ذلك على تعديل شكل العدسات الكروية. تعطى قوة العدسة بالجمع الجبري لقوتي سطحها (شكل ٧-٢).



شكل ٧-٢: التحويل البسيط للعدسة الكروية $+3.00D$.

التحويل البسيط للعدسات الاسطوانية

هو عبارة عن تغيير في وصفة العدسة الحرجية الحديدية، وبالتالي يعبر عن العدسة الاسطوانية بالقوة المعاكسة التحويل البسيط للعدسة الاسطوانية ضروري غالباً عندما يرغب الفاحص بمقارنة الانكسار الحالي مع الوصفة السابقة لاحظ المثال التالي (شكل ٣-٧).



شكل ٣-٧ مخطط يمثل حيدية بحيث تظهر القوة الكسيرية للمحورين الرئيسين.

$$\begin{array}{r} + 2.00DS \\ \hline + 1.00DC \text{ axis } 90^\circ \end{array}$$

يمكن وصف العدسة المبينة في الشكل (٣-٧) بطريقتين:

- ١- اترك العنصر الاسطواني على المحور ٩٠ : العدسة الآن:
- ٢- اجعل العنصر الاسطواني ذو قوة معاكسة وعلى محور ١٨٠ : العدسة الآن :

$$+3.00DS/-1.00DC \text{ axis } 180^\circ$$

أ- الجمع. يعطي الجمع الجبري للقيمة الكروية والاسطوانية قيمة جديدة للعدسة الكروية.

ب- الإشارة: تغيير إشارة العدسة الاسطوانية مع المحافظة عل قوتها.
 ج- المحور: تدوير محور العدسة الاسطوانية ٩٠. (أضف ٩٠ إذا كان المحور
 الأصلي أصغر أو يساوي ٩٠. اطرح ٩٠ من أي محور أكبر من ٩٠).
 أمثلة:

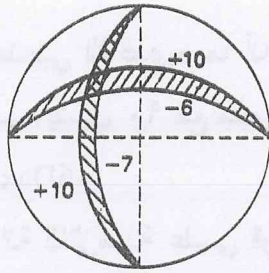
(نقترح على القارئ أن يغطي أحد جانبي الصفحة لإخفاء الإجابات
 وحل هذه الأمثلة قبل الإطلاع على أجوبتها).

$$\begin{array}{rcl} + 4.0DS & = & + 5.50 DS \\ + 1.50DC \text{ axis } 90^\circ & = & - 1.50DC \text{ axis } 180^\circ \\ - 2.0DS & = & - 3.0DS \\ - 1.0DC \text{ axis } 170^\circ & = & + 1.0DC \text{ axis } 80^\circ \\ + 1.0DS & = & - 2.0DS \\ - 3.0DC \text{ axis } 180^\circ & = & + 3.0DC \text{ axis } 90^\circ \\ - 1.50DS & = & + 1.0DS \\ + 2.50DC \text{ axis } 20^\circ & = & - 2.50DC \text{ axis } 110^\circ \end{array}$$

التحويل الحدي

يتضمن التحويل الحدي خطوة إضافية ويمكن من تحديد العدسة
 الحرجية الحديدية بدقة اعتماداً على قوتي سطحها. تتركب العدسة الحرجية
 من سطح كروي و سطح حدي (يساهم في القوة الاسطوانية). يعرف المحور
 الرئيسي ذو القوة الأضعف في السطح الحدي بالمنحني القاعدي للعدسة
 base curve . يجب أن يكون المنحني القاعدي محدداً من أجل تحويل
 العدسة الحديدية (شكل ٧-٤).

تكتب معادلة العدسة الحديدية بخطين على شكل كسر. يصف الخط
 العلوي (البسط) قوة السطح الكروي. يصف الخط السفلي (المقام) قوة سطح
 المنحني القاعدي ومحوره، يليه قوة سطح واتجاه المحور الرئيسي الآخر
 للسطح الحدي.



شكل ٧-٤ مخطط يمثل عدسة حرجية حيدية: مع منحنى قاعدي -6D base curve.

$$\frac{+4.0DS}{-1.0DC} \text{ axis } 180^\circ$$

مثال:

$$\frac{+9.0DS}{-6.0DC \text{ axis } 90^\circ / -8.0DC \text{ axis } 180^\circ}$$

سنقوم الآن بتحديد خطوات التحويل الحيدري باتخاذ الحالة التالية كمثال:

$$\text{حول } \frac{+3.0DS}{+1.0DC \text{ axis } 90^\circ} \text{ إلى معادلة حيدية مع منحنى قاعدي -6D}$$

١- قم بتغيير الوصفة بحيث تصبح الاسطوانة والمنحنى القاعدي من نفس الإشارة، أي:

$$\frac{+3.0DS}{+1.0DC \text{ axis } 90^\circ} \text{ تصبح } \frac{+4.0DS}{-1.0DC \text{ axis } 180^\circ}$$

٢- احسب القوة اللازمة للسطح الكروي (البسط في معادلة النهائية). يتم ذلك

بطرح قوة المنحنى القاعدي من القوة الكروية الناتجة في الخطوة الأولى.

$$+4.0D - (-6D) = +10D$$

بطريقة أخرى، فإنه للحصول على قوة إجمالية +4D، مع العلم أن أحد

السطحين يعادل -6D، ويجب أن تكون قوة السطح الآخر +10D (التحويل

البسيط للعدسات الكروية).

٣- حدد محور المنحني القاعدي، بما أنه المحور الرئيسي الأضعف في السطح الحدي فإنه يشكل ٩٠ مع محور الاسطوانة اللازمة المبينة في الخطوة الأولى. أي: 6D axis -

٤- اجمع الاسطوانة اللازمة على قوة المنحني القاعدي على محور الاسطوانة المبين في الخطوة الأولى. أي: 6D axis 180° - 1D axis = -7D axis
المعادلة الحديدية النهائية هي:

$$\frac{+10DS}{-6DC \text{ axis } 90^\circ / -7DC \text{ axis } 180^\circ}$$

وفيما يلي بعض الأمثلة الأخرى، حول:

$$\frac{+4.0DS}{-20DC \text{ axis } 180^\circ}$$

بحيث يكون المنحني القاعدي +6D، تصبح

$$\frac{-4.0DS}{+6.0DC \text{ axis } 180^\circ / +8.0DC \text{ axis } 90^\circ}$$

-2.0DS

حول : +3.0DC axis 90°

بحيث يكون المنحني القاعدي -6D، تصبح:

$$\frac{+7.0DS}{-6.0DC \text{ axis } 90^\circ / -9.0DC \text{ axis } 180^\circ}$$

تحديد هوية العدسات

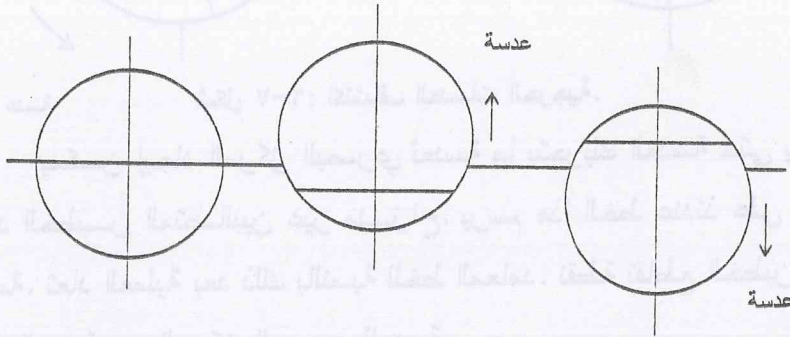
من المهم في الممارسة السريرية أن يقوم الممارس بتحديد نمط وقوة النظارات الحالية للمريض. يمكن القيام بذلك بالوسائل التالية:

اكتشاف نمط العدسة

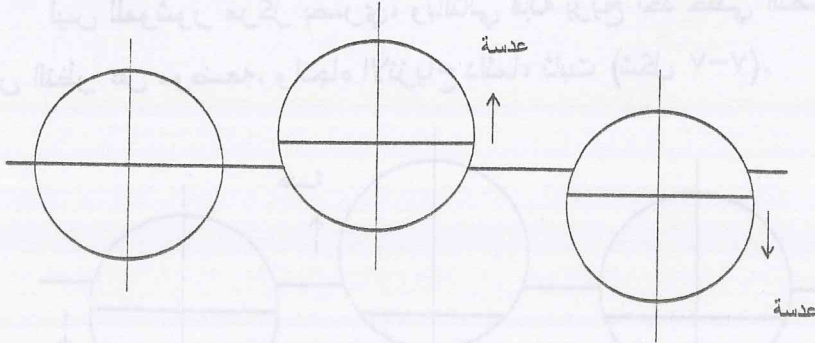
من الممكن تحديد فيما إذا كانت العدسة كروية أو حرجية أو موشورية بدراسة الخيال المتشكل عند النظر إلى خطين متقاطعين بزاوية ٩٠ من خلال العدسة.

لا تسبب العدسات الكروية تشوهاً في هذا التصالب. ولكن عند تحريك العدسة من جانب لآخر، وللأعلى والأسفل على طول ذراعي التصالب، يظهر التصالب أيضاً على أنه يتحرك. في حالة العدسات المحدبة يظهر التصالب على أنه يتحرك باتجاه معاكس للعدسة، وهذا ما يسمى "الحركة العكسية against movement"، أما "الحركة الموافقة with movement" أي بنفس اتجاه حركة العدسة فهي تلاحظ في العدسات المقعرة (شكل ٥-٧).

أ- المحدبة = الحركة العكسية



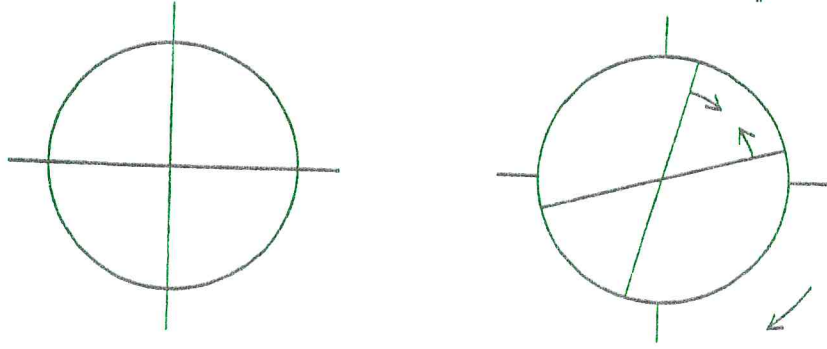
ب- المقعرة = الحركة الموافقة



شكل ٥-٧: اكتشاف العدسات الكروية.

تسبب العدسات الحرجية تشوهاً في التصالب ما لم يتوافق محورها مع الخطين المتصالبين، وهكذا فإن تدوير العدسة يسبب ما يعرف باسم

حركة المقص (شكل ٦-٧). بينما ليس لتدوير العدسات الكروية أي تأثير على خيال الخططين المتصالبين. حالما يتم تحديد المحورين الرئيسيين للعدسة الحرجية وجعلهما موازيين للخططين المتصالبين، يمكن فحص كل منهما كما هو الحال في العدسات الكروية .

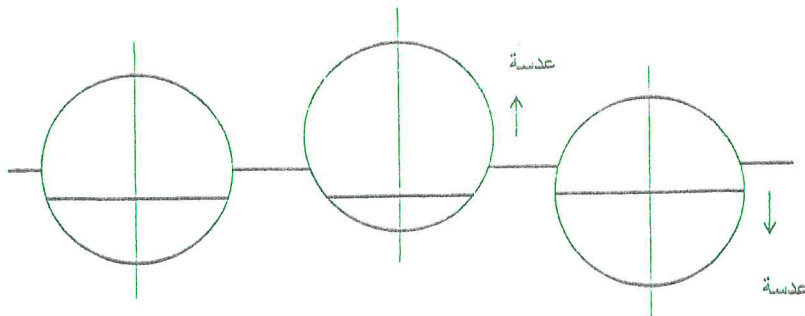


شكل ٦-٧: اكتشاف العدسات الحرجية.

عدسة

يمكن إيجاد المركز البصري لعدسة ما بتحريك العدسة حتى يصبح أحد الخططين المتصالبين غير منزاح. يرسم هذا الخط عندئذ على سطح العدسة. تعاد العملية بعد ذلك بالنسبة للخط المعامد. نقطة تقاطع الخططين على سطح العدسة هي المركز البصري للعدسة.

ليس للموشور مركز بصري، وبالتالي فإنه يزيح أحد خطي التصالب بغض النظر عن موضعه. واتجاه الانزياح دائماً، ثابت (شكل ٧-٧).



شكل ٧-٧: اكتشاف الموشور.

يكون هذا الاختبار أكثر فعالية إذا وضع الخطان المتصالبان على مسافة ملائمة بعيدة قدر الإمكان، وكانت العدسة بعيدة عن العين بقدر كافٍ.

تعديل القوة

يمكن أيضاً إيجاد قوة العدسة باستعمال التقنية الموصوفة أعلاه. حالما تتحدد طبيعة العدسة غير المعروفة، يتم وضع عدسات من نمط معاكس ومعروفة القوة فوقها حتى الوصول إلى التركيب الذي لا يسبب حركة في خيال الخطيين المتصالبين، عند ذلك يكون الاختبار قد أنجز. يقال عن العدستين، في هذه النقطة، بأنهما تعدلان بعضهما البعض، وتساوي القوة الكسيرية للعدسة غير المعروفة تلك الخاصة بالعدسة التجريبية وتعاكسها بالإشارة (العدسة +2.0D تعدل العدسة -2.0D).

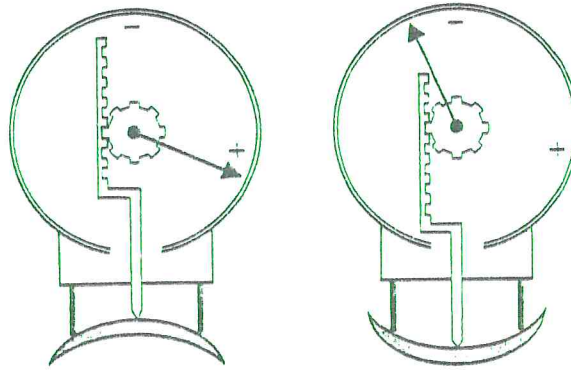
في حالة العدسات الحرجية، يجب تعديل كل محور بشكل منفصل. تسمى عدسات النظارات وفقاً لقوتها القمية الخلفية back vertex power. لقياس هذه القوة بدقة، توضع العدسة المعدلة بتماس السطح الخلفي لعدسة النظارة.

لكن ذلك غير ممكن في حالة العدسات شديدة الانحناء، وعندها يتواجد فراغ في الهواء بينهما. لذلك من الأفضل في هذه الحالة وضع العدسة المعدلة بتماس السطح الأمامي لعدسة النظارة. بالتالي فإن التعديل غير دقيق نوعاً ما بالنسبة للعدسات المنحنية التي تفوق قوتها ٢ كسيرة، وقد يحدث خطأ يقارب النصف كسيرة.

على كل حال، فإن التعديل ما يزال تقنية مفيدة جداً في حالات العدسات ضعيفة القوة نسبياً.

قياس العدسة

يمكن استعمال مقياس جنيف Geneva لإيجاد قوتي سطحي العدسة بقياس الانحناء السطحي (شكل ٧-٩). تعادل القوة الكلية لعدسة رقيقة مجموع قوتي سطحيها. لكن هذا الجهاز معاير بالنسبة للعدسات المصنوعة من الزجاج التاجي (قرينة انكساره ١,٥٢٣)، ويجب تطبيق عامل تصحيح في حالات العدسات المصنوعة من مواد ذات قرائن انكسار مختلفة.



شكل ٧-٨: مبادئ مقياس جنيف للعدسات.

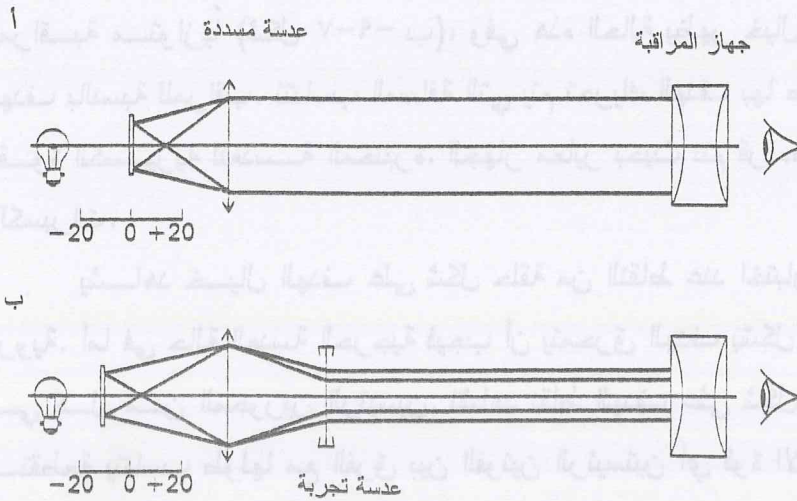
المقياس المحرقى The Focimeter

يستعمل المقياس المحرقى لقياس القوة القمية للعدسة، المحاور والقوى الكبرى للعدسة الحرجية، وقوة الموشور. يتألف من جزئين رئيسيين، جهاز تمحرق Focusing system وجهاز مراقبة (شكل ٧-٩). يشمل جهاز التمحرق جسماً مناراً وعدسة مسددة collimating lens . العدسة المسددة هي التي تجعل الضوء متوازيًا. الجسم عادةً هو حلقة من النقاط المتشكلة من قبل قرص مثقوب بدائرة من الثقوب الصغيرة، وخلفه يوجد منبع ضوئي. يستعمل الضوء الأخضر لحذف الزوغان اللوني. تكون وضعية العدسة المسددة ثابتة، لكن يمكن للهدف أن يتحرك نسبةً إليها. عندما يتوضع

الهدف في المحرق الرئيسي الأولي للعدسة المسددة، فإن الضوء الصادر يكون متوازياً (شكل ٧-٩-أ).

يتم النظر إلى الضوء الصادر عن الجهاز من خلال جهاز المراقبة الذي يتضمن منظراً مع عدسة عينية قابلة للتعديل تضبط على اللانهاية. تحتوي العدسة العينية على مقياس ومنقلة لقياس محاور العدسات الاسطوانية والقوة الموشورية.

يجب وضع الجهاز على الصفر قبل الاستعمال، ويتم تعديل العدسة العينية حتى تظهر النقاط والمنقلة بشكل واضح. توضع العدسة المراد اختبارها على حامل خاص يتوضع في المحرق الرئيسي الثانوي للعدسة المسددة (شكل ٧-٩-ب).



شكل ٧-٩: المقياس المحرقي.

يقيس المقياس المحرقي القوة القمية لسطح العدسة الواقع بتماس مسند العدسة. بالتالي، فإنه من المهم عند فحص عدسات النظارة التي توصف بقوتها القمية الخلفية أن يثبت زجاج السطح الخلفي للعدسة على مسند

العدسة. كما أنه عند فحص العدسة ثنائية المحرق يجب بالإضافة لفحص القوة القمية الخلفية للقسم البعيد قياس مقدار الإضافة أي القوة الموجبة الإضافية في القسم القريب. ونظراً لأن القوة الإضافية في القسم القريب تعمل بإنقاص تباعد الضوء من الجسم القريب قبل أن يدخل إلى العدسة البعيدة، فإن القوة القمية الأمامية هي القياس المناسب للقسم القريب.

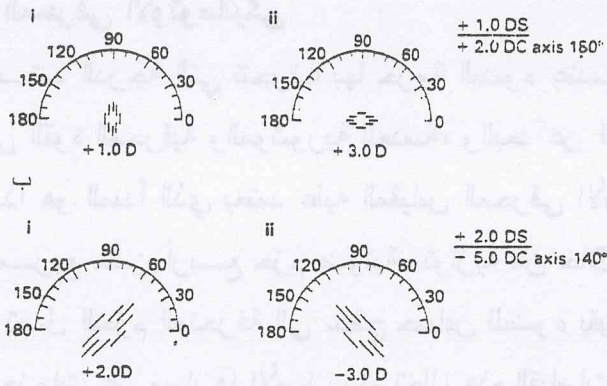
بالتالي، يجب قياس القوة القمية الأمامية لكلا القسمين القريب والبعيد، فيكون الفرق بينهما هو مقدار الإضافة. في الممارسة، لا يوجد فرق هام بين القوة القمية الأمامية والخلفية للقسم القريب إلا في حالة العدسات الموجبة عالية القوة.

يسمح تحريك الهدف بتفاوت جنوح الضوء الصادر عن العدسة المسددة. يتم تحريك الهدف حتى يصبح الضوء الذي يدخل منظار جهاز المراقبة متوازياً (شكل ٧-٩-ب)، وفي هذه الحالة يظهر خيال واضح للهدف بالنسبة للمراقب. تتناسب المسافة التي يتم تحريك الهدف بها طردياً مع القوة الكسيرية للعدسة المختبرة. الجهاز معايير بحيث تتم قراءة العدسة بالكسيرات.

يشاهد خيال الهدف على شكل حلقة من النقاط عند اختبار عدسة كروية. أما في حالة العدسة الحرجية فيجب أن يتمحرق الهدف بشكل منفصل في كل من المحورين الرئيسيين. تشاهد نقاط الهدف على شكل خطوط متقطعة يتناسب طولها مع الفرق بين القوتين الرئيسيتين أي قوة الاسطوانة المختبرة.

لفحص عدسة حرجية، بوساطة المقياس المحرقي، مثال: العدسة المبينة في الشكل (٧-١٠-أ)، يجب ضبط الجهاز بحيث تكون مجموعة واحدة من المحارق الخطية في المحرق (شكل ٧-١٠-أ) (i) وتسجل

القراءة +1.0D. يتم ضبط الجهاز أكثر حتى تصبح مجموعة ثانية من المحارق الخطية في المحرق (شكل ٧-١٠) (H) وتسجيل القراءة +3.0D والمحور ١٨٠ للخطوط.



شكل ٧-١٠: استعمال المقياس المحرقي لتشخيص العدسات الحرجية الخيال مرئي.
 تعطي القراءة الأولى القوة الكروية للعدسة. يتم حساب القوة الاسطوانية بالطرح الجبري للقراءة الأولى من الثانية $+2D = (+1) - (+3)$.
 يتوافق محور الاسطوانة مع محور القراءة الثانية. أي 180° . يظهر الشكل (٧-١٠ ب) مثالاً آخر قد يكون لعدسة النظارة تأثيراً موشورياً ناتجاً إما عن إدخال موشور فيها أو عن عدم تمركزها. في حال وجود موشور ضمن العدسة فإنه من المستحيل إحضار خيال الهدف إلى مركز المنقلة في العدسة العينية. الخطان المتصالبان في المنقلة معايران بفواصل كسيرة موشورية واحدة، مما يسمح بتحديد القوة الموشورية. يبدو الخيال منزاحاً نحو قاعدة الموشور نظراً لأن خيال الهدف مقلوب بفعل العدسة العينية في المنظار.
 لاكتشاف التأثير الموشوري للعدسة غير المتمركزة، يجب تحديد مركز العدسة (معظم الأجهزة تتضمن مؤشراً). ثم توضع النظارات

المؤشرة على المريض وتقاس درجة عدم التمرکز بملاحظة العلاقة بين
المركز المؤشر وحدقة. تعطى القوة الموشورية بالعلاقة $P = F \times D$
حيث p القوة الموشورية مقدرة بالكسيرة الموشورية، F قوة العدسة
مقدرة بالكسيرة D عدم التمرکز مقدراً بالسنتيمتر.

المقياس المحرقى الأوتوماتيكي

تعتمد الدرجة التي تنحرف بها حزمة الضوء عندما تمر من خلال
عدسة على القوة المحرقية والموشورية للعدسة، والبعد عن المركز البصري
لها. هذا هو المبدأ الذي يعتمد عليه المقياس المحرقى الأوتوماتيكي. يمر
نموذج مربع من أربع حزم ضوئية متوازية من خلال العدسة المراد
اختبارها. تصل الحزم المنحرفة إلى سطح حساس للضوء يقيس انحراف كل
من هذه الحزمات عن مسارها الأصلي، ثم تحلل هذه القياسات حاسوبياً.

العدسات الملونة Tinted Lenses

تعديل العدسات الملونة من التركيب الطيفي للأشعة المارة من خلالها.
هذه الملونات إما أن تكون ماصة أو عاكسة. تمتص الملونات الماصة الضوء
المر من خلالها، بينما تعكس الملونات العاكسة الأطوال الموجية غير
المرغوبة ينتج عن الامتصاص غير المتساوي للأطوال الموجية المختلفة لوناً
خفيفاً. على سبيل المثال: تمتص المرشحة الصفراء كل الأطوال الموجية
باستثناء تلك الواقعة في الجزء الأصفر من الطيف التي تمر من خلالها.
تمتص المرشحة ذات الكثافة المعتدلة كل الأطوال الموجية بنفس الدرجة ولا
تعديل التركيب الطيفي للضوء. قد تكون الألوان ثابتة أو ملونة بالضوء (حيث
تتفاوت خصائص النقل مع اختلاف شدة الضوء الوارد). قد يكون الهدف من
هذه العدسات التخلص من الإشعاعات المؤذية أو غير المرغوبة (مثال:
نظارات الحماية من الليزر) أو تجميلياً.

يمكن إضافة اللون للعدسة عن طريق النفوذ يتم تلوين معظم العدسات البلاستيكية بغمرها في صباغ ينفذ للعدسة بعمق متجانس ليعطيها لوناً فاتحاً. يمكن الحصول على لون أكثر قتامة بإطالة مدة الغمر. قد تكون الملونات المطبقة على سطح العدسة ماصة (cr, NiCr , MgF2 , Sio) أو عاكسة (cr, NiCr).

يتم دمج الملون الصلب بشكل متجانس ضمن كل العدسة، يكون امتصاص الإشعاع أكبر لكون العدسة أكثر ثخانة. توصف جودة العدسة الملونة بمنحني الناقلية الذي يبين النسبة المئوية لانتقال الضوء الوارد عبرها، كل طول موجة على حده .

مرشحات الضوء فوق البنفسجي Ultra Violets Filters

يشكل الضوء فوق البنفسجي نحو ٥% من أشعة الشمس. يمتص الأوزون في الغلاف الجوي للأرض معظم الأشعة فوق البنفسجية C الصادرة عن الشمس. الأشعة فوق البنفسجية التي تصل للأرض تتألف بنسبة ٩٠% منها أشعة فوق بنفسجية A، و ١٠% أشعة فوق بنفسجية B. قد يحدث التعرض للأشعة البنفسجية أيضاً من أقواس صهر المعادن والمصابيح المصدرة للضوء فوق البنفسجي. تمتص العدسات CR39 الضوء فوق البنفسجي ذا طول الموجة الأقصر من ٣٧٠ ن.م.

إن الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة من ٤٠٠ ن.م خطيرة جداً، وتستعمل مراشح لهذه الأطوال الموجية تدمج عادةً ضمن نظارات حماية وأقنعة للوجه. تعمل المراشح الممتصة للحرارة أيضاً كمراشح للأشعة تحت الحمراء، لكنها تزيد مرور الضوء المرئي لحده الأقصى.

تترواح مراشح الضوء الأزرق في اللون بين الأصفر والأحمر. إنها تزيد التباين وتسهل التمييز بين المناطق المضيئة والمظلمة، وتستعمل عند متسقي الجبال والمتزلجين على الثلج.

العدسات المتلونة بالضوء photo chromic Lenses

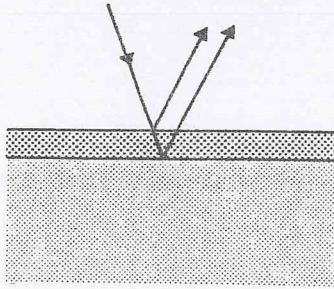
تغير العدسات المتلونة بالضوء من خصائص نقلها اعتماداً على شدة الإشعاع الوارد. تصبح العدسة قاتمة في الضوء الساطع. عملية ازدياد القتامة أكثر سرعة من نقصانها. تختلف الارتكاسات بين البلاستيك والزجاج. تتضمن العدسات الزجاجية المتلونة بالضوء بلورات هاليد الفضة عديمة اللون المعلقة في البوروسيليكات. تفصل الطاقة الكهربائية الفضة عن الهالوجين فتؤدي إلى جعل العدسات قاتمة. لكل نوع من الزجاج مفعّل مثالي (عادةً، الضوء الأزرق أو فوق البنفسجي) وطول موجة مبيضة. يعتمد اللون على طول الموجة السائدة تعاكس الحرارة تأثير الضوء بالتالي، فإن الضوء يصبح قاتماً بسهولة في الجو البارد ويصبح فاتحاً بسهولة أكبر في الجو الدافئ. يصبح زجاج النظارة مع الوقت أكثر قتامة إذا ما استعمل بشكل متكرر.

تستعمل العديد من المركبات العضوية المتلونة بالضوء لتغليف العدسات البلاستيكية أو الاستشراب ضمنها. إنها أكثر نوعية لطول الموجة وتخضع لتغيرات بنيوية عندما تفعل. تنقص قدرة المادة مع الوقت على تغيير لونها نهو اللون القاتم. إن الوقت الطويل نسبياً الذي يحتاجه الارتكاس في العدسات المتلونة بالضوء يجعلها غير مناسبة في الظروف التي تتغير فيها شدة الإنارة بسرعة. مثال عند قيادة السيارة في الأنفاق.

الأغلفة المضادة للانعكاس Anti-reflective coatings

يمكن إنقاص انعكاس الضوء عن سطح عدسة بتغليفها بمادة ذات ثخانة تعادل ربع طول موجة الضوء الوارد (شكل ٧-١١). تسير الأشعة الضوئية التي تنعكس عن سطح العدسة لمسافة أبعد من تلك التي تنعكس عن سطح الغلاف المضاد للانعكاس بمقدار نصف طول موجة. يسبب ذلك تداخلاً هداماً وينقص انعكاس الضوء .

على النقيض من ذلك، فإن الغلاف الذي تعادل ثخانيته نصف طول موجة الضوء الوارد ينتج غلاف مرآة بسبب التداخل البناء. يمكن لأي طول موجة أن ينعكس بشكل انتقائي بواسطة غلاف تبلغ ثخانيته نصف طول تلك الموجة. يشترك غلاف المرآة عادةً مع ملون امتصاصي.



شكل ٧-١١: الغلاف المضاد للانعكاس.

الباب الثالث

الفصل الثامن : زوجات الأجهزة البصرية بما فيها العين

الفصل التاسع: الانكسار بوساطة العين

الفصل العاشر: أسواء الانكسار

الفصل الحادي عشر: قصور البصر

الفصل الثاني عشر : العدسات اللاصقة

الفصل الثالث عشر : وسائل دعم الرؤية المتدنية

الفصل الرابع عشر : الأجهزة

الفصل الخامس عشر : الليزر

الفصل السادس عشر: الانكسار السريري العملي

الفصل السابع عشر: الجراحة الانكسارية

الفصل الثامن

زوغانات الأجهزة البصرية بما فيها العين

مقدمة

إن الأخيلة المتشكلة من قبل مختلف السطوح الكاسرة أو الأجهزة الموصوفة في الفصول السابقة تبقى- في الممارسة- بعيدة عن المثالية النظرية. تنتج عدم مثالية الخيال المتشكل عن عدة آليات أو زوغانات، وقد تم تحليل هذه الآليات والزوغانات وتطوير الوسائل لتخفيفها أو التخلص منها. يخضع الجهاز الكاسر في العين لهذه الزوغانات أيضاً، لكن توجد آليات تصحيحية في العين بحد ذاتها.

الزوغان اللوني Chromatic aberration

عندما ينكسر الضوء الأبيض على سطح فاصل بصري، فإنه ينتشت إلى الأطوال الموجية أو الألوان المؤلف منها. كلما كان طول موجة الضوء أقصر كلما انحرف أكثر في الانكسار. بالتالي تتشكل سلسلة من الأخيلة الملونة عندما يرد الضوء الأبيض على عدسة كروية (شكل ٨-١). عندما تستعمل العدسات في الأجهزة يكون من المرغوب حذف الزوغان اللوني.

تصحيح الزوغان اللوني

أنظمة العدسات اللالونية

إن قوة البعثة لمادة ما مستقلة عن قرينة انكسارها. وهكذا، توجد مواد ذات قوة بعثة عالية لكن مع قرينة انكسار منخفضة، والعكس بالعكس.

تتركب أنظمة العدسات اللالونية من عناصر (عدسات) من مواد مختلفة مركبة بشكل يسمح بتعديل البعثة مع الحفاظ على القوة الكاسرة الإجمالية. (على سبيل المثال: بإشراك عدسة محدبة ذات قوة كاسرة كبيرة وقوة بعثة منخفضة مع عدسة مقعرة ذات قوة كاسرة ضعيفة وقوة بعثة عالية، يمكن بذلك تعديل الزوغان مع الحفاظ على معظم القوة الكاسرة للعدسة المحدبة). صنعت أولى العدسات اللالونية بإشراك عناصر من الزجاج التاجي والصواني.

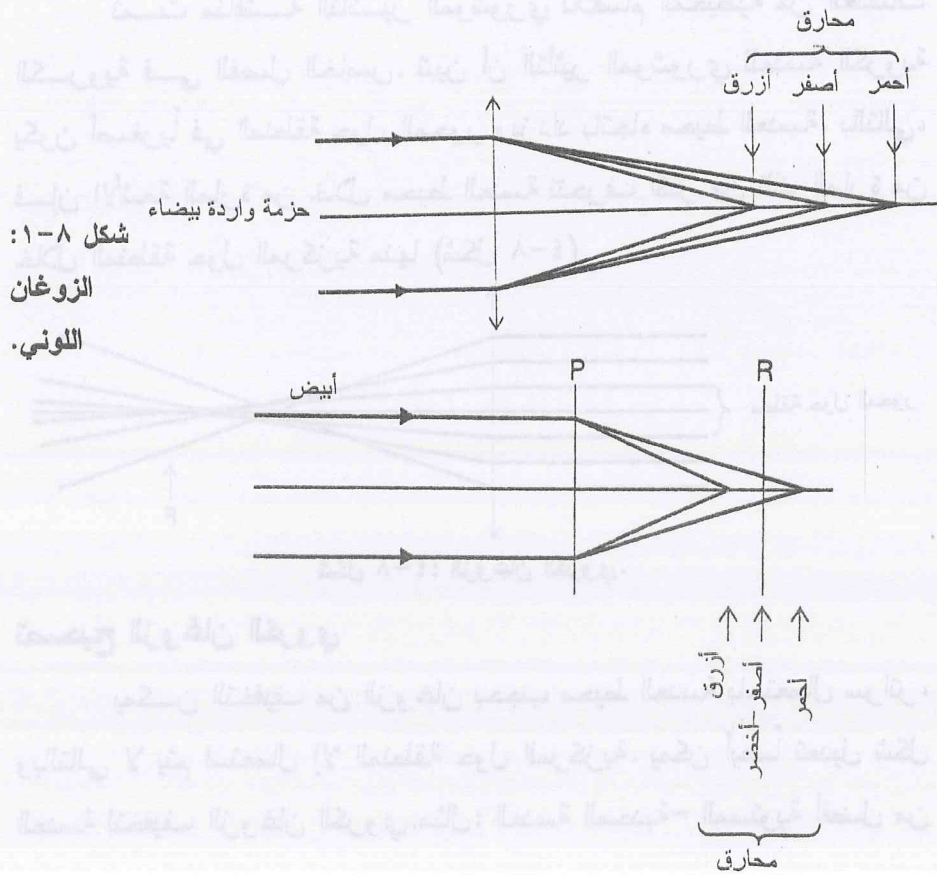
الزوغان اللوني العيني

يخضع الانكسار في العين البشرية للزوغان اللوني أيضاً حيث تكون البعثة الكلية من الخيال الأحمر للأزرق حوالي كسيرتين. ويكون المحرق بالنسبة للسديد هو اللون الأصفر - الأخضر (٥٥٥ ن.م) وهو يقع بين محرقى الأزرق والأحمر، لكنه أقرب للأحمر.

الاختبار ثنائي الألوان Duochrome test

يستعمل الزوغان اللوني العيني في الممارسة السريرية في الاختبار ثنائي الألوان. يتألف الاختبار من صفيين من أحرف سنلن السوداء، مرسومين فوق زجاج ملون منار. الصف العلوي مرسوم فوق زجاج أحمر، والصف السفلي فوق زجاج أخضر. يستعمل الأحمر والأخضر لأن محرقى طولي موجتيهما يراكبان الأصفر - الأخضر بدرجة متساوية (تقريباً ٤,٥ كسيرة في كل جانب). ينظر المريض إلى الأحرف المرسومة على اللونين الأحمر والأخضر على التوالي، ويستطيع بسهولة أن يقول أيها تبدو أوضح. هذا الاختبار حساس لأي تعديل في الانكسار بمقدار ٠,٢٥ كسيرة أو أقل. ترى العين الحسيرة الأحرف الحمراء بشكل أكثر وضوحاً من الخضراء (شكل ٨-٣)، بينما ترى العين المديدة الأحرف الخضراء أكثر وضوحاً. يشيع

استعمال هذا الاختبار - على وجه الخصوص - عند المرضى الحسيين الذين يتعرضون لإجهاد عيني إذا ما أعطوا تصحيحاً مفرطاً (حيث يصبحون مديدين)، مما يجبرهم على استعمال مطابقتهم للرؤية البعيدة. يجب أن يرى المريض الأحرف الحمراء بشكل أكثر وضوحاً من الأحرف الخضراء في نهاية الفحص الشخصي. لا يعيق عمى الألوان إجراء هذا الاختبار لأنه يعتمد على وضعية الخيال نسبة إلى الشبكية. يجب سؤال المريض المصاب بعمى الألوان فيما إذا كان الصف العلوي من الأحرف يبدو أكثر وضوحاً من الصف السفلي أم العكس.



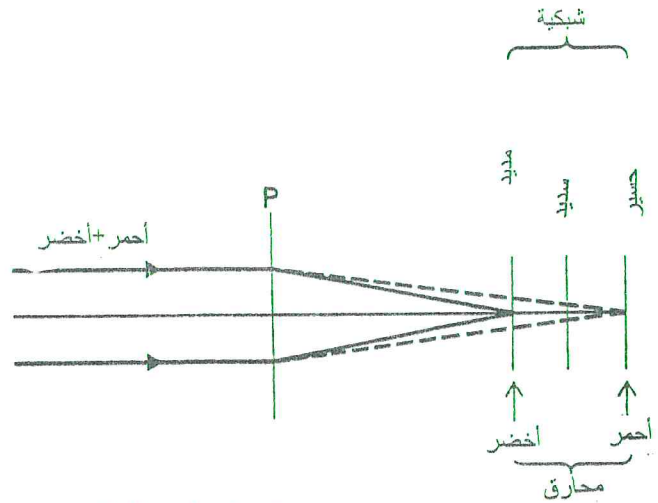
شكل ٨-٢: الزوغان اللوني، عين سديدة P=المحور الرئيسي، R=شبكية.

شكل ٨-٣:

الاختبار

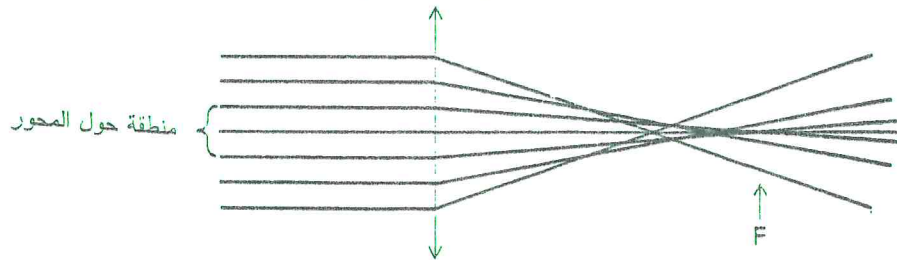
ثنائي

الألوان.



الزوغان الكروي Spherical aberration

تمت مناقشة التأثير الموشوري للأقسام المحيطية من العدسات الكروية في الفصل الخامس. تبين أن التأثير الموشوري للعدسة الكروية يكون أصغرياً في المنطقة حول المحور ويزداد باتجاه محيط العدسة. بالتالي، فإن الأشعة المارة من خلال محيط العدسة تنحرف أكثر من تلك المارة من خلال المنطقة حول المركزية منها (شكل ٨-٤).

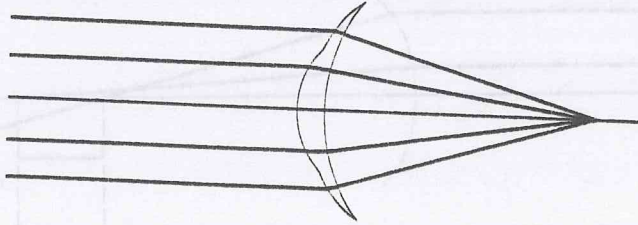


شكل ٨-٤: الزوغان الكروي.

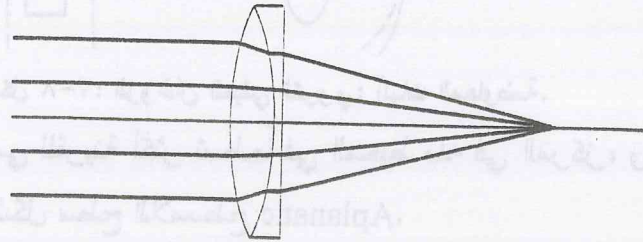
تصحيح الزوغان الكروي

يمكن التخفيف من الزوغان بحجب محيط العدسة باستعمال سواتر، وبالتالي لا يتم استعمال إلا المنطقة حول المركزية. يمكن أيضاً تعديل شكل العدسة لتخفيف الزوغان الكروي. مثال: العدسة المحدبة - المستوية أفضل من

محدبة الوجهين. لتحقيق النتائج الأفضل، يجب التخلي عن السطوح الكروية واستبدالها بالسطوح اللامسطحة Aplanatic ليصبح الانحناء المحيطي أقل من الانحناء المركزي (شكل ٥-٨).



شكل ٥-٨: المنحني اللامسطح (اللاكروي) لتصحيح الزوغان الكروي.
من التقنيات الأخرى لتخفيف الزوغان الكروي، اللجوء لزوج من العدسات. وهو يتألف من عدسة رئيسية وعدسة أضعف نوعاً ما ذات قرينة انكسار مختلفة يلصقان سوياً (شكل ٦-٨). يجب أن تكون العدسة الأضعف ذا قوة معاكسة، ونظراً لأنها تسبب أيضاً زوغاناً كروياً فإنها تنقص من قوة محيط العدسة الرئيسية أكثر من المنطقة المركزية. تصمم هذه الأزواج عادة لكي تكون في الوقت نفسه لا كروية ولا لونية.



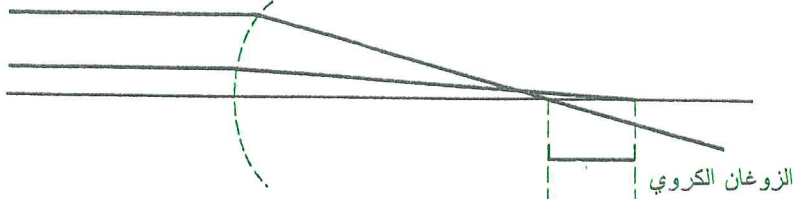
شكل ٦-٨ مخطط يبين مبدأ العدسة المزدوجة اللاكروية.

الزوغان الكروي العيني

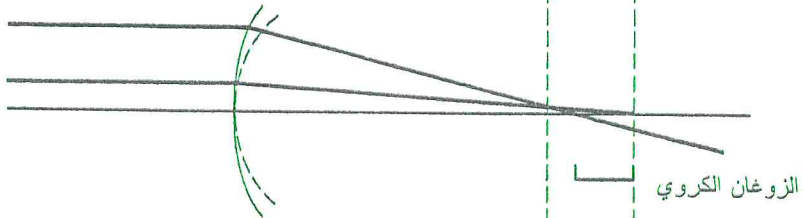
ينقص تأثير الزوغان الكروي في العين البشرية بعوامل متعددة

(شكل ٧-٨).

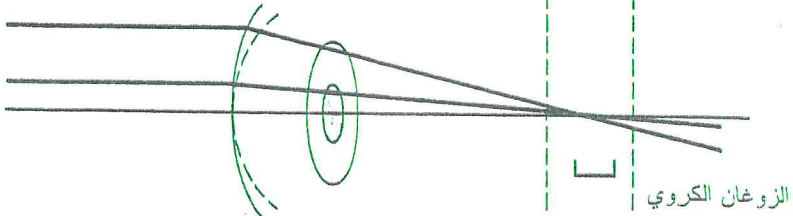
أ- التأثير إذا كانت القرنية كروية



ب- تأثير الانحناء القرني اللامسطح



ج- تأثير الانكسار الأعلى لنواة العدسة



شكل ٧-٨: الزوغان العيني الكروي: آليات المعاوضة.

١- السطح الأمامي للقرينة أكثر تسطحاً في المحيط منه في المركز، وبالتالي

فإنه يعمل على شكل سطح اللامسطح Aplanatic.

٢- قرينة انكسار نواة العدسة في العين أعلى مما هي عليه في القشر.

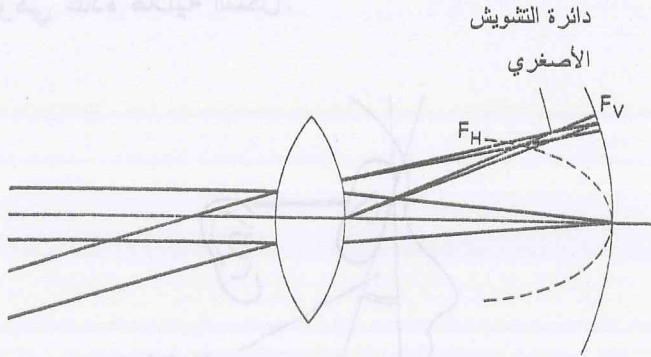
بالتالي فإن القوة الكاسرة للمنطقة المحورية من البلورة أعلى مما هي عليها في المحيط.

٣- تعمل القرحية في العين أيضاً على شكل ساترة لإنقاص الزوغان الكروي. إن تدني الرؤية الحادث لدى توسع الحدقة ينتج بشكل كامل تقريباً عن الزوغان الكروي. الحجم الأمثل للحدقة هو ٢-٢,٥ مم.

٤- أخيراً، فإن المخاريط الشبكية أكثر حساسية بكثير للضوء الذي يدخل العين في المنطقة حول المحورية من الضوء الذي يدخل بشكل مائل عبر القرنية المحيطية (تأثير ستايلز-كراوفورد Stiles-Crawford). تحد هذه الحساسية التوجيهية للمخاريط من التأثيرات البصرية للزوغان الكروي المتبقي في العين.

الخرج المائل Oblique astigmatism

الخرج المائل عبارة عن زوغان يحدث عند ورود أشعة ضوئية على عدسة كروية بشكل مائل. عند وصول الحزمة الضوئية إلى سطح العدسة بشكل مائل يحدث تأثير حيدوي Toric. تشكل الأشعة الصادرة مخروط ستورم مع محرقين خطيين (شكل ٨-٨).



شكل ٨-٨: الخرج المائل.

يحدث الخرج المائل في عدسات النظارات عندما لا يكون خط الرؤية موازياً للمحور الرئيسي للعدسة. لا يمكن تجنب هذا الأمر في حالة القسم القريب من العدسة متعددة المحارق. قد يكون أيضاً سبباً لتدني حدة

البصر عند المرضى المصابين بتحدد في حركات العين، والذين يلجأون لوضعية رأس معاوضة وينظرون بشكل مائل من خلال الأقسام المحيطة لعدسات النظارات. من الواضح أنه كلما كانت قوة عدسات النظارات أكبر كلما كانت القوة الاسطوانية غير المرغوبة المحدثة بالزوغان أكبر. يقضي البالغون معظم وقتهم في الحياة اليومية-ينظرون للأسفل قليلاً من الوضعية الأولية، وبالتالي فإن النظارات تميل باتجاه الوجنة مع الحواف السفلية للنظارات (شكل ٨-٩). ينقص ذلك أيضاً بشكل خفيف من ميلان قسم القراءة في العدسات متعددة المحارق. لكنه قد يكون سبباً لعدم تحمل النظارات عالية القوة، إذا ما استعمل إطار جديد ذا زاوية ميلان مختلفة عن زاوية ميلان النظارات القديمة. يتأثر الحرج المائل بشكل ملحوظ بشكل العدسات المستعملة. إنه أسوأ بكثير في العدسات محدبة الوجهين ومقعرة الوجهين منه في العدسات الهلالية. تم إجراء الحسابات وتصميم الجداول للدلالة على الشكل الأمثل من العدسات المفردة لإنقاص كل من الزوغان الكروي والمائل. تعرف هذه العدسات بالعدسات ذات الشكل الأفضل best form lenses، وهي عادةً هلالية الشكل.



شكل ٨-٩: زاوية الميلان البانورامي.

الخرج المائل العيني

يحدث هذا الزوغان في العين البشرية، لكن تأثيره البصري قليل جداً. العوامل التي تخفف من الخرج المائل العيني هي التالية:

١- ينقص الانحناء اللاكروي للقرنية كلاً من الخرج المائل والزوغان الكروي.

٢- ليست الشبكية سطحاً مستوياً وإنما هي سطح كروي. في الممارسة فإن نصف قطر انحناء الشبكية في العين السديدة يجعل دائرة التشويش الأصغري لمخروط ستورم المتشكلة بوساطة الخرج المائل تقع على الشبكية (شكل ٨-٨).

٣- أخيراً، فإن الخيال الحرجي يقع على الشبكية المحيطة ذات قوة التمييز الضعيفة نسبياً مقارنةً مع الشبكية المركزية. بالتالي فإن التقدير البصري للخيال الحرجي محدود.

الذؤابة Coma

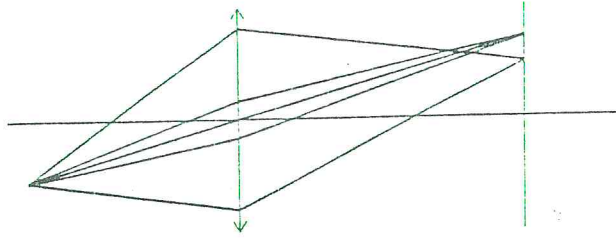
الذؤابة هي بالحقيقة زوغان كروي ينطبق على الضوء الآتي من نقاط لا تقع على المحور الرئيسي. تنحرف الأشعة التي تمر من خلال محيط العدسة أكثر من الأشعة المركزية وتتجمع في محرق أقرب إلى المحور الرئيسي (شكل ٨-١٠). يؤدي ذلك إلى تكبير غير متساو للخيال المتشكل من قبل المناطق المختلفة للعدسة. الخيال المركب ليس دائرياً وإنما متطاولاً مثل الجسم المذنب أو الذؤابة.

تصحيح زوغانات الذؤابة

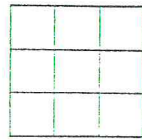
يمكن تجنب هذا الزوغان بجعل الأشعة تمر حصرياً في المنطقة المركزية للعدسة كما في حالة اللابؤرية المائل، وباستعمال المحور الرئيسي للعدسة أكثر من المحور الثانوي. ليس لزوغان الذؤابة العيني أهمية عملية للأسباب المذكورة في بحث الخرج المائل.

تشوه الخيال

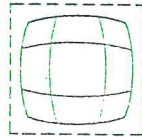
عند النظر إلى جسم متطاوّل من خلال عدسة كروية، فإن حواف الجسم تبدو مشوهة عند النظر إليها من خلال المناطق المحيطة للعدسة (شكل ٨-١١). ينتج ذلك عن زيادة التأثير الموشوري لمحيط العدسة الذي يسبب تكبيراً غير متجانس للجسم. تسبب العدسة المقعرة تشوه البرميل barrel distortion، بينما تسبب العدسة المحدبة تشوه وسادة الدبابيس Pin cushion. تسبب هذه التأثيرات إزعاجاً حقيقياً لذوي النظارات عالية القوة. مثال: مرضى اللابورة.



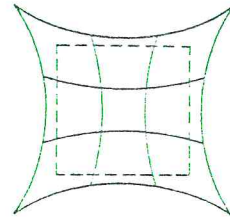
شكل ٨-١٠: زوغان الذواية.



الخيال الأصلي



تشوه البرميل

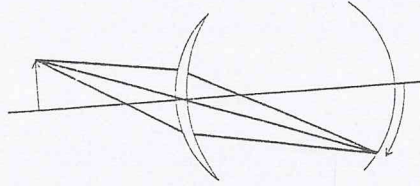


تشوه وسادة
الدبابيس

شكل ٨-١١: تشوه الخيال.

انحناء الساحة

يدل اصطلاح "انحناء الساحة" على أن جسماً مستوياً يعطي خيلاً منحنياً (شكل ٨-١٢). يحدث ذلك حتى عندما يتم التخلص من الزوغان الكروي والخرج المائل والذؤابة. يعتمد التأثير على قرينة انكسار مادة العدسة وانحناء سطوح العدسة.



شكل ٨-١٢: انحناء الساحة.

انحناء الساحة في العين

يعاوض انحناء الشبكية في العين عن انحناء الساحة.

الفصل التاسع

الانكسار بوساطة العين

مقدمة

إن معادلة العدسات الرقيقة غير ملائمة للتعامل مع الجهاز الكاسر للعين، الذي يتركب من عدد من السطوح الكاسرة التي تفصل عن بعضها بمسافات طويلة نسبياً.

يمكن تطبيق نظرية ومعادلة الانكسار بوساطة العدسات الثخينة مباشرة على العين. بالتالي، سنناقش هنا الانكسار بوساطة العدسات الثخينة، ثم سنطبق تلك المبادئ على العين.

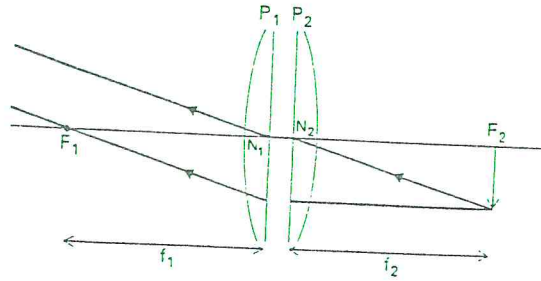
نظرية العدسات الثخينة

النقاط الأساسية

يجب التأكيد على أن معادلة العدسات الرقيقة تتجاهل ثخانة العدسة وتعتبر حدوث الانكسار على سطحي العدسة فقط. تصبح هذه المقاربة غير صحيحة في حالة العدسات الثخينة نظراً للفاصل الواسع بين السطحين الكاسرين بمادة العدسة. إن التحليل الرياضي الكامل للانكسار في العدسات الثخينة معقد جداً. تم تبسيط ذلك بتقديم مفهوم النقاط الرئيسية والمستويات الرئيسية. هذه المستويات والنقاط نظرية، حيث إن الشعاع الوارد على النقطة أو المستوى الرئيسي الأول $p1$ يغادر النقطة أو المستوى الرئيسي الثاني $p2$ بنفس البعد الشاقولي عن المحور الرئيسي (شكل ٩-١). يمكن حساب الوضعية الدقيقة للنقطة الرئيسية من انحناء سطحي العدسة وثخانة العدسة وقرينة انكسار مادة العدسة. يتقاطع المستويان الرئيسيان مع المحور الرئيسي بزوايتين قائمتين عند النقطتين الرئيسيتين.

توجد نقطتان أخريان هما النقطتان العقديتان N_1 و N_2 تتطابقان مع مركز العدسة الرقيقة. أي شعاع ضوئي يتجه نحو النقطة العقدية الأولى N_1 ، يغادر العدسة كما لو أنه أت من النقطة العقدية الثانية N_2 ، وموازي لمساره الأصلي، أي غير منحرف. عندما يكون الوسطان على جانبي العدسة الشخينة متماثلين، تتطابق النقطتان العقديتان مع النقطتين الرئيسيتين، أما إذا كان الوسطان مختلفين فإن هذه النقاط لا تتوافق مع بعضها.

للمحرقين الرئيسيين F_1 ، F_2 نفس الدلالة كما في العدسة الرقيقة، ويقاس الطولان المحرقيان f_1 ، f_2 من النقطتين الرئيسيتين.



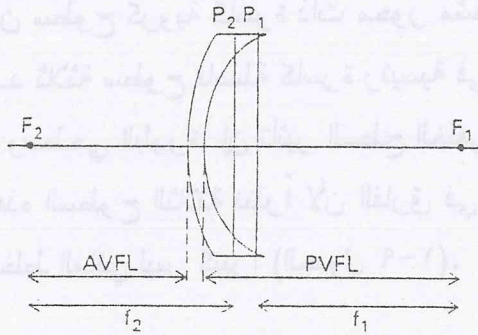
شكل ٩-١: عدسة شخينة. النقاط الأساسية.

القوة القمية والمكافئة للعدسات الشخينة

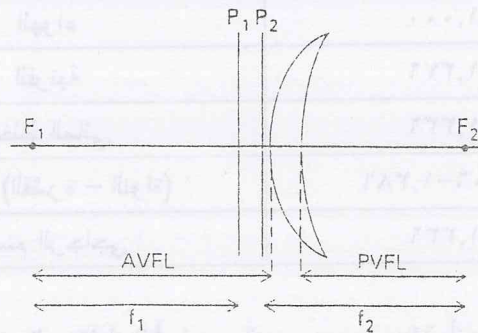
يظهر الشكلان (٩-١ و ٩-٢) أن النقطتين الرئيسيتين لا تتوضعان على سطح العدسة. قد تتوضعان ضمن العدسة أو - في العدسات هلالية الشكل - خارج مادة العدسة. إن القياس المعطى من قبل بعض الأجهزة مثل المقياس المحرقي - في الممارسة - هو المسافة بين المحرق الرئيسي والسطح المركزي للعدسة أو قمتها. هذه المسافة هي الطول المحرقي القمي الأمامي والخلفي (AVFL أو PVFL)، ويجب أن يميزان عن الطول المحرقي f_1 أو f_2 . بالإضافة لذلك، تجدر الملاحظة بأن الطولين المحرقيين القميين الأمامي

والخلفي غير متساويين (شكل ٩-٢). يعادل مقلوب الطول المحرقى القمي الخلفي، مقدراً بالأمتار، القوة القمية الخلفية، مقدرة بالكسرات. تختلف هذه القمية عن القوة المحرقة الحقيقية أو القوة المكافئة للعدسة. يتم حساب القوة المكافئة للعدسة الثخينة من قوى سطحي العدسة مضافاً إليها تصحيح للغير في الجنوح الناتج عن ثخانة العدسة. قد يكون التناقص بين القوة المكافئة والقمية الخلفية سبباً للخطأ في تركيب العدسات عالية القوة أو العدسات اللاصقة شديدة الانحناء. على كل حال فإن مصنعي العدسات وأخصائيي البصريات على علم بهذه المشكلة، وتوجد جداول رياضية تسمح بإجراء التعديل الملائم.

أ- هلال مقعر



ب- هلال محدب



شكل ٩-٢: عدسة ثخينة: الطول المحرقى القمي والحقيقي.

تصنف عدسات النظارات وفقاً لقوتها القمية الخلفية نظراً لأن طولها المحرققي القمي الخلفي ذو صلة وثيقة مع تصحيح العيوب البصرية للعين. يجب أن يتوافق المحرق الرئيسي الثانوي للعدسة مع نقطة مدى العين لتشكيل خيال شبكي واضح يجب عدم الالتباس بين القوة القمية الخلفية والبعد القمي الخلفي الذي هو البعد بين العين والقمة الخلفية لعدسة النظارة.

الانكسار في العين

إن التحليل السابق للانكسار بواسطة العدسة الثخينة هو ببساطة تطبيق لنظرية Gaussian في النقاط الأساسية. يمكن تطبيق النظرية على أي جهاز يتألف من سطوح كروية كاسرة ذات محور مشترك، بما فيها العين البشرية. توجد ثلاثة سطوح فاصلة كاسرة رئيسية في العين هي: السطح الأمامي للقرنية، وسطحي البلورة. إن تأثير السطح الخلفي للقرنية صغير جداً مقارنةً مع هذه السطوح الثلاثة نظراً لأن الفارق في قرينة الانكسار بين لحمة القرنية والخلط المائي ليس كبيراً (الجدول ٩-١).

الجدول ٩-١ قرائن انكسار الأوساط الشفافة في العين (Gullstrand).

١,٠٠٠	الهواء
١,٣٧٦	القرنية
١,٣٣٦	الخلط المائي
١,٤٠٦-١,٣٨٦	البلورة (القشرة - النواة)
١,٣٣٦	الجسم الزجاجي

لحساب النقاط الأساسية يجب معرفة أنصاف أقطار الانحناء والمسافات الفاصلة بين السطوح الكاسرة. تم تحديد هذه النقاط تجريبياً من قبل عدد من الباحثين. وكما هو الحال في أي قياسات تشريحية، تحدث بعض

التفاوتات الفيزيولوجية، والقيم المعطاة هي القيم الوسطية. إن النتائج المبينة في الجدول (١-٩ و ٢-٩ و ٣-٩) هي نتائج Gullstrand نظراً لأن الحسابات في العين الترسيمية والمختصرة تعتمد عليها.

جدول ٢-٩: مواضع السطوح الكاسرة في العين

(مقدرة بالميليمتر خلف السطح الأمامي للقرنية).

٠	القرنية، السطح الأمامي
٠,٥	القرنية، السطح الخلفي
٣,٦	البلورة، السطح الأمامي
٧,٢	البلورة، السطح الخلفي
*٤,١٤٦	نواة البلورة، السطح الأمامي
*٦,٥٦٥	نواة البلورة، السطح الخلفي

* قيم محسوبة

جدول ٣-٩: أنصاف أقطار انحناء السطوح الكاسرة في العين (مقدرة بالميليمتر).

٧,٧	القرنية، السطح الأمامي
٦,٨	القرنية، السطح الخلفي
١٠,٠	البلورة، السطح الأمامي
٦,٠-	البلورة، السطح الخلفي
*٧,٩١١	نواة البلورة، السطح الأمامي
*٥,٧٦-	نواة البلورة، السطح الخلفي

* قيم محسوبة

تعرف هذه القياسات بالثوابت البصرية للعين. لكن توجد عدة مجموعات أخرى من القياسات تختلف عن بعضها البعض بشكل خفيف. لا توجد أي واحدة من هذه المجموعات ذات استعمال اصطلاحي عام.

العين الترسيمية The Schematic eye

يعبر عن الجهاز الانكساري في العين الترسيمية، التي وصفها Gullstrand ، بنقاطه الأساسية (جدول ٩-٤).

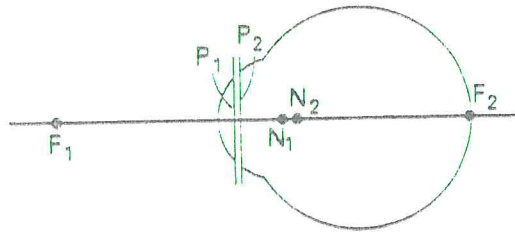
جدول ٩-٤: العين الترسيمية، النقاط الأساسية

(المسافة مقدرة بالميليمتر إلى الخلف من السطح الأمامي للقرنية).

١,٣٥	النقطة الرئيسية الأولى P_1
١,٦٠	النقطة الرئيسية الثانية P_2
*٧,٠٨	النقطة العقدية الأولى N_1
٧,٣٣	النقطة العقدية الثانية N_2
١٥,٧-	النقطة المحرقة الأولى
٢٤,٤	النقطة المحرقة الثانية
٥٨,٦٤+	القوة الكاسرة

* تم حسابها من قبل Percival (١٩٢٨).

لاحظ أنه قد تمت إزالة النقطتين العقديتين - اللتين تمر الأشعة الضوئية من خلالهما دون أن تتحرف- من النقطتين الرئيسيتين اللتين تتوضعان عند تقاطع المستويين الرئيسيين مع المحور الرئيسي (شكل ٩-٣). إن ذلك ناتج عن كون الوسطين الكاسرين على جانبي الجهاز الكاسر للعين مختلفين، وهما الهواء ($n=1$) والزجاجي ($n=1.336$).



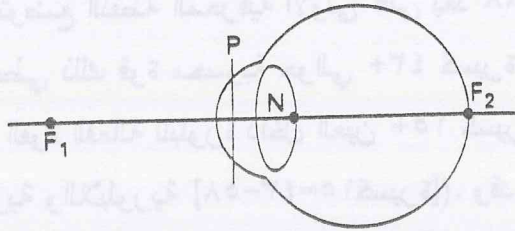
شكل ٩-٣: العين الترسيمية.

تتوضع النقطتان العقديتان على جانبي القطب الخلفي للبلورة.
تسمح الحدقة لحزمة ضوئية صغيرة نسبياً جانب محورية بالدخول
للعين. تنكسر هذه الأشعة الجانبية محورية وتتركز عبر النقطتين العقديتين
ومادة البلورة الخلفية المجاورة. بالتالي يمكن حتى لساد قطبي خلفي صغير
أن يسبب تدنياً شديداً في الرؤية عندما تكون الحدقة صغيرة.

العين المختصرة The reduced eye

تم تبسيط المسائل أكثر من قبل Listing (١٨٥٣) الذي اختار نقطة
رئيسية وحيدة تتوضع في منتصف المسافة بين النقطتين الرئيسيتين للعين
الترسيمية.

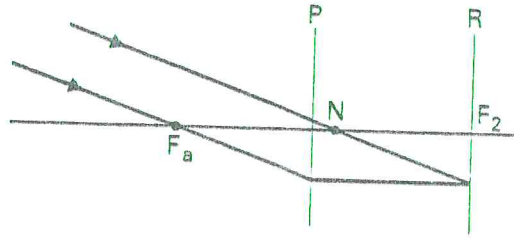
تم افتراض نقطة عقدية وحيدة بنفس الطريقة، وتم تعديل الطولين
المحرقين وفقاً للنقطة الرئيسية الجديدة. النتيجة هي العين المختصرة (شكل
٤-٩، جدول ٥-٩) التي يتم التعامل مع العين فيها كسطح كاسر وحيد ذو
قوة +٥٨,٦ كسيرة.



شكل ٤-٩: العين المختصرة.

(المسافات مقدرة بالميليمتر خلف السطح الأمامي للقرنية).

١,٣٥	النقطة الرئيسية P
٧,٠٨	النقطة العقدية N
١٥,٧-	النقطة المحرقة الأولى
٢٤,١٣	النقطة المحرقة الثانية



الجدول ٩-٥: العين المختصرة

توجد مجموعات عديدة من الأشكال للعين المختصرة. تعتمد تلك الموردة هنا على معلومات Gullstrand. يجب التأكيد على أن بعدي النقطتين المحرقتين يقاسان بدءاً من السطح الأمامي للقرنية.، الطولان المحرقيان الموافقان المقاسان بدءاً من النقطة الرئيسية هما: ١٧,٠٥ مم و ٢٢,٧٨ مم. لاحظ أن النقطتين العقديتين تتوضعان في القسم الخلفي من البلورة، بينما تتوضع النقطة المحرقة الثانية على بعد ٢٤,١٣ مم خلف القرنية، أي: على شبكية العين الطبيعية.

تبين تجريبياً أن الطول المحرقي الأمامي للعين في حالة اللابلورة هو - ٢٣,٢٣ مم (تتوضع النقطة المحرقة الأولى على بعد ٢١,٨٨ مم إلى الأمام من القرنية). يعطي ذلك قوة محسوبة حوالي +٤٣ كسيرة للعين اللابلورية. بالتالي فإن القوة الفعالة للبلورة داخل العين +١٥ كسيرة (الفرق بين قوة العين البلورية والابلورية [٥٨-٤٣=١٥ كسيرة]). وقد قدر Gullstrand قوتها الفعلية بمعزل عن العناصر الكاسرة الأخرى في العين بـ +١٩ كسيرة. ينتج هذا الفرق من حقيقة أن البلورة عند الحي In vivo تشكل عنصراً واحداً فقط من الجهاز الكاسر الأكبر. تعد القرنية العنصر الكاسر الوحيد المتبقي في العين اللابلورية. وكما يبدو من الأشكال السابقة فإن قوتها

+٤٣ كسيرة، أي ما يعادل تقريباً ثلاثة أضعاف قوة البلورة في العين السليمة. تنتج القوة الكبيرة نسبياً للقرنية عن الفرق الكبير في قرينة الانكسار بين الهواء (١,٠٠٠) والقرنية (١,٣٧٦) مقارنة مع الخلط المائي والزجاجي (١,٣٣٦) والبلورة (١,٤٠٦) أي إن الفرق هو ٠,٣٧٦ مقابل ٠,١٤٠ (٢×٠,٠٧٠) لأن كلاً من سطحي البلورة الأمامي والخلفي يساهم في القوة الكاسرة لها. يحدث المثال الواضح على أهمية السطح الفاصل بين الهواء والقرنية عندما يفتح السباح عينيه تحت الماء، تكون الرؤية لديه مشوشة. الفرق بين قرينتي انكسار الماء والقرنية هو فقط ٠,٠٤٠ (القرنية ١,٣٧٦ - الماء ١,٣٣٦). يمكن التخلص من هذه المشكلة بارتداء نظارات تحفظ الهواء إلى الأمام من القرنية. سيستعمل شكل العين المختصرة في كل المناقشة اللاحقة لبصريات العين. لذلك ننصح الطالب بأن يحفظ القيم المذكورة هنا في ذاكرته.

العين المختصرة-تشكيل الخيال الشبكي

يمكن ببساطة تشكيل الخيال الشبكي باستعمال العين المختصرة. تتمثل العين المختصرة بحد ذاتها بخطين متوازيين يمثلان المستوي الرئيسي $P/$ والشبكية $R/$. يتقاطع هذا الخطان مع المحور الرئيسي (المحور البصري) بزوايتين قائمتين. تدل النقطة $N/$ على النقطة العقدية، والنقطة $Fa/$ على المحرق الأمامي. يقع المحرق الرئيسي الثاني $F_2/$ على الشبكية في العين السديدة (شكل ٩-٥).

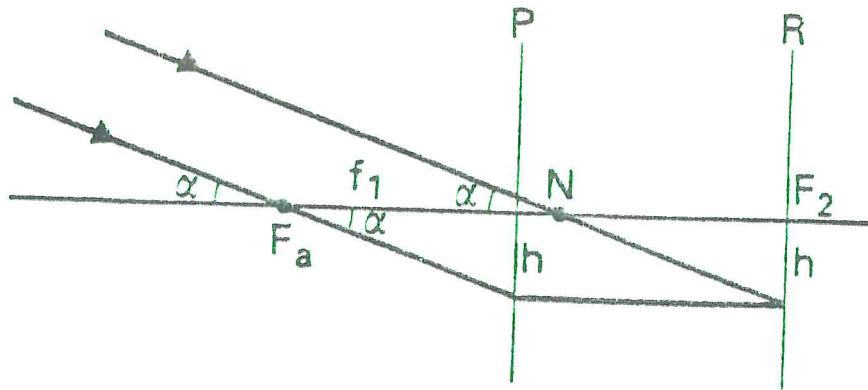
يستعمل شعاعان لتكوين الخيال المتشكل بالحزمة الضوئية المتوازية

الواردة على العين:

١- شعاع يمر من المحرق الأمامي $Fa/$ والذي يصبح بعد الانكسار عند المستوى الرئيسي $P/$ ، موازياً للمحور الرئيسي.

٢- شعاع يمر عبر النقطة العقدية N من دون أن ينحرف.
 يمكن أيضاً حساب حجم الخيال الشبكي من نفس التركيب. يظهر من الشكل (٦-٩) أن الضوء يقابل الزاوية α عند النقطة العقدية N ، وكذلك عند المحرق الأمامي F_a . بالتالي فإن حجم الخيال الشبكي يتناسب طردياً مع الزاوية التي يقابلها الجسم عند النقطة العقدية (حيث أن F ثابت في نفس العين). نظراً لأن $\tan \alpha = h / f_1 \Leftarrow h = \tan \alpha \cdot f_1$ هو حجم الخيال الشبكي).

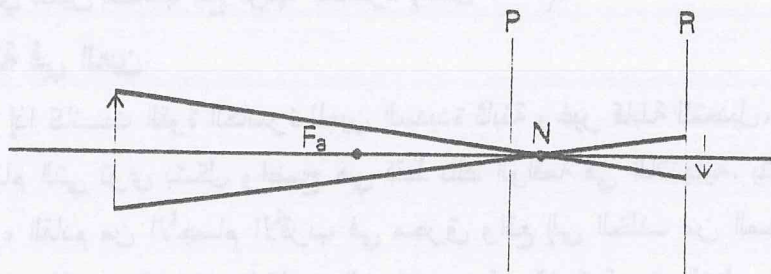
تدعى الزاوية α التي يقابلها الجسم عند النقطة العقدية بالزاوية البصرية (شكل ٦-٩، شكل ٧-٩). يمكن التقدير بأنه إذا ما اقترب جسم ذو حجم معروف من العين، فإنه يقابل زاوية بصرية أكبر، وبالتالي يظهر أكبر.



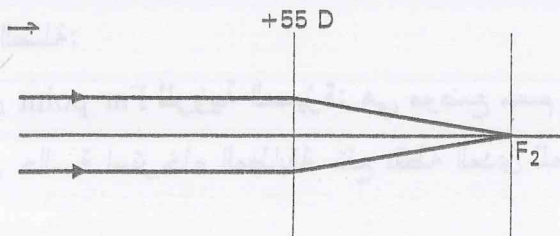
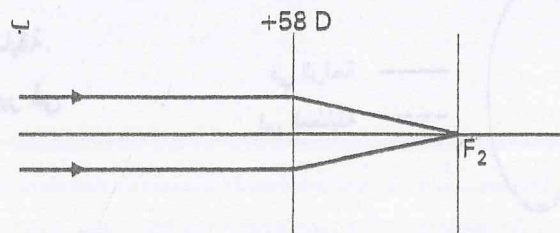
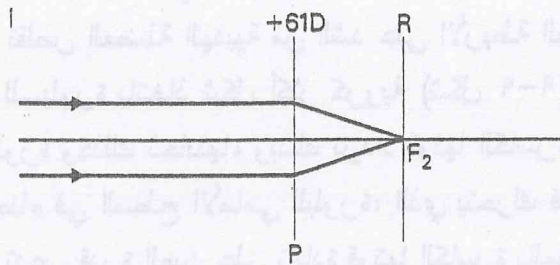
شكل ٦-٩: العين المختصرة - حجم الخيال الشبكي.

حالات متغيرة من سداد البصر

يقع المحرق الرئيسي الثاني في العين السديدة على الشبكية. بالتالي فإن الضوء المتوازي الوارد يتمحرق على الشبكية، دون الحاجة للجهد التطابقي.



شكل ٩-٧: الزاوية البصرية- جسم قريب.

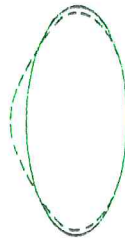


شكل ٩-٨: حالات متغيرة من سداد البصر.

تتوافق حالة سداد البصر مع مدى واسع من القوى الكاسرة إذا كان الطول المحوري للعين متناسباً مع قوتها الكاسرة (شكل ٩-٨).

المطابقة في العين

إذا كانت القوة الكاسرة للعين السديدة ثابتة وغير قابلة للتعديل، فإن الأجسام التي ترى بشكل واضح هي فقط تلك الواقعة في اللانهاية. يتجمع الضوء القادم من الأجسام الأقرب في محرق واقع إلى الخلف من المحرق الرئيسي الثاني F_2 ، ولا يتشكل خيال واضح على الشبكية. يتم التغلب على هذه المشكلة بقدرة العين على زيادة قوتها الكاسرة. تثبت البلورة في مكانها بواسطة الأربطة المعلقة التي تمارس شداً عليها وتربطها إلى حلقة العضلة الهدبية. ينقص تقلص العضلة الهدبية من الشد على الأربطة المعلقة والبلورة، مما يسمح للبلورة باتخاذ شكل أكثر كروية (شكل ٩-٩). يزداد انحناء سطحي البلورة وكذلك ثخانتها، وبذلك تزداد قوتها الكاسرة. يحدث معظم التغير في الانحناء في السطح الأمامي للبلورة، الذي يتحرك قليلاً نحو الأمام باتجاه القرنية. تدعى قدرة العين على زيادة قوتها الكاسرة بالمطابقة.



— في الراحة
--- في المطابقة

شكل ٩-٩: المطابقة.

مخطط يبين التغير في
شكل البلورة.

قبل الغوص أكثر في عملية المطابقة، من الضروري تعريف بعض العبارات ذات الصلة:

١- نقطة المدى Far point للرؤية المميزة: هي موضع جسم يقع خياله على الشبكية في حالة استرخاء المطابقة. تقع نقطة المدى للعين السديدة في اللانهاية.

٢- نقطة الكتب Near point للرؤية المميزة: هي أقرب نقطة يمكن رؤية الجسم فيها بوضوح عندما تكون المطابقة كاملة.

٣- مدى المطابقة: هو المسافة بين نقطة المدى ونقطة الكتب.

٤- سعة المطابقة: هي الفرق بالقوة الكاسرة بين العين عندما تكون بحالة الراحة وبينها عندما تكون بحالة المطابقة الكاملة.

٥- تدعى القوة الكاسرة للعين بحالة الراحة بانكسارها السكوني.

٦- تدعى القوة الكاسرة للعين بحالة المطابقة بانكسارها الحركي.

يمكن حساب سعة المطابقة رياضياً من مقلوب بعدي المدى ونقطة الكتب المقدرين بالأمتار، فنحصل على المكافئ الكسيري لكل منهما. تعطى سعة المطابقة بالعلاقة $A=P-R$: حيث A سعة المطابقة بالكسيرات، P المكافئ الكسيري لبعـد نقطة الكتب، R المكافئ الكسيري لبعـد نقطة المدى. بتطبيق هذه المعادلة على حالة عين سديدة ذات نقطة كتب ٠ اسم: (مقلوب ٠,١م) $P=10D$ (مقلوب اللانهاية هو صفر) $R = 0$ بالتالي فإن $A=10D$. لحساب القوة التطابقية اللازمة لرؤية نقطة متوسطة ضمن مدى المطابقة تطبق المعادلة $A=V-R$. حيث A هي القوة التطابقية اللازمة بالكسيرات، V هي القيمة الكسيرية للنقطة المتوسطة، R هي القيمة الكسيرية لنقطة المدى (بعد نقطة المدى في مد البصر ذو إشارة سالبة لأنها تقع خلف العين). وبذلك يجب بذل قوة تطابقية بمقدار كسيرة واحدة لرؤية جسم على بعد $m(1-0=A)$. تتناقص سعة المطابقة مع التقدم بالعمر مؤدية لحالة تعرف باسم قصو البصر، وهي تتطلب تصحيحاً بالنظارات.

نسبة التقارب التطابقي/ المطابقة

لا تحتاج العينان إلى المطابقة فحسب من أجل رؤية الجسم القريب، وإنما أيضاً يجب أن تتقاربا للحفاظ على الرؤية المشتركة. ترتبط هاتان

الوظيفتان مع بعضهما بقوة. هذا وإن عدد الكسيرات الموشورية من التقارب والتي ترافق كل كسيرة من المطابقة - نسبة التقارب التطابقي / المطابقة (AC/A) - ثابتة نسبياً لدى كل شخص. المدى الطبيعي لنسبة AC/A هو ٣:١ حتى ٥:١. يمكن قياس نسبة AC/A حتى بطرق متعددة، والتي من أكثرها دقة طريقة الشطور. تقيس هذه الطريقة الانحراف العيني لكل من البعد والقرب مع التصحيح الكامل بالنظارة:

$$AC/A = IPD + (Dn - Dd) / D$$

حيث IPD هو البعد بين الحدقتين مقدراً بالسنتيمترات، Dn هو الانحراف العيني للقرب، Dd هو الانحراف العيني للبعد، D هو المكافئ الكسيري لمسافة التثبيت القريب (تدل القيم الموجبة (+)، اصطلاحاً، على الانحراف الأنسي، والقيم السالبة (-) على الانحراف الوحشي).

يمكن قياس النسبة أيضاً بطريقة المدرج gradient التي تستعمل عدسة سالبة لتحريض المطابقة بدلاً من الجسم القريب. تكون القيم المحسوبة بهذه الطريقة أقل من تلك المحسوبة بطريقة الشطور، لكنها قد تكون أكثر

$$AC/A = (Dn - Dd) / D \quad \text{دقة:}$$

حيث D هي قوة العدسة السالبة المستعملة لتحريض المطابقة.

تظهر الزيادة غير الطبيعية في النسبة AC/A، في الممارسة السريرية، على شكل ازدياد زاوية الحول الأنسي أكثر منها للبعد. إذا كانت النسبة AC/A عالية، فقد ينتج حول أنسي بفرط التقارب، حيث تكون العينان متوازيتين عند النظر للبعد، لكنها تتقاربان نحو وضعية الحول الأنسي عند النظر للقرب. من المهم تمييز هذه الحالة عن الحول الأنسي الذي يكون متشابهاً للبعد والقرب، لأن التدبير البصري والجراحي يختلفان في هذه الحالة. يمكن السيطرة على الحول الأنسي بفرط التقارب باستعمال النظارات

ثنائية المحرق، بحيث يشمل القسم البعيد على كامل التصحيح المدي، بينما يشمل القسم القريب على زيادة في القوة الموجبة، مما يخفف أو يلغي الحاجة للمطابقة عند النظر للقريب ويساعد في الحفاظ على الرؤية المشتركة. إذا كانت الجراحة ملائمة، فإن تأخير كلتا المستقيمتين الأنسييتين يكون فعالاً في الحول الأنسي بفرط التقارب، بينما يكون تأخير مستقيمة أنسية واحدة مع تقصير المستقيمة الوحشية في نفس الجهة أكثر فعالية في الحول الأنسي غير المترافق بفرط التقارب.

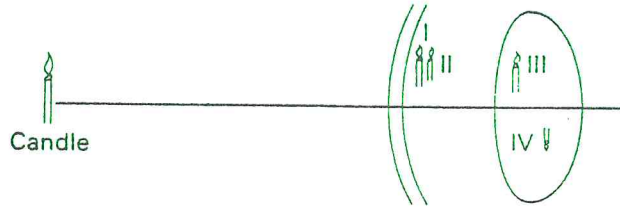
الأخيلة الانعكاسية catoptric images

تم استسقاء المعلومات المتعلقة بالتغيرات في شكل البلورة أثناء المطابقة من دراسة الأخيلة الانعكاسية في العين.

إن التغيرات التي تحدث في البلورة أثناء المطابقة غير قابلة للقياس المباشر، وبالتالي يجب اللجوء لطريقة غير مباشرة. كذلك يجب قياس الثوابت البصرية للعين (جدول ٩-١، ٩-٣) بطريقة غير مباشرة أيضاً.

تسلك كل السطوح الكاسرة في العين سلوك مرآيا كروية أيضاً، حيث تعكس جزءاً صغيراً من الضوء الوارد عليها. بالتالي تتشكل أربعة أخيلة نتيجة الانعكاس على السطوح الفاصلة الأربعة: السطحين الأمامي والخلفي للقرنية والسطحين الأمامي والخلفي للعدسة. تدعى هذه الأخيلة بالأخيلة الانعكاسية أو أخيلة بوركنجي-سانسون (شكل ٩-١٠). يعود الاسم الأخير لبوركنجي الذي كان أول من وصفها، وسانسون الذي كان أول من استعملها لأغراض تشخيصية.

الأخيلة I, II, III (من السطح القرني الأمامي، السطح القرني الخلفي، السطح البلوري الأمامي على التوالي) أخيلة صحيحة، وهمية لأنها تتشكل بوساطة سطوح عاكسة محدبة.



شكل ٩-١٠: أخيلة بوركنجي - سانسون. الوضعيات الظاهرية
كما ترى من قبل الفاحص.

الخيال IV (من السطح الخلفي للعدسة) خيال حقيقي، مقلوب لأنه يتشكل بواسطة سطح عاكس مقعر. عند استعمال الأخيلة II, III, IV لإجراء القياسات، يجب أخذ الانكسار الذي يحدث للضوء المنعكس عند إعادة خروجه من العين في الحسبان. يظهر الشكل (٩-١٠) الوضعيات الظاهرية للأخيلة عندما ينظر إليها من قبل الفاحص. لكن الأخيلة الفعلية تتوضع أكثر عمقاً داخل العين: يتوضع الخيال I إلى الخلف مباشرة من المحفظة الأمامية للبلورة، ويتوضع الخيال II خلفه تماماً. يتوضع الخيال III في الزجاجي، أما الخيال IV فهو مقلوب ويتوضع في المادة الأمامية للبلورة لأنه يأتي من السطح الخلفي المقعر للبلورة.

إن استعمال الخيال الأول لدراسة انحناء القرنية الأمامية روتيني في الممارسة السريرية. يتم فحص انتظام الانحناء باستعمال قرص بلاسيدو، ويقاس نصف قطر الانحناء باستعمال مقياس القرنية. يستعمل الخيال الأول أيضاً في تشخيص وقياس الحول.

تم الحصول أيضاً على معلومات أكثر تتعلق بالتغير في شكل البلورة أثناء المطابقة من دراسة الخياليين III و IV.

الفصل العاشر

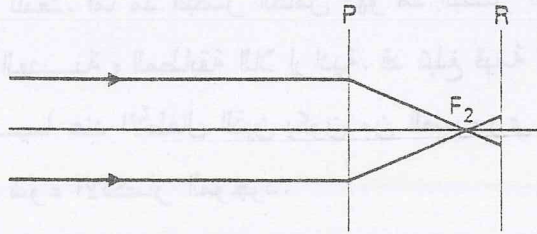
بصريّات مساوئ الانكسار

مقدمة

على النقيض من سداد البصر، فإن العين المصابة بسوء الانكسار تفشل في تجميع الضوء الوارد المتوازي في محرق واقع على الشبكية، أي إن المحرق الرئيسي الثاني للعين لا يقع على الشبكية.

حسر البصر Myopia

يقع المحرق الرئيسي الثاني أمام الشبكية في العين الحسيرة (شكل ١-١٠). قد يحدث ذلك لكون العين طويلة بشكل غير طبيعي. يدعى ذلك بالحسر المحوري وهو حسر عالٍ، حيث يترافق مع عتبة خلفية.



شكل ١-١٠: حسر البصر.

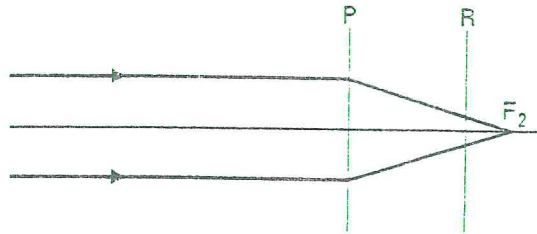
بدلاً من ذلك، قد تكون العين ذات طول طبيعي، لكن القوة الكاسرة قد تكون عالية. يدعى ذلك بالحسر الانكساري. من الأمثلة على ذلك: القرنية المخروطية التي تكون فيها القوة الكاسرة للقرنية عالية، تصلب النواة الذي تزداد به القوة الكاسرة للبلورة عندما تصبح النواة أشد كثافة.

مد البصر Hypermetropia

يتوضع المحرق الرئيسي الثاني في العين المديدة خلف الشبكية (شكل ١٠-٢). يكون المد محورياً إذا كانت العين قصيرة نسبة للقوة المحرقة، بينما يكون المد انكسارياً إذا كانت القوة الكاسرة للعين غير كافية. تعد اللا بلورة مثلاً واضحاً على مد البصر الانكساري.

يستطيع المرضى الذين يمتلكون عدسة طبيعية أن يسيطروا على كامل مد البصر لديهم أو جزء منه باستعمال المطابقة للرؤية البعيدة. عند ذلك، يجب عليهم بذل المزيد من الجهد التطاقي للرؤية القريبة. ونظراً لأن سعة المطابقة تتناقص مع التقدم بالعمر، فإن هؤلاء المرضى يحتاجون نظارات قراءة بعمر مبكر نسبةً للمرضى السديدين.

يصنف مد البصر إلى مد بصر كامن Latent ومد بصر ظاهري manifest يعرف مد البصر الظاهري بأنه أقوى عدسة محدبة تحافظ على الرؤية الواضحة للبعد. أما مد البصر الكامن فهو مد البصر المتبقي والذي تخفيه المقوية الهدبية والمطابقة اللا إرادية. قد تبلغ قيمة هذا المد عدة كسيرات، ولا سيما عند الأطفال الذين يكون من الضروري شل المطابقة لديهم لمعرفة كامل سوء الانكسار الموجود.

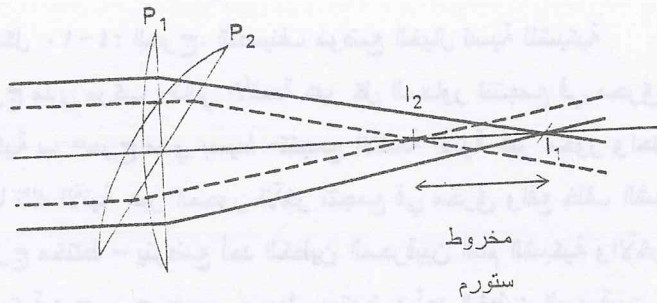


شكل ١٠-٢: مد البصر.

يدعى مد البصر الذي يمكن التغلب عليه بالمطابقة بالاختياري Facultative، بينما يدعى مد البصر الذي يفوق سعة المطابقة بالمطلق . absolute

حرج البصر Astigmatism

تختلف القوة الكاسرة للعين الحرجية من محور لآخر. يتشكل الخيال عل شكل مخروط ستورم. إذا شكل المحوران الرئيسيان مع بعضهما زاوية 90° ، يكون الحرج منتظماً Regular astigmatism، شكل (١٠-٣ و ١٠-٤).

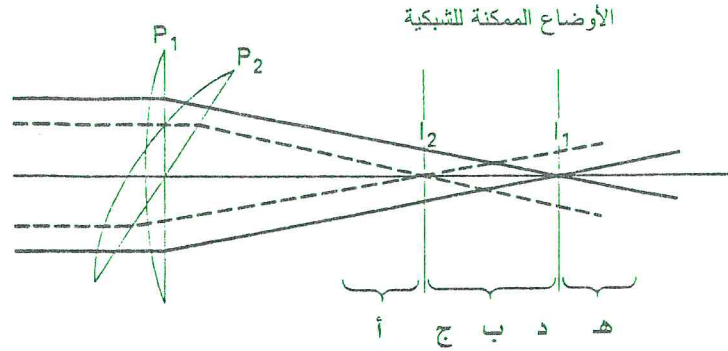


الشكل ١٠-٣: الحرج: تشكل الخيال.

إذا كانت الزاوية بين المحورين الرئيسيين 90° لكنهما لا يتوضعان على المحور 90° أو قربه وعلى المحور 180° أو قربه، يكون الحرج مائلاً astigmatism Oblique. أما إذا لم يشكل المحوران الرئيسيان مع بعضهما زاوية 90° ، يكون الحرج غير منتظم Irregular astigmatism ولا يمكن تصحيحه بالنظارات.

تفاوت سوء الانكسار Anisometropia

تدعى الحالة التي يكون فيها الانكسار مختلفاً بين العينين بتفاوت الانكسار. الدرجات الصغيرة من تفاوت سوء الانكسار شائعة التوارد، أما الدرجات الكبيرة فهي سبب هام للغطش.



الشكل ١٠-٤: الحرج، التصنيف موضع الخيال نسبة للشبكية

الشبكية أ = حرج مدي مركب - تأتي الأشعة عبر كل المحاور لتتجمع في محرق خلف الشبكية. الشبكية ب = حرج مدي بسيط - تتجمع الأشعة الآتية عبر محور واحد على الشبكية، بينما تلك الآتية عبر المحور الآخر تتجمع في محرق واقع خلف الشبكية. الشبكية ج = حرج مختلط - يتوضع أحد الخطين المحرقين أمام الشبكية والآخر خلف الشبكية، الشبكية د = حرج حشري بسيط - يتوضع أحد الخطين المحرقين على الشبكية والآخر أمام الشبكية، الشبكية هـ = حرج حشري مركب - تأتي الأشعة عبر كل المحاور وتمحرق أمام الشبكية.

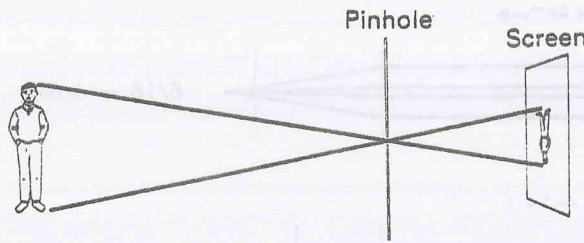
إن التفاوت بمقدار أكبر من كسيرة واحدة عند المريض المديد كاف لإحداث غطش في العين الأكثر مداً نظراً لأن المطابقة وظيفية متعلقة بالعينين، إذ لا يمكن للعينين أن تطابقا بمقادير مختلفة. بالتالي فإن الرؤية في العين الأكثر مداً تبقى غير واضحة. تفاوت سوء الانكسار عند المريض الحسير أقل احتمالاً لأن يسبب غطشاً، لأن الرؤية القريبة تكون واضحة في كلتا العينين. ولكن مع ذلك عندما تكون إحدى العينين حسيرة بشدة فإنها تصاب بالغطش عادةً. عندما يصاب المرضى الأكبر سناً بتصلب النواة ذو الشدة المتفاوتة بين العينين، مع ما ينتج عن ذلك من حسر انكساري في إحدى العينين أكثر من الأخرى فإنهم لا يتحملون التصحيح الكامل بالنظارات

للعين الأشد حسراً لأنهم غير معتادين على التعامل مع تفاوت سوء الانكسار. لكن قد يتحمل المرضى الحسيين المصابين بتفاوت سوء الانكسار طيلة حياتهم درجات أعلى من التفاوت، وقد تتطور لديهم رؤية مشتركة حتى في حال وجود تفاوت أكثر من كسيرتين بين العينين.

اختبار الثقب الضيق pin-hole test

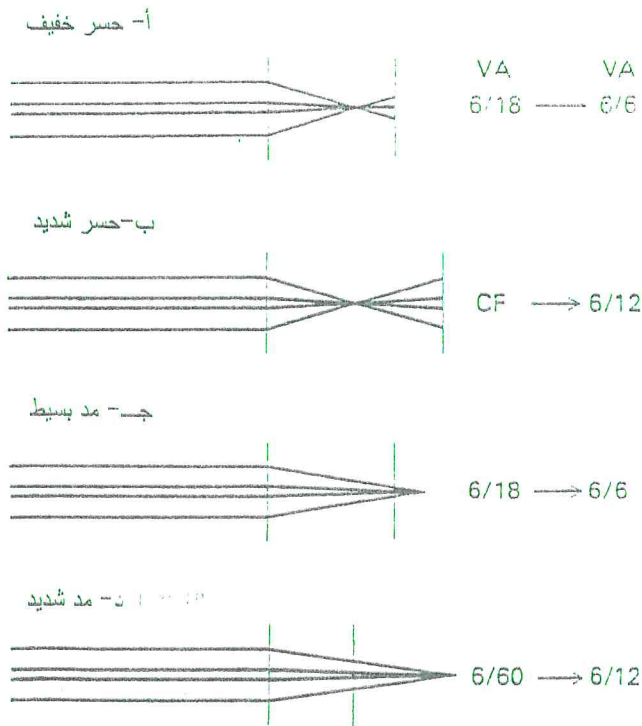
نظراً لعدم تشكل خيال واضح على الشبكية في العين المصابة بسوء الانكسار، فإن حدة البصر تكون متدنية. يعد اختبار الثقب الضيق طريقة مفيدة لتحديد فيما إذا كان تدني حدة البصر ناتجاً عن سوء انكسار عن آفة عينية أو عصبية. إذا كانت حدة البصر متدنية بسبب سوء الانكسار فإنها ستتحسن بشكل ملحوظ بعد إضافة الثقب الضيق. أما إذا كان السبب وجود آفة عينية، فلن يحدث تحسن في حدة البصر بعد إضافة الثقب الضيق، حتى أنها قد تصبح أسوأ عند وجود آفة في اللطخة.

يسمح الثقب الضيق نظرياً لشعاع واحد فقط من كل نقطة من الجسم بالمرور عبره إلى الشاشة. بذلك يتشكل خيال واضح بغض النظر عن موقع الشاشة (شكل ١٠-٥). بنفس الطريقة، يؤدي استعمال الثقب الضيق المثالي إلى تشكل خيال شبكي واضح مهما كانت الحالة الانكسارية للعين.



شكل ١٠-٥ المبدأ البصري للثقب الضيق.

لكن الثقب الضيق المتوفر في الممارسة السريرية يسمح لحزمة ضيقة من الضوء بالمرور من خلاله، وليس لشعاع واحد فقط. يظهر الشكل (١٠-٦) أن تأثير الثقب الضيق في الدرجات الخفيفة من سوء الانكسار كافٍ لتحسين وضوح الخيال الشبكي بدرجة تسمح بالحصول على حدة بصرية جيدة. لكن على الرغم من أن الثقب الضيق قد يكون مفيداً في الدرجات العالية من سوء الانكسار، فإن الخيال الشبكي يبقى منتشرراً جداً بحيث لا يسمح بحدوث نفس التحسن الملاحظ في الدرجات الخفيفة. بالتالي لا يتم تصحيح أسوء الانكسار خارج المدى -٤ حتى +٤ كسيرة إلى حدة بصرية ٦/٦ بواسطة الثقب الضيق.



الشكل ١٠-٦: الثقب الضيق: التأثير العملي في سوء الانكسار.

الشق الضيق Stenopaeic slit

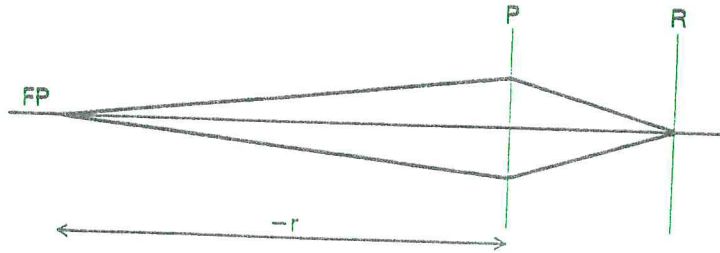
يمكن استعمال الشق الضيق لتحديد الانكسار والمحورين الرئيسيين في الحرج. يعمل الشق الضيق مثل الثقب الضيق المتطاول، حيث يسمح بدخول الضوء للعين عبر محوره فقط. وفقاً لذلك، فإنه عندما ينطبق الشق على أحد المحورين الرئيسيين للعين الحرجية، يتم حذف الخط المحرقي الثاني، وبالتالي يخف تشويش مخروط ستورم مما يسمح بتشكيل خيال أكثر وضوحاً. يتم تدوير الشق في البداية - أثناء إجراء تحديد الانكسار لدى المريض المصاب بالحرج - إلى الوضعية التي تحقق الرؤية. الأفضل تضاف العدسات الكروية لتحسين الرؤية أكثر، ثم يتم تدوير الشق ٩٠°، ويتم تعديل العدسات الكروية للحصول على أفضل حدة بصرية شخصية. يعادل التصحيح الاسطواني اللازم الفرق الجبري بين التصحيحين الكرويين المستعملين، ومحوره ينطبق على الاتجاه الأصلي للشق. يمكن استعمال الشق الضيق في حالات تنذب القرنية لتحديد المحور الذي تكون فيه القرنية أقل تشوهاً. في الحالات التي يتطلب فيها إجراء خزع قزحية بصري فإنه يجري في هذا المحور.

نقطة المدى Far point

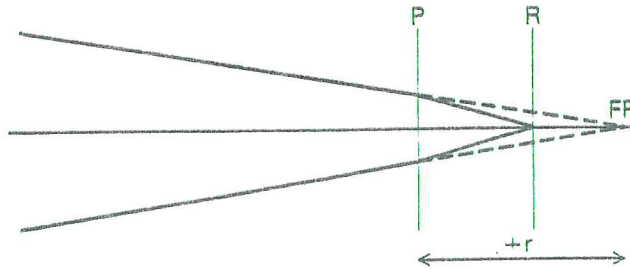
نقطة المدى في العين (FP) هي موضع الجسم الذي يقع خياله على الشبكية في حالة استرخاء المطابقة. يتمثل بعد نقطة المدى عن المحور الرئيسي للعين بالرمز r / الذي - وفقاً لاصطلاح الإشارة - يحمل إشارة سالبة إلى الإمام من المستوى الرئيسي وإشارة موجبة إلى الخلف من المستوى الرئيسي.



شكل ٧-١٠: نقطة المدى في سداد البصر هي اللانهاية.



شكل ٨-١٠: تقع نقطة المدى في حسر البصر على بعد محدد أمام العين.

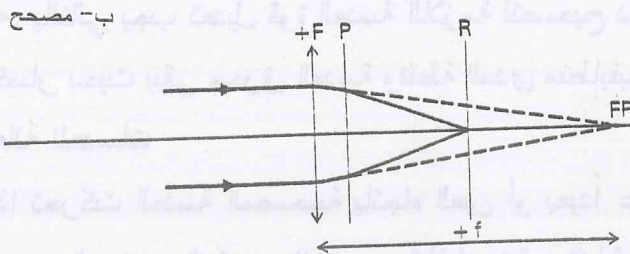
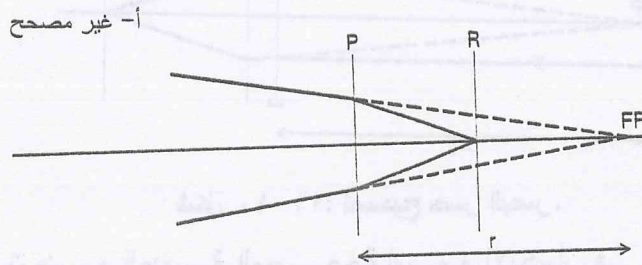


شكل ٩-١٠: نقطة المدى في مد البصر وهمية، نظراً لأن الضوء المتقارب فقط هو الذي يمكن أن يتجمع على الشبكية.

التصحيح البصري لسوء الانكسار

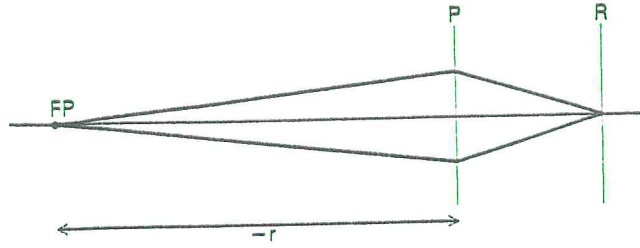
إن الهدف من العدسة المصححة في سوء الانكسار هو حرف الضوء الوارد المتوازي بحيث يظهر على أنه آتٍ من نقطة المدى في حسر البصر أو متقارب نحو نقطة المدى الوهمية في مد البصر. يتجمع الضوء عندئذ في

محرق على الشبكية من قبل العين. بذلك يجب أن تتطابق نقطة مدى العين مع النقطة المحرقة للعدسة. يعادل الطول المحرقي للعدسة تقريباً بعد نقطة المدى عن المستوى الرئيسي عندما تكون العدسة المصححة قريبة من المستوى الرئيسي (شكل ١٠-١٠، ١٠-١١). بالتالي فإن قوة العدسة اللازمة: $F = \frac{1}{f} \approx \frac{1}{r}$ حيث F قوة العدسة بالكسيرات، f الطول المحرقي للعدسة بالأمتار، r بعد نقطة المدى عن المستوى الرئيسي بالأمتار. مرة أخرى فإن $-r \approx -f$ و $-F = \frac{1}{-f} \approx \frac{1}{-r}$ يعبر عن مقلوب بعد نقطة المدى بالأمتار بـ R مقدراً بالكسيرات. يعرف R بالانكسار السكوني أو سوء الانكسار.

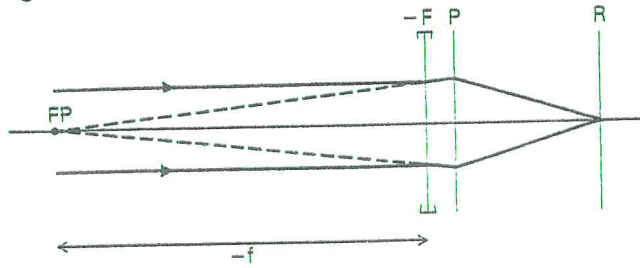


شكل ١٠-١١: تصحيح مد البصر.

أ- غير مصحح



ب- مصحح



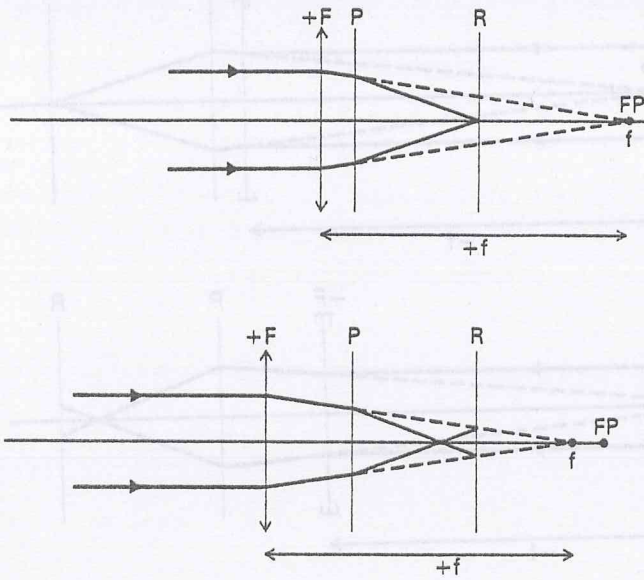
شكل ١٠-١١: تصحيح حسر البصر.

توضع العدسة المصححة لسوء الانكسار في الممارسة - في نظارات. بالتالي فإن العدسة تبعد قليلاً عن المستوى الرئيسي للعين إلى الأمام منه. بالتالي يجب تعديل قوة العدسة اللازمة لتصحيح درجة معينة من سوء الانكسار بحيث يبقى محرق العدسة ونقطة المدى متطابقين. القوة الفعالة للعدسات

إذا تحركت العدسة المصححة باتجاه العين أو بعيداً عنها، تتغير قوة الجنوح عند المستوى الرئيسي للعين. وهكذا لن تبقى نقطة المدى والنقطة المحرقة للعدسة متطابقتين (شكل ١٠-١٢، ١٠-١٣).

يمكن أن يظهر من المخطط أيضاً أنه بتحريك العدسة، سواء أكانت محدبة أم مقعرة، بعيداً عن العين، فإن الخيال سيتحرك للأمام. يقع الخيال في مد البصر غير المصحح خلف الشبكية. الهدف من العدسة المحدبة المصححة

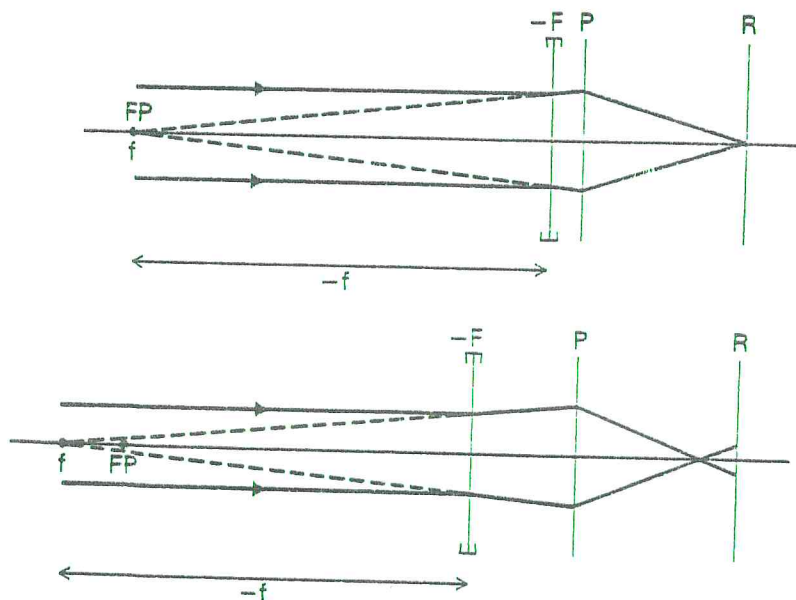
هو سحب الخيال نحو الأمام ليقع على الشبكية. عند تحريك العدسة المصححة للأمام من العين أكثر فإن الخيال يتحرك أيضاً للأمام بشكل موافق. وبذلك يقال إن فعالية العدسة قد زادت. بالتالي فإننا نحتاج في هذه الوضعية لعدسة محدبة أضعف لإبقاء الخيال على الشبكية وتصحيح مد البصر.



شكل ١٠-١٢: مخطط يظهر التبدل في فعالية العدسة المحدبة عند تحريكها بعيداً عن العين.

يقع الخيال أمام الشبكية في العين الحسيرة (شكل ١٠-١). الهدف من العدسة المقعرة المصححة هو سحب الخيال للخلف نحو الشبكية. عند تحريك العدسة المقعرة بعيداً عن العين، يتحرك الخيال أيضاً نحو الأمام. وبذلك يقال عن فعالية العدسة إنها تنقص. بالتالي نحتاج في هذه الوضعية إلى عدسة أقوى لوضع الخيال على الشبكية. قد يقوم بعض المرضى ذوي العدسات المحدبة القوية، ولاسيما أولئك المصابين باللابلورة في الممارسة، بسحب

نظاراتهم للأسفل نحو الأنف من أجل القراءة. أما الحسيرون فإنهم لا يحبذون انزلاق نظاراتهم إلى أنوفهم (ما لم تكن النظارات قوية جداً) لأن ذلك يجعل التصحيح أقل فعالية. وهكذا فإنه لتصحيح درجة من سوء الانكسار، يجب ضبط قوة العدسة المصححة بحيث يؤخذ في الحسبان موضعها إلى الأمام من العين.



شكل ١٠-١٣: مخطط يظهر التبدل في فعالية العدسة المقعرة عند تحريكها بعيداً عن العين.

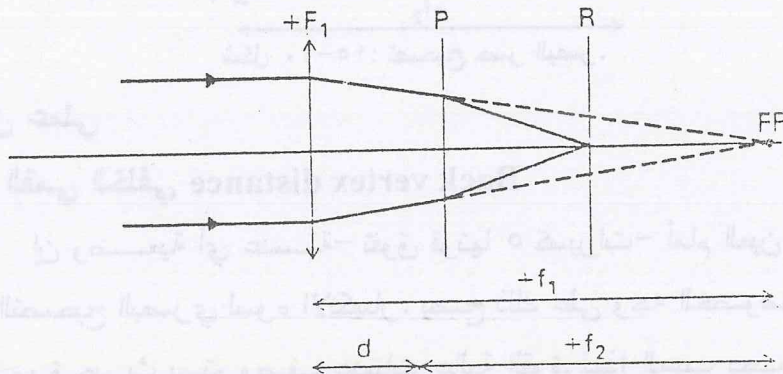
توجد معادلة عامة لهذا السبب وهي تنطبق على كل من العدسات المحدبة والمقعرة. افترض وجود عدسة ذات طول محرق f_1 في وضعية محددة إلى الأمام من عين مصابة بسوء انكسار، وهذه العدسة تصحح سوء الانكسار. ثم وضعت عدسة مختلفة ذات طول محرق $(f_1 - d)$ عندما تم تحريك العدسة المصححة إلى بعد d باتجاه العين أو بعيداً عنها (شكل ١٠-١٣).

١٠، ٤-٥). تكون قيمة d موجبة إذا تحركت العدسة نحو العين، وسالبة إذا تحركت بعيداً عنها يطبق اصطلاح الإشارة الاعتيادي على العدسة. وهكذا فإن: $F_2 = \frac{1}{f_1 - d}$ حيث F_2 هي قوة العدسة اللازمة في الوضعية الجديدة بالكسيرات، f_1 هو الطول المحرقي للعدسة الأصلية بالأمتار، و d هي المسافة المحركة بالأمتار. يمكن أيضاً التعبير رياضياً عن المعادلة السابقة بالشكل التالي:

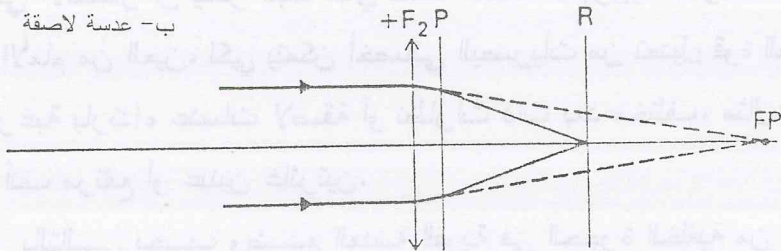
$$F_2 = \frac{F_1}{1 - dF_1}$$

حيث F_1 هي القوة الكسيرية للعدسة الأصلية.

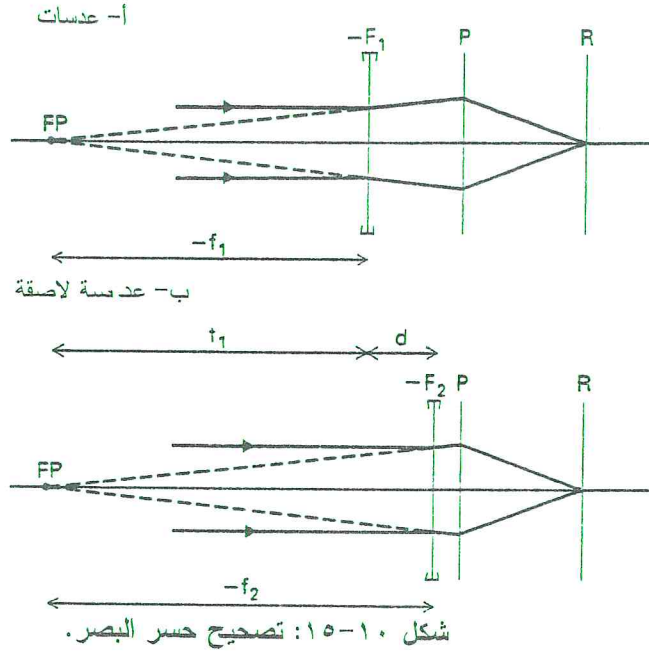
أ- عدسات



ب- عدسة لاصقة



شكل ١٠-١٤: تصحيح مد البصر.



تطبيق عملي

البعد القمي الخلفي Back vertex distance

إن وضعية أي عدسة- تفوق قوتها ٥ كسيرات- أمام العين تؤثر على التصحيح البصري لسوء الانكسار. يصح ذلك على وجه الخصوص في اللابؤرة حيث يتم وصف عدسات عالية القوة. لهذا السبب يجب على أخصائي الانكسار أن يذكر البعد الذي كانت العدسة التجريبية قد وضعت فيه إلى الأمام من العين، لكي يتمكن أخصائي البصريات من تعديل قوة العدسة عند الرغبة بارتداء عدسات لاصقة أو نظارات ذات بعد مختلف، مثال: عند وجود أنف مرتفع أو عينيْن غائرتين.

بالتالي يجب وضع العدسة القوية في الحجرة الخلفية من إطار التجربة مع قياس المسافة بين الوجه الخلفي للعدسة والقرنية. هذا ما يدعى بالبعد القمي الخلفي (BVD) ويجب أن يعطى في كل الوصفات التي تفوق

الخمس كسيرات. يمكن إجراء القياس بواسطة مسطرة توضع موازية لذراع إطار التجربة أو إلى جانب كل ذراع لإطار التجربة توجد قطعة بلاستيكية وعليها تسطير بالملمترات مرقمة. تتضمن الوسائل الأخرى مسطرة صغيرة تنزلق من خلال شق ضيق موضوع في الحجرة الخلفية لإطار التجربة حتى تلامس الأجفان المغلقة، ثم يضاف ٢ ميلليمتر للقياس (تبلغ سماكة الجفن ٢ مم).
المثال ١: أظهر الانكسار أن مريضاً لا بلورياً يحتاج عدسة (+10.0D) على بعد خلفي قمي ١٥ مم. إنه يحتاج لعدسة لاصقة (F2).

$$F_2 = \frac{F_1}{1 - dF_1}$$

القوة اللازمة للعدسة اللاصقة :

$$F_2 = \frac{+10}{1 - 0.015 \times 10} = \frac{+10}{1 - 0.15} = \frac{+10}{0.85} = 11.75D$$

المثال ٢: مريض حسير بشدة يبلغ تصحيحه (-10D) على بعد قمي خلفي ١٤ مم يحتاج لعدسة لاصقة (F2).

$$F_2 = \frac{F_1}{1 - dF_1} = \frac{-10}{1 - (+0.014 \times [-10])} = \frac{-10}{1 - (-0.14)} = \frac{-10}{1.14} = -8.75D$$

توجد جداول تعطي قيمة F2 عندما تكون قيمة F1, d معروفتين.

تكبير النظارات

يترافق التصحيح البصري لسوء الانكسار مع تبدل في حجم الخيال الشبكي. تعرف النسبة بين حجم الخيال المصحح وغير المصحح بتكبير النظارات. من المفيد أكثر، سريرياً، مقارنة حجم الخيال المصحح مع حجم الخيال في العين السديدة. تعرف هذه النسبة بتكبير النظارات النسبي. إذا وضعت العدسة المصححة في النقطة المحرقة الأمامية لعين في حالة سوء الانكسار المحوري، يبقى حجم الخيال نفسه كما في العين السديدة.

بالتالي يصبح التكبير النسبي مساوياً للواحد. لكن إذا تم ارتداء النظارة أقرب إلى العين من النقطة المحرقة الأمامية في حالة الحسر المحوري فإن حجم الخيال يزداد (شكل ١٠-١٦) .

وبذلك يصبح التكبير النسبي أكبر من الواحد. بذلك فإن للعدسات اللاصقة في الحسر المحوري تأثيراً مكبراً (شكل ١٠-١٧).

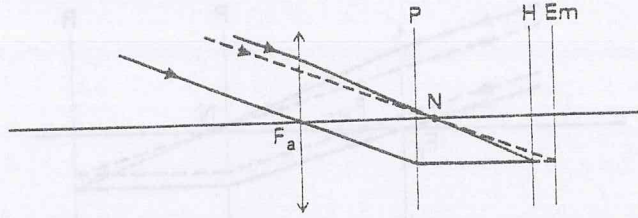
على النقيض من سوء الانكسار المحوري، فإن حجم الخيال في سوء الانكسار الانكساري يختلف عنه في العين السديدة حتى إذا تم وضع العدسة المصححة في النقطة المحرقة الأمامية للعين. يزداد حجم الخيال في مد البصر الانكساري، وبذلك يكون التكبير النسبي للنظارات أكبر من الواحد. أما في حسر البصر الانكساري فإن حجم الخيال ينقص، وبالتالي يكون التكبير النسبي أقل من الواحد (شكل ١٠-١٨).

إذا وضعت العدسة المصححة أقرب إلى العين من النقطة المحرقة الأمامية في حالة سوء الانكسار الانكساري فإن حجم الخيال يقترب من حجمه في العين السديدة. وبذلك يقترب التكبير النسبي من الواحد. يؤدي تصحيح اللابلورة بالنظارات (سوء انكسار انكساري) إلى تكبير نسبي بمقدار ١,٣٦ عندما توضع النظارات في النقطة المحرقة الأمامية للعين اللابلورية (٢٣,٢ ملم إلى الأمام من المستوي الرئيسي).

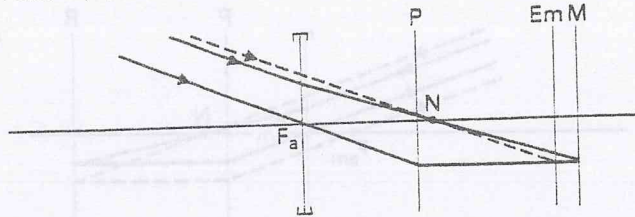
ولكن عند استعمال العدسات اللاصقة ينقص التكبير إلى ١,١ (شكل ١٠-١٩).

يتم ارتداء النظارات عادةً على بعد ١٢-١٥ ملم، إلى الأمام من القرنية، ويكون التكبير النسبي في حالة اللابلورة في هذه الوضعية تقريباً ١,٣٣.

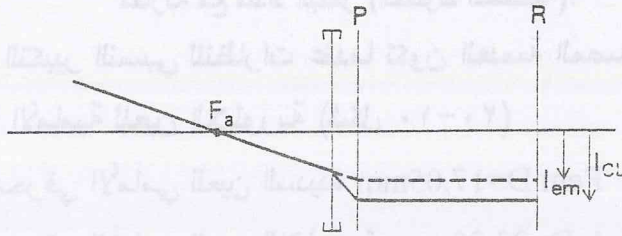
Axial hypermetropia RSM = 1



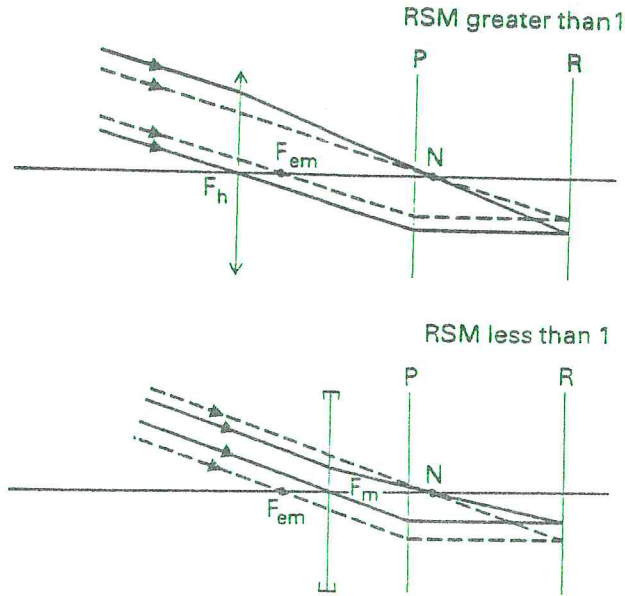
Axial myopia RSM = 1



شكل ١٠-١٦: التكبير النسبي للنظارات. سوء انكسار محوري مع كون العدسة المصححة في النقطة المحرقة الأمامية للعين. حالة سوء الانكسار (الخطوط المتصلة) مقارنة مع سداد البصر. (الخطوط المتقطعة).



شكل ١٠-١٧: التكبير النسبي للنظارات. حسر بصر محوري مع كون العدسة المصححة أقرب للعين من النقطة المحرقة الأمامية (عدسة لاصقة). حالة سوء انكسار (الخطوط المتصلة) مقارنة مع سداد البصر (الخطوط المتقطعة). I_{em} هو حجم الخيال عندما يكون التصحيح في النقطة المحرقة الأمامية، وهو يعادل حجم الخيال السديدة ICL هو حجم الخيال عندما يكون التصحيح أقرب إلى العين من النقطة المحرقة الأمامية.



شكل ١٠-١٨ : التكبير النسبي للنظارات. سوء انكسار انكساري مع كون العدسة المصححة في النقطة المحرقة الأمامية للعين. حالة سوء انكسار (الخطوط المتصلة) مقارنة مع سداد البصر (الخطوط المتقطعة).

حساب التكبير النسبي للنظارات عندما تكون العدسة المصححة في النقطة المحرقة الأمامية للعين اللابلورية (شكل ١٠-٢٠)

الطول المحرقي الأمامي للعين السديدة Fem D=17.05mm

الطول المحرقي الأمامي للعين اللابلورية Faph D=23.23 mm

حجم الخيال في العين السديدة DE=AB

حجم الخيال المصحح DG = AC =

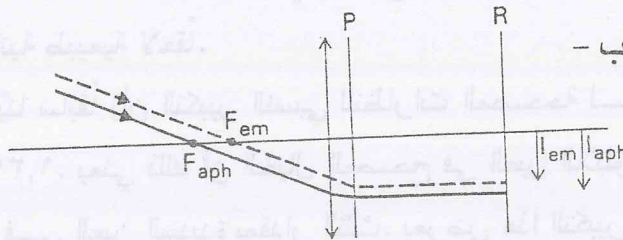
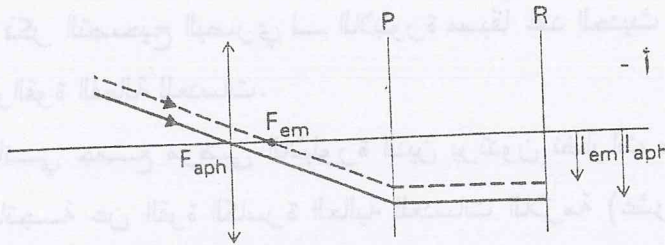
التكبير النسبي للنظارات $\frac{DG}{DE} = \frac{AC}{AB}$

ونظراً لأن الشعاعين FemE و FaphG متوازيان فإن الزاوية DfemE تساوي الزاوية DfaphG و

$$\frac{DG}{FaphD} = \frac{DE}{FemD}$$

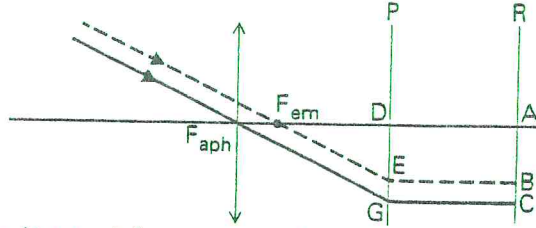
$$\frac{DG}{DE} = \frac{FaphD}{FemD} = \frac{23.23}{17.05}$$

بالتالي فإن التكبير النسبي $1.36 = \frac{23.23}{17.05}$



شكل ١٠-١٩: التكبير النسبي للنظارات. تصحيح اللابؤرة بـ :

أ- نظارات في النقطة المحرقة الأمامية ب- عدسة لاصقة. حالة سوء انكسار (الخطوط المتصلة) مقارنة مع سداد البصر (الخطوط المتقطعة) .



شكل ١٠-٢٠: تصحيح اللابلورة بالنظارات الموضوعة في النقطة المحرقة الأمامية.
حالة سوء الانكسار (الخطوط المتصلة) مقارنة مع سداد البصر (الخطوط المنقطعة)

مشاكل بصرية في تصحيح اللابلورة بالنظارات

تم ذكر التصحيح البصري لـ اللابلورة مسبقاً عند الحديث عن تكبير النظارات والقوة الفعالة للعدسات.

يعاني جمع مرضى اللابلورة الذين يرتدون نظارات من مشاكل متعددة ناتجة عن القوة الكاسرة العالية للعدسات اللازمة (عشر كسيرات تقريباً أو أكثر).

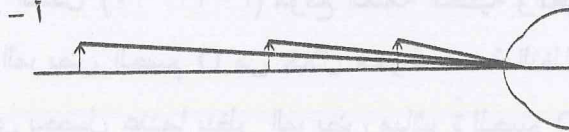
ستتم مناقشة المشكلة الخاصة في تصحيح اللابلورة وحيدة الجانب إذا كانت العين الثانية طبيعية لاحقاً.

لقد بينا سابقاً بأن التكبير النسبي للنظارات المصححة لـ اللابلورة يبلغ تقريباً ١,٣٣. يعني ذلك أن الخيال المصحح في العين اللابلورية أكبر من الخيال في العين السديدة بمقدار الثلث. يعرض هذا التكبير المريض لأخطاء في تقدير المسافات. تظهر الأجسام أقرب إلى العين مما هي عليه في الواقع نظراً لزيادة الزاوية التي تقابل بها العين (شكل ١٠-٢٠).

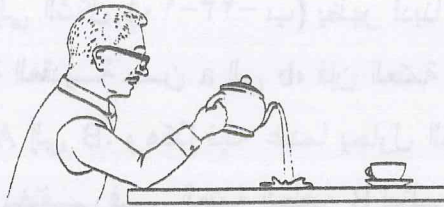
يؤدي تكبير الخيال أيضاً إلى تقدير أعلى من الطبيعي لحدة البصر في الاختبارات المخصصة لذلك، مثال : اختبار سنلن. فعلى سبيل المثال

تعاذل حدة البصر البالغة ٩/٦ عند المريض المرتدي لنظارات مصححة لـ
اللابلورة نحو ١٢/٦ عند السديد.

يتم التغلب على هذه المشاكل باستعمال عدسات لاصقة أو زرع
عدسات داخل العين لإنقااص التكبير النسبي إلى ١,١ أو ١,٠ على التوالي.
تخضع العدسات المستعملة في النظارات المصححة لـ اللابلورة
للزوغانات التي تمت مناقشتها في الفصل الثامن. إن تشوه الخيال هو الأكثر
إزعاجاً للمرضى، وعلى وجه الخصوص أولئك الذين أزيلت لهم البلورة
حديثاً. تظهر الخطوط المستقيمة منحنية باستثناء عندما يتم النظر إليها من
خلال منطقة محورية صغيرة من البلورة (تأثير وسادة الدبابيس pincushion)
بذلك تظهر البيئة الخطية على شكل منحنيات غير منتظمة، وهذه المنحنيات
تغير شكلها عندما يحرك المريض عينيه وينظر من خلال مناطق مختلفة من
عدساته. يتكيف المرضى عادةً مع ذلك من خلال التحديق الحصري عبر
المنطقة المحورية من العدسات وتحريك رؤوسهم بدلاً من عيونهم للنظر
للأشياء المحيطة.

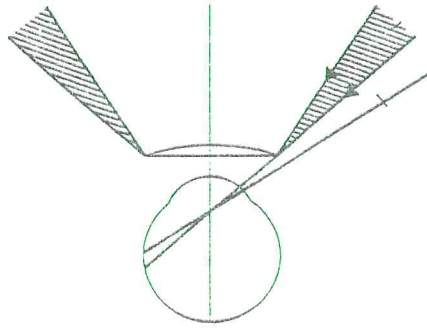


ب -



شكل ١٠-٢١ أ: جسم معياري يواجه زاوية بصرية متزايدة مع اقترابه من العين.
ب- جسم مكبر اصطناعياً وبالتالي يظهر أقرب إلى العين على ما هو عليه في الواقع.

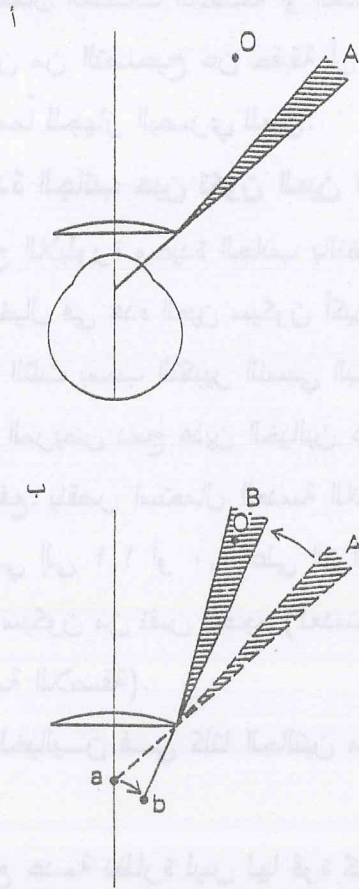
يؤدي التأثير الموشوري لعدسات النظارات في حالة اللابلورة إلى ظهور عتمة حلقيه حول حافة العدسة (شكل ١٠-٢١ و ١٠-٢٢). قد تجعل هذه العتمة المرضى لا يرون العوائق في طريقهم ويتعثرون بها. كذلك فإن اتجاه العتمة الحلقيه يتغير عندما يحرك المريض عينيه، وقد تظهر الأجسام خارج العتمة أو قد تختفي بداخلها - ظاهرة علبة العفريت Jack-in-the-box-phenomenon.



شكل ١٠-٢٢: عتمة حلقيه في اللابلورة المصححة.

يظهر الشكل (١٠-٢٣ أ) موقع العتمة الحلقيه والعين في الوضعية البدئية. يرى المريض الجسم O من خلال محيط عدسة النظارة. دعونا الآن نستنتج ما الذي يحصل عندما ينظر المريض مباشرةً للجسم O. بالإشارة إلى الشكل (١٠-٢٣ ب) يظهر لدينا أنه حالما تدور العين محركة النقطة العقديه من a إلى b، فإن العتمة الحلقيه تتحرك باتجاه معاكس، من A إلى B. وهكذا فإنه عندما يحاول المريض أن ينظر نحو الجسم O فإنه يختفي في العتمة الحلقيه B ليظهر من جديد في ساحته المحيطية عندما ينظر بعيداً. يدعى هذا الاختفاء للجسم وعودة ظهوره من جديد بظاهرة علبة العفريت Jack-in-the-box-phenomenon.

أخيراً ، فإن العدسات الزجاجية القوية ثقيلة وقد تسبب بالتالي انزلاق النظارات على أنف المريض معدلة بذلك من القوى الفعالة للعدسات (كما أن النظارات الثقيلة غير مريحة بالاستخدام). يمكن تخفيف الوزن باستعمال العدسات البلاستيكية، لكنها قد تتعرض للخدش ولاسيما عندما توضع على الطاولة على وجهها عند عدم استعمالها.



شكل ١٠-٢٣: تأثير حركات العين على العتمة الحلقية في اللابورة المصححة- ظاهرة علبة العفريت.

من الوسائل الأخرى لإنقاص وزن النظارة وثخانتها استعمال العدسات عدسية الشكل Lenticular form. للعدسة عدسية الشكل جزء مركزي فقط يتضمن القوة الفعالة، بينما تعمل الحافة المحيطة كحامل. لكن ذلك يؤدي بالضرورة لتضييق الساحة البصرية.

يمكن التخلص من كل الزوغانات السابقة والتأثيرات الموشورية مع ما يترتب عنها باستعمال العدسات اللاصقة أو العدسات داخل العين. تتبع فوائد هذين الشكلين من التصحيح عن حقيقة أن العدسة المصححة في الحالتين تصبح جزءاً متمماً للجهاز البصري للعين.

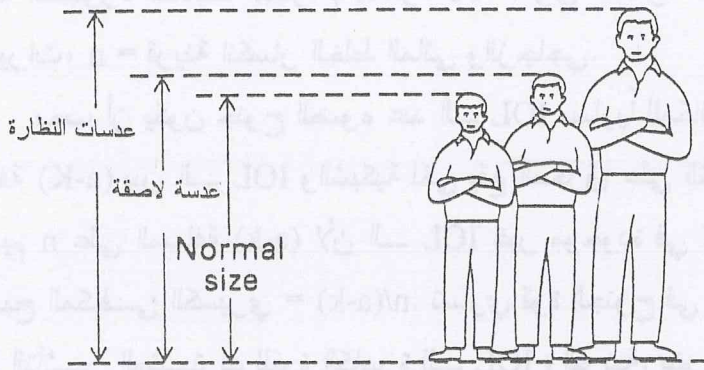
تصحيح اللابؤرة وحيدة الجانب حين تكون العين الثانية طبيعية

يمكن لتصحيح اللابؤرة وحيدة الجانب بالنظارات أن يحقق خيلاً شبكياً واضحاً، لكن الخيال في هذه العين سيكون أكبر من الخيال في العين الأخرى الطبيعية بمقدار الثلث بسبب التكبير النسبي البالغ حوالي ١,٣٣ (شكل ١٠-٢٤). لا يستطيع المريض دمج هذين الخياليين غير المتساويين بالحجم وبالتالي يشكو من الشفع. ينقص استعمال العدسة اللاصقة أو العدسة داخل العين من التكبير النسبي إلى ١,١ أو ١,٠ على التوالي. بالتالي فإن الخيال في العين اللابؤرية سيكون من نفس الحجم (العدسة داخل العين) أو أكبر بمقدار العشر فقط (العدسة اللاصقة).

يمكن دمج الخياليين في كلتا الحالتين مع الحفاظ على الرؤية المشتركة.

من الممكن صنع عدسة نظارة ليس لها قوة كاسرة لكنها تعدل حجم الخيال الشبكي بزيادة الزاوية التي يواجه بها الجسم العين. تدعى هذه العدسة iseikonic lens. يعتمد التكبير على انحناء السطح الأمامي للعدسة، وعلى

ثخانتها. وهكذا فإنه من أجل إنتاج تكبير صرف، يتم حساب انحناء السطح الأمامي للعدسة وثخانتها ثم يتم تعديل انحناء السطح الخلفي لجعل العدسة لا محرقة. ويمكن أيضاً إدخال تصحيح انكساري على هذه العدسة. لكن التكبير الاعظمي الذي يمكن الحصول عليه من هذه العدسة في الممارسة لا يتجاوز ٥%، وهو غير كافٍ لكي يكون ذا فائدة عملية في تصحيح اللابورة وحيدة الجانب. تم استعمال هذا النوع من العدسات لعلاج أسباب أخرى من تفاوت حجم الخيال aniseikonia، لكن استعمالها قد بطل حالياً لأسباب متعددة. فهي غالية الثمن، يتطلب تصنيعها آلات خاصة، كما أنها ثخينة وثقيلة عند الارتداء.



شكل ١٠-٢٤: التكبير النسبي للنظارات في اللابورة المصححة.

تصحيح اللابورة بالعدسة المزروعة داخل العين

يفيد زرع عدسة داخل العين (IOL) لدى مرضى اللابورة في التغلب على المشاكل البصرية الناتجة عن التصحيح بالنظارات، وكذلك على الصعوبات المصادفة بارتداء العدسات اللاصقة والتعامل معها. تصبح العدسة المزروعة جزءاً من الجهاز البصري للعين، ونظراً لأنها توضع مكان البلورة الطبيعية أو قريبة جداً منها لا تحدث مشاكل متعلقة بالتكبير النسبي.

يفضل، قبل العمل الجراحي، قياس قوة العدسة لزرعها داخل العين والتي تجعل المريض سديداً بعد الجراحة أو، في بعض الحالات، تبقي لديه درجة من سوء الانكسار المرغوب.

تم تصميم العديد من المعادلات النظرية لقياس قوة الـ IOL، وهي تعتمد على حساب قوة الجنوح اللازمة في مستوى الـ IOL في موقع معروف داخل العين.

سنعتبر في الاستنتاجات التالية أن :

a: الطول المحوري لكرة العين مقدراً بالأمتار، $K =$ عمق البیت الأمامي في حالة البلورة الكاذبة مقدراً بالأمتار، $P_c =$ القوى الكاسرة للقرنية مقدرة بالكسيرات، $n =$ قرينة انكسار الخلط المائي والزجاجي.

يجب أن يكون جنوح الضوء عند الـ IOL مساوياً للمكافئ الكسيري للمسافة $(a-K)$ بين الـ IOL والشبكية لكي يقع المحرق على الشبكية. يجب تقسيم n على المسافة $(a-k)$ لأن الـ IOL غير موجودة في الهواء. بذلك يصبح المكافئ الكسيري $= n/(a-k)$. تساوي قوة الجنوح في مستوى الـ IOL التأثير المشترك للقوة الكاسرة للـ IOL والقرنية. يتم حساب القوة الفعالة للقرنية في مستوى الـ IOL باستعمال معادلة القوى الفعالة للعدسات: $F_2 = F_1 / (1 - df_1)$. باستبدال F_1 بـ P_c و d بـ K/n (لأن المسافة K تقع في الخلط المائي ذي قرينة الانكسار n)، تصبح القوة الفعالة للقرنية في

$$\text{مستوى الـ IOL : } \frac{P_c}{1 - \frac{P_{c,k}}{n}}$$

بالتالي : قوة الـ IOL اللازمة = الجنوح اللازم في مستوى الـ IOL =

$$\frac{n}{\alpha - k} - \frac{P_c}{1 - \frac{P_{c,k}}{n}} = \text{IOL القوة الفعالة للقرنية في مستوى الـ IOL}$$

من المقاربات الأكثر عملية لمشكلة التنبؤ بقوة الـ IOL هي النظر نحو النتائج الإنكسارية التي يتم الحصول عليها في الممارسة السريرية واستنتاج معادلة اعتماداً عليها. أدى تحليل المعلومات الناتجة عن هذه الدراسة الراجعة لعدد كبير من العيون التي أجري لها زرع IOL إلى ظهور معادلة جديدة دعيت باسم معادلة العدسات داخل العين بالتحليل الارتجاعي . قام كل من ساندرز، ريتسلاف، كراف في عام ١٩٨٠ بتبسيط هذه المعادلة إلى معادلة أخرى أصبحت تعرف باسم معادلة SRK.

تذكر معادلة SRK أن : $P = A - B(AL) - C(K)$

حيث P قوة العدسة داخل العين مقدرة بالكسيرات، A ثابت يعكس وضعية نموذج خاص من الـ IOL ضمن العين، B ثابت تضاعف للطول المحوري، AL الطول المحوري مقدراً بالميليمترات، C ثابت تضاعف لقراءة قياس القرنية الوسطية، K القراءة الوسطية لقياس القرنية مقدرة بالكسيرات. قيم ثوابت التضاعف هي :

$$B = 2.5 \text{ و } C = 0.9 \text{ وبالتالي } P = A - 2.5(AL) - 0.9(k)$$

عند الرغبة بإحداث حالة انكسارية (R) غير سداد البصر، يتم تعديل

المعادلة لتصبح:

$$P = A - B(AL) - C(k) - D(R)$$

حيث D ثابت تضاعف للانكسار المرغوب. تكون قيمة D ١,٢٥ إذا كانت قوة الـ IOL من أجل سداد البصر أكبر من ١٤ كسيرة، و ١,٠ إذا كانت قوة الـ IOL من أجل السداد أقل أو تساوي ١٤ كسيرة.

إذا كانت قوة الـ IOL قد حسبت من أجل الزرع في البيت الخلفي ثم تقرر زرع عدسة بيت أمامي أثناء الجراحة، فيجب إنقاص قوة الـ IOL اللازمة عن طريق الفرق في قيمتي الثابت A للعدسات. ينتج ذلك عن أن

عدسة البيت الأمامي تتوضع للأمام أكثر داخل العين، وبالتالي يكون الثابت A لها أقل.

تكون عدسة البيت الأمامي المكافئة أضعف عادةً من عدسة البيت الخلفي بحوالي كسيرتين.

تبين أن معادلة SRK الأصلية غير دقيقة للعيون ذات الطول المحوري القصير (أقل من ٢٢ مم) أو الطويل (٢٤,٥ مم أو أكثر). تم دمج التصحيح التالي في معادلة SRK II التي ظهرت عام ١٩٨٨: يدل الثابت A (ويسمى A1) بطريقة متدرجة ضمن مدى من الأطوال المحورية.

بالنسبة للأطوال المحورية ← الأقل من ٢٠ مم $A1=A+3$

← من ٢٠ مم إلى أقل من ٢١ مم $A1=A+2$

← من ٢١ إلى أقل من ٢٢ مم $A1=A+1$

← من ٢٢ إلى أقل من ٢٤,٥ مم $A1=A$

← من ٢٤,٥ مم فما فوق $A1=A-0.5$

معادلة SRK II سهلة الاستعمال وتطبق بشكل واسع في الممارسة السريرية. تم إدخال تصحيح آخر على هذه المعادلة فصممت معادلة SRK النظرية (SRK-T) لتحسين الدقة عندما يحتاج الأمر عدسات داخل عين قوية جداً أو ضعيفة جداً.

يجب معرفة الطول المحرقى وقياس القرنية للعين ليصبح بالإمكان تطبيق أي من معادلات SRK. يقاس انحناء القرنية وتالياً قوتها الكاسرة باستعمال مقياس القرنية Keratometer، بينما يقاس الطول المحوري

باستعمال المسح A بالأمواف فوق الصوتية A-scan ultra sonography تنتقل طاقة الصوت وما فوق الصوت باهتزاز الجزيئات المجاورة، وتزداد سرعة انتقالها بازدياد كثافة الوسط. تنعكس الطاقة على السطوح

الفاصلة بين الأوساط ذات الكثافة السمعية المختلفة، مثلما هو الحال في الضوء. يطبق مسبار يصدر نبضات من فوق الصوت بلطف على القرنية. يمر فوق الصوت عبر العين وينعكس على السطح الخلفي للقرنية، والسطح الأمامي والخلفي للبلورة، والشبكية والصلبة. يتم تسجيل زمن الصدى النبضي، ونظراً لأن سرعة فوق الصوت في الأوساط العينية المختلفة معروفة، يمكن حساب الطول المحوري. يجب تطبيق عامل تصحيح في حال وجود زيت السيليكون بدلاً من الزجاج. يمكن استعمال المسح A بالأمواف فوق الصوتية أيضاً لقياس ثخانة القرنية.

إن قياس الطول المحوري للعين على طول المحور البصري للعين أمر أساسي للتنبؤ بدقة بقوة الـ IOL. تكون القياسات في الاتجاهات الأخرى، أقصر، ونظراً لأن الطول المحوري يضرب بعامل ٢,٥ في معادلة SRK فإنه المصدر الرئيسي للخطأ في الحساب السريري لقوة الـ IOL. يجب قياس كلتا العينين لأن ذلك يساعد على كشف الخطأ عند حدوثه. يجب الشك بوجود خطأ وإعادة التحقق من القياسات في الظروف التالية: إذا كان الطول المحوري مختلفاً جداً (اختلاف أكبر من ٠,٥ مم) مع غياب تفاوت سوء انكسار سريري، أو أنه بدا غير منسجم مع الحالة الانكسارية للعين، أو إذا لم يتحقق الانكسار المتنبأ به بعد الجراحة في العين الأولى. تطرح العين الحسيرة بشدة مع عتبة خلفية مشكلة خاصة لأن العمق الكلي للعتبة قد يكون خارج مدى القياس في بعض الأجهزة، يسمح المسح B بالأمواف فوق الصوتية في هذه الحالة بتصوير شكل العين بما فيها العتبة، ويمكن عند ذلك قياس الطول المحوري من الصورة.

يعد الاختيار الحكيم للانكسار المرغوب بعد الجراحة عاملاً حاسماً في حساب قوة الـ IOL. لا يفرح كل المرضى بأن يصبحوا سديدين أو

حسييرين بمقدار كسيرة واحدة بعد الجراحة. بشكل عام يجب أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:

-حالة العين الثانية: إذا كانت هذه العين ذات حدة بصر جيدة بسبب عدم وجود ساد هام أو كونها مصححة بعدسة داخل عين، فإنه من المهم تجنب حدوث تفاوت هام في سوء الانكسار مع المشاكل الناتجة عنه مثل تفاوت حجم الخيال وانقطاع الرؤية المشتركة.

- الحالة الانكسارية السابقة للمريض: يفضل الحسيرون المزمنون بشكل قاطع استعمال عدسات مقعرة للبعد على أن يستعملوا عدسات محدبة للقراءة. العدسات داخل العين متعددة المحارق متوفرة، لكن لم يصبح استعمالها معماً حتى الآن. الشكل الأبسط منها يعمل عن طريق التزويد بقوتين: واحدة للقرب وأخرى للبعد. التصاميم الأكثر تعقيداً تقدم قوة متوسطة مما يزيد من العمق المحرق.

على النقيض من النظارات متعددة المحارق التي تختلف قوتها باختلاف منطقة العدسة وبذلك لا تستعمل إلا قوة واحدة ومنطقة واحدة في نفس الوقت، فإن الـ IOL متعددة المحارق تشكل أخيلة متعددة في كامل القسم البصري للعدسة. يتشكل خيالان للجسم في حالة الـ IOL ثنائية المحرق، يقع أحدهما على الشبكية عندما يكون الجسم في اللانهاية، ويقع الآخر على الشبكية عندما يكون الجسم في مسافة القراءة للمريض. هذا وإن أياً من هذين الخياليين ليس بنفس درجة وضوح و سطوع خيال العدسة وحيدة المحرق

كما أن الخيال الثاني يشكل دائرة تشويش على الشبكية، والتي قد تنقص من وضوح الرؤية وتسبب وهجاً glare عند النظر إلى جسم ساطع،

مثال : عند قيادة السيارة في الليل. يختلف هذا التأثير باختلاف نموذج العدسة.

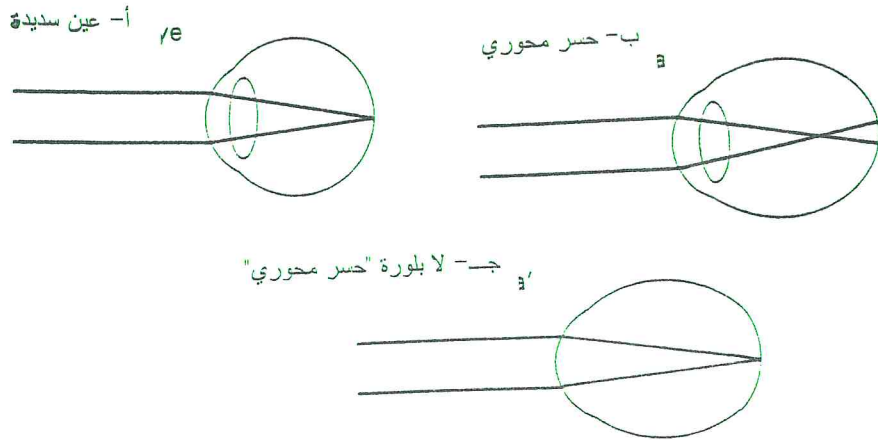
تستخدم المبادئ البصرية التالية في تصميم الـ IOL لتحقيق التأثير متعدد المحارق. تستخدم مناطق متراكزة متدرجة القوة في بعض التصميمات، بحيث تكون منطقة القرب في المركز أو قربه لأن الحدقة تنقبض عند النظر للقرب. قد يسبب ذلك صعوبة في الرؤية البعيدة في الضوء الساطع. للتغلب على هذه المشكلة يستعمل نموذج آخر يعتمد على مناطق حلقية متراكزة لكل منها قوة متدرجة من القريب إلى البعيد مما يسمح بتصحيح القرب والبعد في كامل مساحة العدسة. يمكن بدلاً من ذلك استعمال انعراج الضوء من الحلقات المتدرجة المتعددة على السطح الخلفي للـ IOL للحصول على خيالٍ ثانٍ للرؤية القريبة بواسطة التداخل البناء بين أمواج الضوء المنعرج.

الحالة الانكسارية بعد إزالة البلورة من العين شديدة الحسر

يمثل المريض الذي يملك عيناً حسيرة بشدة والذي خضع لعملية استخراج ساد من هذه العين حالة خاصة. تؤدي إزالة القوة المقربة للبلورة إلى إنقاص القوة الكاسرة الكلية للعين. إذا كانت درجة الحسر المحوري مساوية ومعاكسة للقوة الفعالة للبلورة المستخرجة، فإن العين تصبح سديدة ويستطيع المريض رؤية الأجسام البعيدة بوضوح من دون نظارات (شكل ١٠-٢٥). يحدث ذلك بعد استخراج الساد من عين مصابة بحسر محوري متراوح بين ١٨-٢٠ كسيرة.

يجب التأكيد على أن القوة الفعالة للبلورة في موضعها هي +١٥ كسيرة فقط بالتالي يمكن الافتراض أن الحسر البالغ -١٥ كسيرة سيصحح بإزالة البلورة. ولكن نظراً للتغير في فعالية العدسات فإن تصحيح -١٩ كسيرة في مكان البلورة يحتاج إلى نظارة قوتها من -١٥ إلى -٢٠ كسيرة.

ونظراً لأنه يشار لدرجة الحسر بقوة النظارة المصححة، فإن المريض الذي لديه حسر بمقدار من -١٨ إلى -٢٠ كسيرة هو الذي يصبح سديداً بعد استخراج البلورة.



شكل ١٠-٢٥: التأثير الانكساري لـ اللابورة في الحسر المحوري المتراوح بين ١٨ إلى ٢٠ كسيرة.

يجب التذكر بأن القوة الفعلية للبلورة المعزولة تبلغ +١٩ كسيرة على الرغم من أنها لا تساهم إلا بمقدار +١٥ كسيرة في القوى الكاسرة الكلية للعين. بالتالي فإن قوة العدسات داخل العين المعيارية تبلغ تقريباً +١٩ كسيرة.

الفصل الحادي عشر

قصر البصر Presbyopia

تعريف قصر البصر

تتناقص سعة المطابقة بشكل تدريجي مع التقدم في العمر . ينتج ذلك بشكل رئيسي عن التصلب في ألياف البلورة والتبدلات في محفظتها التي تنقص من قدرتها على زيادة تحدبها عندما تنقلص العضلة الهدبية. كما أن العضلة الهدبية بحد ذاتها قد تصبح أقل فعالية مع التقدم بالعمر (بعد عمر ٤٠ سنة).

تكون العين في سن الطفولة قادرة على المطابقة بمقدار ١٤ كسيرة، لكن هذه القدرة تنقص إلى حوالي ٤ كسيرات بعمر ٤٥ سنة. ولا يتبقى بعد عمر ٦٠ سنة إلا كسيرة واحدة أو أقل، وجزء منها قد يكون ناتجاً عن عمق الساحة الذي يمكن أن يتعزز أكثر بواسطة تقبض الحدقة الشخي (لدى المريض الذي تعوزه المطابقة تماماً ٠,٢٥ كسيرة من عمق الساحة، تمكنه من الرؤية الواضحة من على بعد ٤ أمتار حتى اللانهاية).

يجب أن تطابق العين السديدة بمقدار ٤ كسيرات لكي ترى جسماً واقعاً في مسافة القراءة على بعد ٢٥سم. لكن يجب الاحتفاظ بثلاث المطابقة المستوفرة لدى المريض كاحتياطي من أجل الرؤية المريحة للقرب. بالتالي تبدأ معاناة المريض مع القراءة القريبة على بعد ٢٥سم عندما تنقص مطابقته إلى ٦ كسيرات. يحدث ذلك عادةً بين عمر ٤٠-٤٥ سنة. يقال عن المريض الذي يعاني من هذه الصعوبة في الرؤية القريبة بسبب تدني سعة المطابقة لديه أنه مصاب بقصر البصر.

تستعمل عدسة محدبة إضافية لتمكين المريض من الرؤية المريحة للقرب.

لا يمكن تعريف قصو البصر اعتماداً على سعة المطابقة المتبقية. نظراً لأن هجمة الأعراض تتفاوت وفقاً لمسافة العمل المفضلة من قبل المريض ولطبيعة العمل القريب وطول مدة إنجازه.

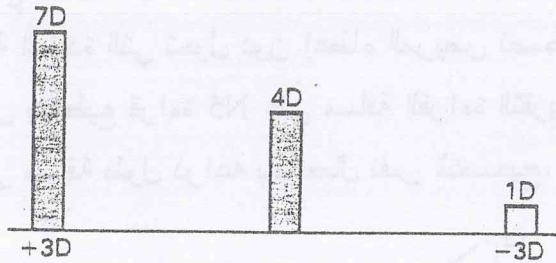
حساب مقدار التصحيح في قصو البصر

يمكن حساب مقدار التصحيح لدى مريض مصاب بقصو البصر إذا تم تحديد سعة المطابقة المتبقية لدى المريض (من نقطة الكذب الخاصة به) ومسافة العمل المرغوبة لديه. على سبيل المثال: مريض شديد لديه سعة مطابقة متبقية مقدارها ٣ كسيرات (نقطة الكذب على بعد ٣٣ سم). يجب الاحتفاظ بثلاث هذه السعة كاحتياطي لدى هذا المريض لإعطائه رؤية مريحة للقرب. بالتالي يجب أن يستعمل هذا المريض كسيرتين فقط من سعة المطابقة لديه. إذا رغب هذا المريض بالرؤية الواضحة على بعد ٢٥ سم فهو يحتاج إلى أربع كسيرات، وبذلك يجب إعطاؤه تصحيحاً إضافياً بمقدار كسيرتين.

يستطيع أخصائي الانكسار في الممارسة بخبرته توقع التصحيح التقريبي وفقاً لعمر المريض. يتم إثبات ذلك بالانكسار الشخصي. يضاف تصحيح قصو البصر في سوء الانكسار إلى التصحيح البعيد للمريض.

تحدث هجمة قصو البصر في عمر باكر في مد البصر غير المصحح أكثر منها في سداد البصر، لأن المريض المديد يحتاج للمطابقة بشكل أكثر لتحقيق الرؤية القريبة الواضحة، على سبيل المثال: يحتاج مريض لديه ٣ كسيرات من مد البصر إلى ٣ كسيرات من المطابقة ليرى بوضوح في اللانهاية. وبالتالي فإنه يحتاج إلى ٧ كسيرات من المطابقة ليرى بوضوح على بعد ٢٥ سم (٤+٣) (شكل ١١-١). وعلى العكس من ذلك فإن مريضاً حسيراً بمقدار ٣ كسيرات تقع نقطة المدى لديه على بعد ٣٣ سم.

بالتالي فإنه يحتاج فقط لكسيرة واحدة من المطابقة للرؤية الواضحة على بعد ٢٥ سم.



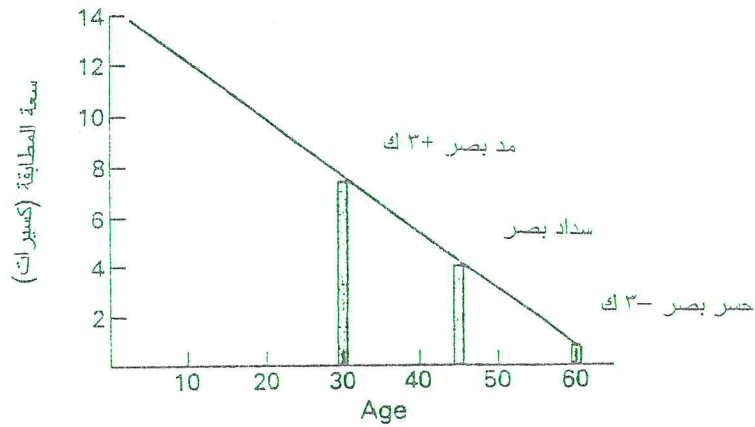
شكل ١١-١: سعة المطابقة اللازمة للرؤية الواضحة على بعد ٢٥ سم في الحالات الانكسارية المختلفة.

ينسب الشكل (١١-٢) الحالات الانكسارية الثلاثة المبينة في الشكل (١١-١) إلى التدهور في سعة المطابقة مع العمر. يظهر من الشكل أن هجمة قصو البصر تحدث في عمر أبكر في مد البصر غير المصحح منها في سداد البصر، بينما تتأخر في حسر البصر غير المصحح. يستطيع المريض المصاب بحسر بصر يفوق أربع كسيرات أن يقرأ دائماً دون الحاجة لنظارات.

لكن يفضل معظم المرضى الحسيدين استعمال النظارات ثنائية المحرق أو متعددة المحارق كونها ملائمة أكثر، وكذلك للتغلب على أي حرج بصر أو تفاوت سوء انكسار موجود.

يجب تعديل تصحيح قصو البصر وفقاً لمسافات العمل المتعددة. قد يحتاج المريض نظارات للمسافات المتوسطة. مثال: لقراءة النوتة الموسيقية بالإضافة لقراءة النصوص المكتوبة. من السهل في الممارسة وصف تصحيح قريب قوي جداً يفوق ذلك اللازم لإنجاز واجب معين، لأن المريض يميل

لأن يمسك نموذج اختبار القراءة على مسافة أقرب إلى العين من المعتاد، لأنه يكون غير واعٍ لمحيطه وقلقاً حول كيفية إنجاز الاختبار بشكل جيد. من الإجراءات الوقائية المفيدة التي تحول دون إعطاء المريض تصحيحاً مفرطاً، التأكد بأن المريض يستطيع قراءة N5 على مسافة القراءة التقريبية الخاصة به وكذلك N8 على مسافة طول ذراعه باستعمال نفس التصحيح.



شكل ١١-٢: التناقص في سعة المطابقة مع التقدم بالعمر.

العدسات متعددة المحارق Multifocal lenses

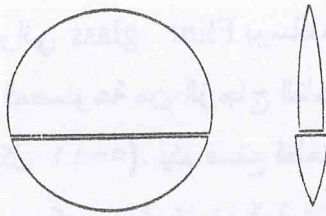
إن الاحتفاظ بزوجين منفصلين من النظارات من أجل الرؤية البعيدة والقريبة أمر غير ملائم غالباً لمعظم المرضى، ويوجد طلب ملح على العدسات المفردة التي تدمج كلاً من التصحيحين البعيد والقريب.

العدسات ثنائية المحرق Bifocal Lenses

يزود زوج وحيد من النظارات ثنائية المحرق وصفتين منفصلتين للبعيد والقريب لكل عين. القسم البعيد هو أكبر القسمين عادة -القسم الرئيسي. يشغل القسم القريب الجزء السفلي من العدسة.

أولى النماذج التي تم تصميمها كانت العدسات ثنائية المحرق المشطورة (نمط فرانكلين)، وهي تشمل قسماً بعيداً ذا قاعدة مسطحة توازي القمة المسطحة للقسم القريب المنفصل (شكل ١١-٣). تم تركيب القسم القريب في النماذج الأحدث من العدسات ثنائية المحرق بتعديل العدسة الرئيسية لدمج القسم القريب فيها.

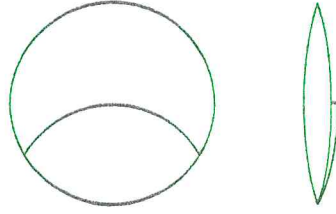
يدعى هذا التعديل بالقطعة الدائرة أو الشدفة segment، ويتم تحقيقه بالصاق عدسة إضافية أو بتغيير الانحناء السطحي.



شكل ١١-٣ : العدسة المشطورة ثنائية المحرق - نموذج فرانكلين.

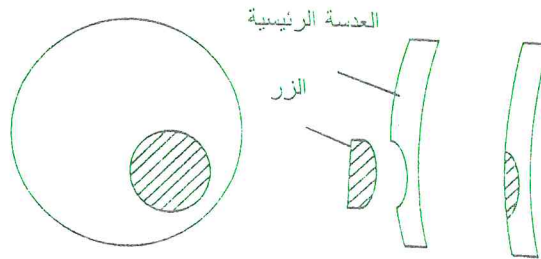
تحتوي العدسات ثنائية المحرق الملتصقة قسماً قريباً يتم تركيبه بالصاق العدسة الإضافية على سطح القسم البعيد ذي نفس قرينة الانكسار (شكل ١١-٤).

تم استخدام رانتج الايبوكسي المعالج بالأشعة فوق البنفسجية كمادة لاصقة بدلاً من بلسم كندا (رانتج مستخرج من الأشجار). تكون حافة القطعة الدائرية رقاوية الشكل رقيقة جداً وتتوضع على السطح الخلفي للعدسة بحيث تبدو العدسة ثنائية المحرق كما لو أنها قطعة وحيدة من الزجاج. لكن هذا النموذج من العدسات مهملاً تقريباً في الوقت الحاضر.



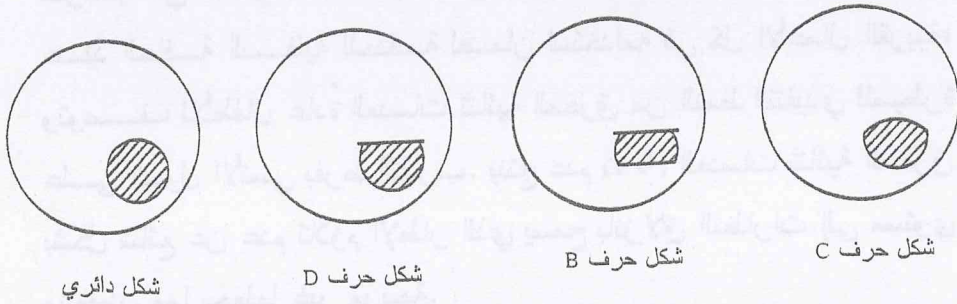
شكل ١١-٤ : العدسة الرقافية الملتصقة ثنائية المحرق.

يتم وضع القسم القريب في العدسات ثنائية المحرق الملتصقة بدمج زر من الزجاج الصواني Flint glass بواسطة الحرارة في انخفاض موافق في العدسة الرئيسية المصنوعة من الزجاج التاجي Crown glass ذي قرينة الانكسار الأقل (شكل ١١-٥). يتم صنع قطعة نصف دائرية قسمها العلوي مسطح باستعمال زر مركب حيث تصنع قمة الزر من الزجاج التاجي وتندمج مع العدسة الرئيسية حالما تسخن بالحرارة. ثم يتم تسطیح الزر ليصبح الانحناء السطحي مساوياً لذلك الخاص بالقسم البعيد. تسمح الأنماط المختلفة من الزجاج الصواني باختلاف قرينة انكسار وقوة القطعة الدائرية. تعتمد إضافة القرب بالتالي على قرينة انكسار كل من أنواع الزجاج المختلفة وعلى الانحناء السطحي للانخفاض والقسم البعيد.



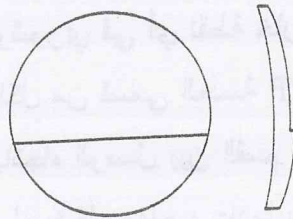
شكل ١١-٥ : عدسة ملتصقة ثنائية المحرق.

قد تسبب قرينة الانكسار العالية للقطعة المندمجة في العدسة ثنائية المحرق زوغاناً لونياً قرب حافة القطعة. يمكن صنع القطع الملصقة والملتحمة بأشكال مختلفة لتتناسب مع كافة الاحتياجات (شكل ٦-١١).



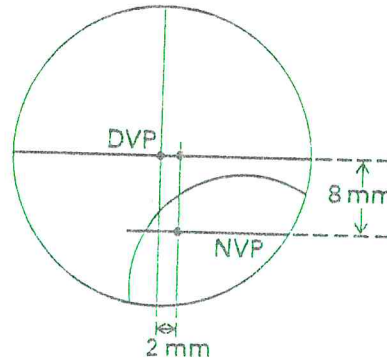
شكل ٦-١١ : أشكال القطع في العدسات ثنائية المحرق الملتحمة المخصصة للعين اليمنى.

تتركب العدسات ثنائية المحرق الصلبة من قطعة وحيدة. يتم صنع القسم القريب بتغيير انحناء أحد الوجهين الأمامي أو الخلفي لهذا القسم. توجد في العدسات ثنائية المحرق الصلبة من النمط التنفيذي executive-style منطقة وصل أفقية كاملة العرض بين القسم البعيد والقريب (شكل ٧-١١). العدسات ثنائية المحرق البلاستيكية هي دائماً من النمط الصلب.



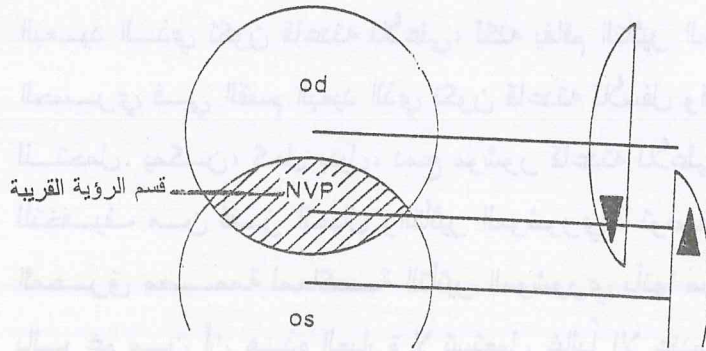
شكل ٧-١١ : عدسة ثنائية محرق صلبة (تنفيذية).

النقاط البصرية البعيدة (DVP) والقريبة (NVP) هي وضعيات على العدسة يفترض أن المحور البصري يتوجه من خلالها أثناء استعمال النظارات. تقع NVP على بعد ٢ مم إلى الأنفي و ٨ مم إلى الأسفل من الـ DVP (شكل ١١-٨). يجب أن تكون ذروة القسم القريب مماسة للـ السفلي للقرنية في معظم الحالات. يجب أن تكون حافة القسم القريب عند الأطفال عند الحافة السفلية للحدقة لضمان استخدامه في كل الأعمال القريبة، وتوصف للأطفال عادةً العدسات ثنائية المحرق من النمط التنفيذي للسيطرة على الحول الأنسي بفرط التقارب. ينتج عدم تمازج العدسات ثنائية المحرق بشكل شائع عن عدم تلاؤم الإطار الذي يسمح بانزلاق النظارات إلى مستوى منخفض مما يجعلها غير مريحة.



شكل ١١-٨ : عدسة ثنائية المحرق. وضعية النقطة البصرية القريبة والبعيدة. يحدث التأثير الموشوري في أي نقطة خارج محورية في العدسة. إذا تطابق المحور البصري لكل من قسمي العدسة NVP أو DVP ، فإن التأثير الموشوري سيزداد باتجاه الوصل بين القسم البعيد والقريب. تتغير القوة الموشورية عند الوصل بشكل مفاجئ عندما ينظر المريض من قسم إلى آخر، وبالتالي سيغير الخيال مكانه بشكل مفاجئ أيضاً - ظاهرة قفز الخيال.

(تناسب القوة الموشورية مع القوة الكسيرية لكل قسم ومع بعد الخط الفاصل عن كل من المركزين البصريين). من الاعتبارات البصرية الأخرى التي يجب وضعها بالحسبان في العدسات ثنائية المحرق هو التأثير الموشوري عند النقطة البصرية للقرب. يعادل هذا التأثيرين الموشوريين للعدسة الرئيسة، ولإضافة القرب في هذه النقطة (شكل ١١-٩). ينطبق المركز للقسم القريب في معظم العدسات الملتحمة أو الملتصقة على NVP ولا يسبب تأثيراً موشورياً إضافياً غير ذلك الناتج عن النظر عبر نقطة خارج مركز العدسة البعيدة. قد لا يتحمل مرضى تفاوت سوء الانكسار العدسات ثنائية المحرق بسبب اختلاف التأثير الموشوري بين العينين. قد يتجاوز في التأثير الموشوري الشاقولي بما يعادل ١,٥ كسيرة موشورية قدرة المريض على احتماله، مما يسبب صعوبة في الرؤية المشتركة أو قد يسبب شفعاً.



شكل ١١-٩ : يعادل التأثير الموشوري عند NVP مجموع التأثيرين الناتجين عن العدسة الرئيسة وإضافة القرب ذات الانحناء السفلي تلك النقطة od, os هما المركزان البصريان للقسم البعيد والقريب.

يزيد مساوئ الانكسار العالية من عدم التوازن هذا، بالإضافة لذلك قد يتطلب التأثير الموشوري الكبير الذي تحرضه درجة عالية وغير مريحة من

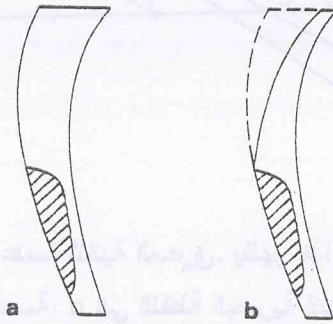
التحديق للأسفل أثناء القراءة. بالتالي فإن كلاً من قفز الخيال والتأثير الموشوري المفرط يكون أكثر إزعاجاً في العدسات عالية القوة. يجب أيضاً توخي الحذر الشديد عند وصف التصحيح لمرضى يعانون من عدم توازن في عضلات العين الخارجية الشاقولية.

يمكن التقليل من قفز الخيال بوضع المركزين البصريين للعدسة عند الوصل بين القسمين أو القرب منه. يتطابق المركزان البصريان في العدسات الثنائية المحرق وحيدة المركز monocentric (التفيزية) عند الوصل بين القسمين القريب والبعيد ولا يحدث تأثير موشوري.

للقطعة الدائرية ذات الانحناء السفلي تأثير موشوري قاعدته للأسفل عند NVP لأن مركزها البصري يقع دائماً على الأسفل من هذه النقطة (شكل ١١-٩). يعاكس هذا التأثير، التأثير الموشوري للتصحيح المدي في القسم البعيد الذي تكون قاعدته للأعلى، لكنه يفاقم التأثير الموشوري للتصحيح الحسري في القسم البعيد الذي تكون قاعدته للأسفل وقد يصبح غير قابل للتحمل. يمكن، كحل بديل، دمج موشور قاعدته للأعلى في القسم القريب للتخفيف من قفز الخيال والتأثير الموشوري. توصف أي عدسة ثنائية المحرق مصممة لمعاكسة التأثير الموشوري بأنها مضبوطة موشورياً، بالرغم من أن هذه العبارة لا تستعمل غالباً إلا عندما يتحقق ذلك بدمج موشور.

قد يكون التصحيح الموشوري مصمماً مسبقاً، أو قد يلجأ لعملية الموشور الثنائي Biprism (نزع شريحة slab-off) في حالة العدسات ثنائية المحرق الملتحمة أو الملتصقة التي تكون فيها قمة الإضافة مستقيمة (شكل ١١-١٠). يضاف التصحيح الموشوري في البداية إلى القسم القريب والبعيد من العدسة ذات التأثير الموشوري الأقل حتى يصبح التأثير عند NVP

متساوياً بين الاثنتين. ثم يزال موشور قاعدته للأعلى من القسم العلوي للعدسة المعدلة بحيث يؤثر التعديل الموشوري الأصلي فقط على القسم القريب. تفيد عملية الموشور الثنائي في الحالات التي يسبب بها تفاوت سوء الانكسار عدم توازن موشوري شاقولي مفرط عند الـ NVP.



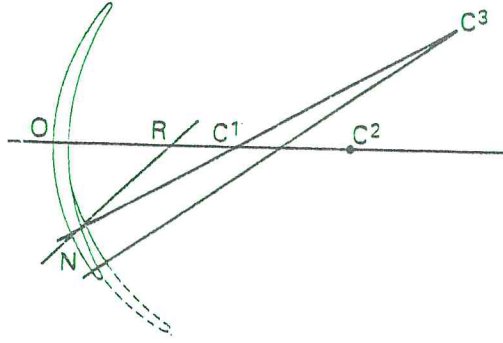
شكل ١١-١٠ : عملية الموشور الثنائي. يتم دمج موشور قاعدته للأعلى مع الوصفة (أ) ثم يزال من القسم البعيد فقط (ب).

من المشاكل البصرية الأخرى في العدسات ثنائية المحرق هي أن محور الرؤية القريبة (NR) لا يتوافق مع المحور البصري (NC^1C^3) للقسم القريب من العدسة (شكل ١١-١١).

تشاهد بالتالي الزوجانات الحرجية - التي تحدث عندما يمر الضوء بشكل مائل عبر العدسة - بدرجة ما عند استعمال القسم القريب. يجب صنع العدسات ثنائية المحرق بحيث تميل قمة كل منها بمقدار $10^\circ - 20^\circ$ نحو الأمام لجعل محور الرؤية عمودياً على القسم القريب أثناء القراءة من أجل تخفيف هذا الحرج (انظر الشكل ٨-٩-أ).

من المهم عند وصف العدسات ثنائية المحرق وضع احتياجات المريض في الحسبان. فمثلاً يحتاج عامل الطباعة أو أمين الصندوق في سوبر ماركت لأن يرى على مسافة أبعد قليلاً من مسافة القراءة المعتادة،

وأن تكون مساحة الرؤية أكبر نسبياً. بالتالي يجب أن يكون القسم القريب كبيراً وذو قوة كسيرية أقل.



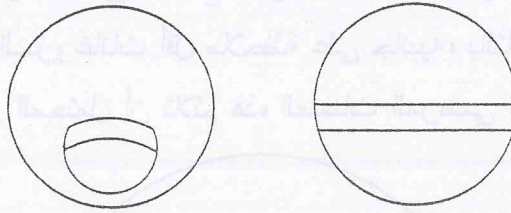
الشكل ١١-١١ : عدسة ثنائية المحرق. يظهر هذا الشكل المحورين البصريين ومحوري الرؤية للعدسة. o هي النقطة البصرية البعيدة، N هي النقطة البصرية القريبة، R هو مركز دوران العين، C^1 هو مركز السطح الخلفي للعدسة، C^2 هو مركز السطح الخلفي للعدسة، C^3 هو مركز السطح الخلفي للقسم القريب.

من ناحية أخرى، يستفيد المريض الذي يعمل في الخلاء ولا يقوم كثيراً بأعمال قريبة من قسم قريب أصغر. يعد العمل على المرتفعات، مثال: على السقالات، مضاد استطباب لارتداء النظارة ثنائية المحرق لأن التحديق السفلي عبر القسم القريب يكون خطيراً في هذه الحالة. كما أن العدسات ثنائية المحرق غير مناسبة للمرضى المسنين الذين يعانون من عدم ثبات في أقدامهم أو من دوار بسبب وجود تشوه وتشوش وانزياح موشوري لمنظر الأرض من خلال القسم القريب. يمكن أن يوصف للمرضى السديدين نظارة نصفية تشمل فقط التصحيح القريب، بينما يكون القسم العلوي (البعيد) عديم القوة. على العكس من ذلك، فإن المرضى ذوي الحسر الخفيف قد يفضلون ارتداء نظارات يكون فيها القسم السفلي (القريب) عديم القوة لأنهم لا

يحتاجونه (هذا في الحالات التي لا يرغب بها المريض بنزع النظارة وارتدائها من جديد كلما احتاج لذلك وإنما يبقى مرتدياً إياها باستمرار كما في العدسات ثنائية المحرق).

العدسات ثلاثية المحرق Trifocal Lenses

قد تسمح الدرجة الخفيفة من المطابقة باستعمال القسم البعيد في العدسة ثنائية المحرق من أجل المسافات المتوسطة، بينما في الحالات التي تكون فيها المطابقة المتبقية خفيفة جداً أو معدومة فتفيد العدسات ثلاثية المحرق. تتألف هذه العدسات من قسم قريب وقسم بعيد مفصولين بقسم متوسط أقل قوة (عادةً النصف) للسماح برؤية المساحات المتوسطة بوضوح (شكل ١١-١٢). قد تكون العدسات ثلاثية المحرق صعبة التحمل عند وجود تفاوت سوء انكسار أو عند الحاجة للمواشير من أجل الرؤية القريبة.

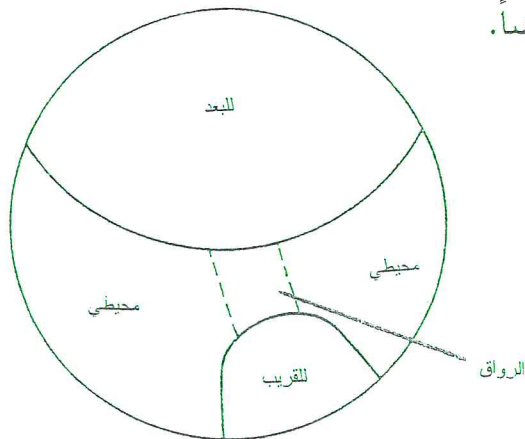


شكل ١١-١٢ : عدسات ثلاثية المحرق.

العدسات ذات الإضافية المتروية progressive addition Lenses

تتغير قوة العدسة في العدسة ذات الإضافية المتروية تدريجياً بين النقطتين البصريتين القريبة والبعيدة، وبذلك يكفي زوج واحد من النظارات من أجل كل المسافات. لا يوجد خط فاصل مرئي بين قسمي الرؤية القريبة والبعيدة، وهذا ما يسمح بتجنب المساوئ الجمالية الناتجة عن وجود حافة

تعبّر أمام العين. يقع رواق القوة المترقية Corridor بين DVP و NVP، وهنا تكون العدسة صحيحة بصرياً وتسمح برؤية المسافات المتوسطة (شكل ١١-١٣). يسمح ذلك بتجنب التغير المفاجئ في القوة أو التأثير الموشوري على الخط الفاصل كما في العدسات متعددة المحارق التقليدية. يزداد الزوغان والحرج في الأقسام المحيطية برواق ترقى القوة مما قد يعيق تحمل الوصفات ذات القيمة الاسطوانية العالية أو الإضافية العالية للقراءة. تختلف نماذج هذه العدسات باختلاف المصنع. وتحقق بعض النماذج القديمة الإضافة الكاملة للقراءة فقط قرب الحافة السفلية للعدسة. من الحكمة، عند صناعة هذه العدسة، إضافة نصف كسيرة موجبة إضافية للقسم القريب لضمان وجود قوة للقراءة عند الـ NVP. تتراوح هذه العدسات بين القاسية واللينية (أحدث) ومفرطة اللينة. يكون كل من القسم البعيد والقريب عريضين نسبياً في النماذج القاسية، بينما يكون الرواق ضيقاً وتحدث الزوغان من منه. يكون كل من القسم القريب والبعيد في النماذج الطرية الأحدث أصغر حجماً والرواق واسعاً، وتكون الزوغان أقل ملاحظة على جانبيه، بالتالي فإن تحملها أفضل. من غير المحتمل أن تلائم هذه العدسات المرضى الذين يحتاجون قسماً قريباً عريضاً.



شكل ١١-١٣: العدسة ذات القوة المترقية.

الفصل الثاني عشر

العدسات اللاصقة Contact lenses

مقدمة

يتم ارتداء العدسات اللاصقة غالباً كبديل للنظارات من قبل الذين يعتبرون ارتداء النظارات غير جذاب أو غير ملائم. إنها أكثر أماناً من النظارات بالنسبة للعديد من الرياضات أو المهن لأنها لا تسقط، ولا تتكسر، ولا تتشوش، ولا تتبلل بالمطر، كما أنها لا تمنع ارتداء الواقيات العينية. كما أن العدسات اللاصقة تتفوق على النظارات من الناحية البصرية في بعض الحالات. فهي تخفف الزوجانات المترافقة مع النظارات المستعملة لتصحيح مساوئ الانكسار العالية أو تلغيها نهائياً. كما أنها تخفف من تفاوت حجم الخيال المترافق مع تفاوت أسوء الانكسار والدرجات العالية من الحرج. تستعمل العدسات اللاصقة تشخيصياً وأثناء الجراحة لرؤية قعر العين وشبكة الجويئز. تستعمل العدسات اللاصقة الضمادية Bandage Contact lenses علاجياً في أمراض سطح العين لحماية القرنية وتحريض شفائها ولتخفيف الألم. يمكن استعمال العدسات اللاصقة لتحسين مظهر عين صغيرة أو عمياء أو كقرحجية اصطناعية في حالة غياب القرحجية. يستعمل نمط من العدسات اللاصقة مع مسرى ملتصق بها في تخطيط الشبكية الكهربائي (ERG).

الهندسة

تحدد القوة الكاسرة للمنطقة البصرية (المركزية) من العدسة اللاصقة اعتماداً على انحنائها الأمامي والخلفي وثخانتها وقرينة انكسارها. توصف العدسة اللاصقة بأنها كروية عندما يكون نصف قطر انحنائها السطحي متماثلاً في جميع المحاور. يمكن تصحيح مساوئ الانكسار

الاسطوانية بالعدسات اللاصقة التي يكون سطحها الأمامي أو الخلفي أو كلاهما حيدياً Toric. يمكن تجنب دوران العدسة اللاصقة الحيدية بدمجها مع موشور تصل قوته حتى كسيرتين موشوريتين وقاعدته للأسفل من أجل زيادة وزن القطب السفلي للعدسة أو بإزالة ٠,٥ - ١ مم السفلية من العدسة (تشذيبها) للسماح لها بأن تستقر على حافة الجفن السفلي. يعرف السطح الخلفي للمنطقة البصرية بانحنائه الخلفي الذي يسمى أيضاً المنحنى القاعدي Base curve. يقاس المنحنى القاعدي بقياس نصف قطره بالمليمترات أو قوته الكسيرية في الهواء. يجب أن يتطابق شكل انحناء السطح الخلفي للعدسة اللاصقة مع السطح اللاكروي للقرنية ليحدث تلاؤم صحيح للعدسة اللاصقة. يمكن الحصول على الشكل اللاكروي بإحاطة المنطقة المركزية البصرية بمنطقة أو منطقتين متراكبتين بنصف قطر انحناء متزايد لتشكيل عدسة لاصقة ثنائية أو ثلاثية المنحني. يجعل الوصل بين المناطق المختلفة أملس بعملية تدعى الدمج Blending. تم استبدال هذه الطريقة بإنتاج محسوب لمنحنى لاكروي دقيق. يحدد المنحنى القاعدي وقطر العدسة اللاصقة مدى إحكام انطباق العدسة على القرنية ودرجة السهولة التي تتحرك بها مع كل حركة رفيف. قطر العدسات اللاصقة القرنية أصغر من قطر القرنية التي تدعمها. أما العدسات اللاصقة الصلبة فإن لها حافة محيطية تركز على الصلبة، (وهي نادرة الاستعمال حالياً) بالرغم من أن التعامل معها بسبب قطرها الكبير (٢٥ مم). يتزود سطح القرنية بالأوكسجين من طبقة الدمع. بالتالي فإن العدسات اللاصقة المصنوعة من مواد غير نفوذة للغاز تحوي على مسافات أو ثقوب أو أثلام لتسهيل جريان الدمع خلف العدسة. تسبب العدسات اللاصقة المستعملة لتصحيح مساوئ الانكسار الكبيرة مشاكلًا عائدة لثخانتها ووزنها الكبير تتحرك الحافة العلوية النخينة للعدسة اللاصقة السالبة

(المقعرة) القوية نحو الأعلى مع حركة الجفن العلوي، وتتم معاكسة ذلك الأمر بإحداث ثلثة محيطية في العدسة اللاصقة الموجبة (المحدبة) القوية الذي يجعلها تهبط للأسفل بإضافة قسم حامل محيطي سالب يرتفع مع حركة الجفن العلوي.

الطبقة الدمعية والخرج

تعادل قرينة انكسار طبقة الدمع أمام القرنية (١,٣٣٣) تلك الخاصة بالقرنية (١,٣٣٧٥). تعدل طبقة الدمع عدم الانتظام البصري في سطح القرنية، هذا وإن القوة الكاسرة لسطح القرنية تعادل قوة السطح الفاصل بين الهواء وطبقة الدمع. تعرف طبقة الدمع الواقعة بين السطح الخلفي للعدسة اللاصقة والسطح الأمامي للقرنية بالعدسة الدمعية. إذا كانت هذه العدسة ذات ثخانة متجانسة فإن قوتها تكون مساوية للصفر يزيد المنحني القاعدي الأكثر انحناء (أي: عدسة لاصقة أشد تقبباً) من الارتفاع المحوري للعدسة الدمعية فتصبح قوتها أكثر إيجابية، بينما يجعلها العكس سلبية. تسمح العدسة الدمعية للعدسة اللاصقة الكروية بتعديل الحرج القرني. يجب أن يكون المنحني القاعدي للعدسة اللاصقة مساوياً لانحناء سطح القرنية في المحور الأكثر تسطحاً، بذلك فإنه حيث تكون القرنية أشد انحناء تكون العدسة الدمعية أكثر ثخانة وتعديل الحرج بالتالي فإنه من الملائم التعبير عن الوصفة باستعمال القوة الاسطوانية السالبة بسبب الحاجة لوصف المركبة الكروية فقط.

وبينما يمكن للعدسات اللاصقة القاسية أن تصحح بشكل طبيعي درجات كبيرة من الحرج القرني، فإن العدسات اللاصقة الطرية لا تعدل أكثر من (٢/١) - (٣/٤) كسيرة بهذه الطريقة لأنها تميل لأن تأخذ نفس شكل القرنية. وهكذا فإن الحرج القرني الذي يفوق ١,٥ - ٢ كسيرة يعد عائقاً قوياً أمام وصف العدسات اللاصقة الطرية. ولكن توجد عدسات طرية تصحح حرج

البصر القرني لا يمكن تعديل الحرج الناتج عن البلورة أو العدسة المزروعة داخل العين إلا بواسطة السطح الأمامي للعدسة اللاصقة الحيدية.

الفروق بين العدسات اللاصقة والنظارات

ساحة الرؤية

تتحرك العدسات اللاصقة مع العين وبالتالي تسمح بالرؤية الجيدة في كل وضعيات التحديق. لا تحدث التشوهات الناتجة عن النظر من خلال محيط عدسات النظارات في العدسات اللاصقة. قد تسبب العدسة اللاصقة رؤية هالات عندما تكون الحدة متوسعة بسبب الانكسار عبر المنطقة المحيطة للعدسة أو طبقة الدمع المجاورة. تضيق الساحة البصرية لدى المرضى المديدين بارتداء النظارات بسبب التأثير الموشوري لمحيط عدسات النظارات الذي تكون قاعدته باتجاه المحور البصري. وعندما يتحولون لارتداء العدسات اللاصقة فإنهم لن يعودوا بحاجة لتحريك عيونهم بنفس الدرجة لرؤية نفس الساحة البصرية. والعكس صحيح بالنسبة للمرضى الحسيين الذين تزداد الساحة البصرية لديهم باستعمال النظارات بسبب التأثير الموشوري ذي القاعدة التي تتجه بعيداً عن المحور البصري. تم الحديث عن تكبير العدسات اللاصقة في مكان آخر من هذا الكتاب. إن معظم حالات تفاوت سوء الانكسار هي محورية، يؤدي التحول من النظارات إلى العدسات اللاصقة في هذه الحالات إلى تكبير الخيال (وتحسن حدة البصر) لدى المرضى الحسيين وتصغيره لدى المرضى المديدين. يخف تفاوت حجم الخيال باستعمال العدسات اللاصقة مقارنةً مع النظارات.

الزوغان البصري

يضمن التلائم الصحيح للعدسة اللاصقة بأن تبقى العدسة متمركزة في كل وضعيات التحديق، وألا تتحرك حركات مفرطة مع الرفيف. ينقص

ذلك من الزوغان المائل الذي يحدث عند النظر من خلال الأقسام غير المحورية من العدسة، ويسمح بالحصول على حدة بصر جيدة في التحديق المحيطي.

المطابقة والتقارب

تعرض عدسات النظارات المتمركزة للبعد تأثيراً موشورياً عند تقارب العينين من أجل الرؤية القريبة. لا يحدث مثل هذا التأثير في العدسات اللاصقة التي تبقى متمركزة. للنظارات الحسرية تأثير موشوري قاعدته للداخل ينقص من الحاجة للمطابقة والتقارب عند النظر للقرب. بالتالي فإن التحول نحو العدسات اللاصقة يتطلب زيادة في المطابقة والتقارب، وهذا قد يسبب إجهاداً عينيّاً لدى المرضى الحسرين المصابين بقصو البصر. يتم التخلص من التأثير اللامتساوي للنظارات في تفاوت سوء الانكسار باستعمال العدسات اللاصقة.

المواشير

من الممكن دمج ٣ كسيرات موشورية في العدسة اللاصقة القرنية من دون جعلها سمكية جداً. يدور الموشور العدسة اللاصقة بحيث تتوضع قاعدة الموشور في الأسفل دوماً. وهذا ما يجعل التصحيح الموشوري الأفقي مستحيلاً ويحصر الموشور بعدسة واحدة فقط. تسمح العدسات الصلبة الملائمة بدمج ٦ كسيرات موشورية شاقولية أو أفقية موزعة بين العدستين.

التلون

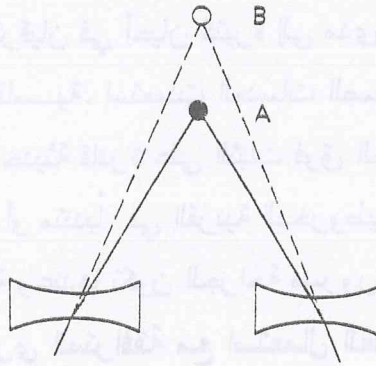
قد تكون العدسات اللاصقة ملونة بلون أزرق خفيف لجعلها مرئية من أجل سهولة التعامل معها ونزعها وإدخالها. كما قد تكون ملونة بلون أخضر قاتم أو أزرق قاتم أو بني (باستثناء المركز) لجعل القرنية تبدو بلون مختلف.

العدسات اللاصقة ثنائية المحرق

يحتاج مرضى قصو البصر والبلورة واللابلورة لتصحيح بصري على أكثر من مسافة جسمية واحدة لأن المطابقة لديهم تكون ناقصة أو غائبة. تتضمن الخيارات لدى هؤلاء المرضى ارتداء نظارات فوق العدسات اللاصقة أو العدسات اللاصقة ثنائية المحرق أو الرؤية الوحيدة Monovision. تستلزم الرؤية الوحيدة وصف عدسة لاصقة للبعد لإحدى العينين (عادةً ذات الرؤية الأفضل) وعدسة لاصقة للقرب للعين الأخرى. يجب أن يتعلم المرضى كيفية التكيف مع التركيز على الخيال الأوضح في إحدى العينين. تكون الرؤيتان المشتركة والمجسمة متدنيتين. يوجد العديد من نماذج العدسات اللاصقة ثنائية أو متعددة المحارق منها: الحلقية اللاكروية الشدافية، الانعراجية. توجد منطقة مركزية في العدسات اللاصقة ثنائية المحرق الحلقية تصحح البعد عادةً، وهي بمنطقة حلقية من أجل القرب. ترتفع العدسة اللاصقة عند التحديق للأسفل فوق القرنية بحيث يصبح القسم القريب إلى الأمام من المحور البصري.

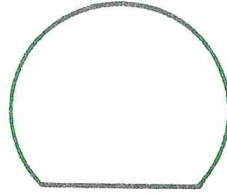
يشكل الضوء القادم من جسم بعيد والمار عبر قسم العدسة المخصص للرؤية البعيدة خيلاً شبيكياً واضحاً. لكن الضوء المار عبر القسم القريب من العدسة اللاصقة في هذه الظروف يشكل خيلاً مشوشاً يترابط مع الخيال الأول فينقص من وضوحه. والعكس أيضاً صحيح عند النظر إلى جسم قريب. يتعلم الشخص الذي يرتدي العدسات أن يركز فقط على الخيال الواضح. العائق الرئيسي أمام استعمال العدسات ثنائية المحرق الحلقية هو أن القسم المحيطي (الحلقي) من العدسة لا يكون فعالاً عندما يكون قطر الحديقة صغيراً. يصحح الجزء المركزي في العدسة اللاصقة متعددة المحارق اللاكروية الرؤية البعيدة ويحدث انتقال تدريجي في القوة نحو القسم المحيطي

الذي يصحح الرؤية القريبة. يتجمع مقدار صغير فقط من الضوء الكلي الداخل للعين من خلال العدسة اللاصقة في محرق على الشبكية، ويجب على هذا المحرق أن يتنافس مع الخيال المشوش المتشكل من الضوء المار عبر الأقسام الأخرى للعدسة اللاصقة كما هو مذكور أعلاه. يتم دمج الإضافة القريبة في القسم السفلي من العدسة في العدسات اللاصقة الشدئية ثنائية المحرق. تنظر العين من خلال قسم الرؤية البعيدة في الوضعية البدئية. وعند التحديق للأسفل ترتفع العدسة اللاصقة فوق القرنية بحيث يصبح القسم القريب أمام المحور البصري. يجب منع هذه العدسات من الدوران بقطع جزء منها أو بزيادة وزنها باستعمال موشور قاعدته للأسفل (شكل ١٢-٢).



شكل ١٢-١: تأثير موشوري قاعدته للدخل في النظارات الحسرية يتجه المحور البصري باتجاه B عند النظر إلى جسم قريب A .

تحتوي العدسات ثنائية المحرق الانعراجية diffractive على حلقات متراكزة انعراجية على سطحها السفلي مصممة لتجميع كميات متساوية من الضوء القادم من الأجسام البعيدة والقريبة. يكون الخيال أقل سطوعاً منه في العدسات اللاصقة وحيدة المحرق وهذا ما قد يسبب مشكلة في الإنارة الخافتة.



شكل ١٢-٢: عدسة لاصقة مقطوعة.

القرنية المخروطية Keratoconous

تسبب زيادة انحناء سطح القرنية في القرنية المخروطية حسراً متزايداً وحرماً غير منتظم تستجيب الحالات الخفيفة للتصحيح بالنظارات، لكن الحسر والحرج يترقيان في أحيان كثيرة إلى مدى لا يستجيبان معه إلا العدسات اللاصقة القاسية. استعملت العدسات الصلبة، تاريخياً، لكن تم تصميم عدسات قرنية حديثة قادرة على الثبات فوق المخروط. عندما يكون المخروط شديد الانحناء أو منتدباً في القرنية المخروطية الشديدة قد لا تكون العدسات اللاصقة ملائمة وعندها تكون الجراحة ضرورية.

المشاكل البصرية الأخرى المترافقة مع استعمال العدسات اللاصقة

المشاكل قصيرة الأمد

إذا كان السطح الخلفي للعدسة اللاصقة شديد التسطح فإنها تتحرك بشكل مفرط على القرنية، وقد تتوضع حافتها في المحور البصري وتسبب تموج الرؤية مع كل حركة رفيف. تضغط حركة الجفن العلوي أثناء الرفيف العدسة اللاصقة الطرية على القرنية وتسبب تموجاً مؤقتاً في حدة البصر. تشير القوة المقدرة للعدسة اللاصقة الطرية إلى قوتها عندما تكون معلقة في سيروم ملحي في درجة حرارة الغرفة. تحدث تبدلات صغيرة عندما تكون العدسة في الاستعمال. وهذه التغيرات هي: تأخذ العدسة شكل الانحناء

السطحي للقرنية، يزيد تبخر الماء من قرينة الانكسار، ويزيد ارتفاع درجة الحرارة من الانحناء (يزيد العاملان الأخيران من القوة السلبية للعدسة). قد يسبب جفاف الجو في الطائرة تشوشاً في الرؤية أثناء وبعد الطيران بسبب زيادة تبخر الماء من العدسات اللاصقة الطرية.

المشاكل طويلة الأمد

تشوه القرنية Corneal warpage عبارة عن تغير في انحناء القرنية ناتج عن ارتداء العدسة اللاصقة ولا يترافق مع وذمة قرنية. يتراجع بعد خلع العدسة في غضون ساعات أو أيام. لا تستطيع النظارات التي كانت دقيقة فيما مضى معاوضة الشكل المعدل للقرنية أثناء هذا الوقت. بالتالي يحدث تشوش بالنظارة. يكون التشوه أشد ويستمر لفترة أطول عند استعمال العدسات اللاصقة القاسية. من المهم عدم إجراء الجراحة الانكسارية أو القياسات الحيوية (لتقدير قوة العدسة داخل العين) أو وصف نظارة قبل ثبات هذه التغيرات.

الفصل الثالث عشر

وسائل دعم الرؤية الضعيفة

Low vision Aids

مقدمة

تستعمل أنواع متعددة من الوسائل المكبرة بشكل واسع لمساعدة المرضى ضعيفي الرؤية في الحياة اليومية. تصمم معظم ما تعرف "بوسائل دعم الرؤية الضعيفة" لتستعمل في القراءة، أي من أجل الرؤية القريبة. لكن توجد وسائل أخرى لدعم الرؤية البعيدة، مثال: لتمكين المريض من رؤية أرقام الباص ومشاهدة التلفزيون. سنناقش في هذا الفصل المبادئ البصرية لوسائل دعم الرؤية الضعيفة.

ينصح القارئ الذي يرغب بالتعمق أكثر في الأشكال المختلفة لهذه الوسائل وتطبيقاتها السريرية أن يراجع الكتب المختصة بهذا الموضوع. تعمل كافة وسائل دعم الرؤية الضعيفة عن طريق تزويد المريض بمنظار مكبر للأجسام. معظمها أجهزة بصرية تعمل عن طريق زيادة الزاوية التي تواجه بها الجسم العين، وبالتالي تشكيل خيال شبكي مكبر. يمكن تعريف قوة التكبير (MP) لهذا الأجهزة البصرية كمايلي:

$$\text{حجم الخيال الشبكي باستعمال الجهاز} = \text{MP}$$

حجم الخيال الشبكي من دون استعمال الجهاز

كما أن أجهزة الإسقاط قد أصبحت بالاستخدام حالياً كوسائل دعم للرؤية الضعيفة. يقدم خيال مكبر للجسم إلى المريض على شاشة يستطيع أن يراها من مسافة ملائمة. من الوسائل لتحقيق ذلك التلفزيون ذو الدارة المغلقة

لكن استعماله محدود. سنناقش الآن المبادئ البصرية الأساسية لهذه الأجهزة المستخدمة كوسائل دعم الرؤية الضعيفة (LVA).

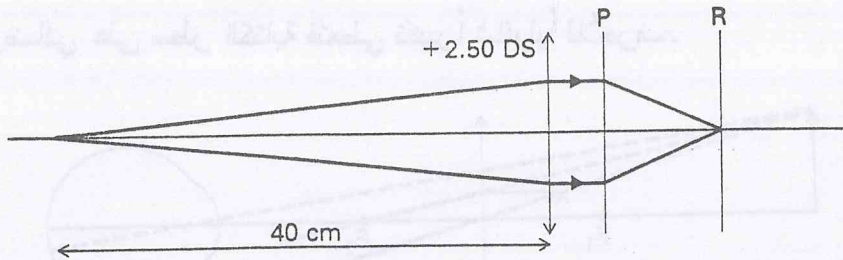
العدسة المحدبة

تمت مناقشة كيفية استعمال العدسة المحدبة كمكبرة في الفصل الخامس. تعمل العدسة المحدبة البسيطة القوية الموضوعية في إطار نظارة بنفس الطريقة. يتم تحقيق قوة التكبير بالسماح للعين برؤية الجسم ضمن مدى أقرب مما هو ممكن دون مساعدة أو باستعمال التصحيح التقليدي لقصو البصر. لكن قوة العدسة المستخدمة، مثال: +0.5DS ، أقل منها في النظارات المكبرة التقليدية ($x8=+32DS$) لذلك يمكن اعتبار العدسة المحدبة في هذه الحالة كتعزيز لتصحيح قصو البصر (شكل ١٣-١) .

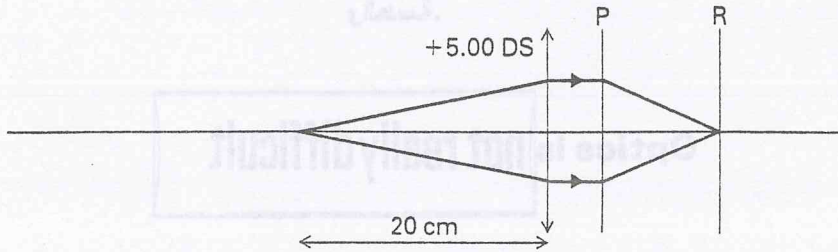
تستعمل العدسات المحدبة أيضاً كمكبرات محمولة باليد أو موضوعة على قوائم. يتوضع الجسم بين المحرق الرئيسي الأول والعدسة ويتشكل خيال مكبر وهمي تراه العين. مع اقتراب الجسم إلى ما بعد المحرق الرئيسي الأول / F_1 / يصبح الخيال الوهمي أكبر ويتوضع أبعد من العين (شكل ١٣-٢). بالتالي يمكن وضع المكبرة المحمولة باليد على بعد يسمح بتشكيل الخيال على بعد مريح عن العين. تصمم المكبرات المحمولة على قوائم بحيث تكون المسافة المثلى بين الجسم والعدسة ثابتة. من الأشكال الأخرى عدسة "تثقل الورق" المحدبة المستوية "paper weight" وهي ثخينة جداً وتستقر مباشرة على الورقة.

تعتمد ساحة الرؤية الناتجة عن عدسة محدبة مستعملة كمكبرة على حجم أو فوهة العدسة، وعلى المسافة بين العين والعدسة. كلما كانت المسافة بين العين والعدسة أكبر كلما كانت ساحة الرؤية أقل. تستعمل العدسات الاسطوانية المحدبة أيضاً كوسائل دعم للقراءة (شكل ١٣-٣) .

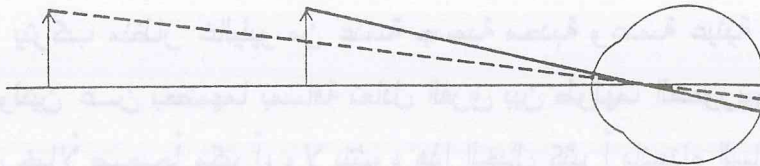
أ- جسم ينظر إليه من بعد ٤٠ سم بعدسة عادية +٢,٥ كسيرة تصحيح قصو البصر



ب- جسم ينظر إليه من بعد ٢٠ سم بعدسة محدبة قوتها +٥,٠٠ كسيرة

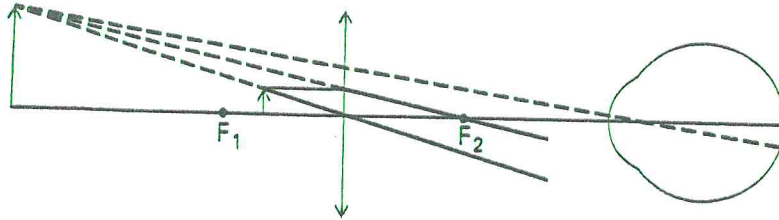


ج- مقارنة زاوية الرؤية لجسم على بعد ٤٠ سم مع زاوية الرؤية لجسم على بعد ٢٠ سم



شكل ١٣-١: عدسات نظارات محدبة تستعمل كـ (LVA) مثال: مريض عمره ٦٥ سنة
سديد ولديه AMD (p = المستوي الرئيسي، R = شبكية).

توضع عدسة اسطوانية الشكل لكن من دون قوة كاسرة أو ذات قوة مقربة بسيطة في محورها الطولاني وقوة مقربة كبيرة في محورها العرضاني على سطر الكتابة فتعطي تكبيراً شاقولياً للأحرف.



شكل ١٣-٢: عدسة محدبة مستعملة كمكبرة حيث يتوضع الجسم بين المحرق الرئيسي والعدسة.

Optics is not really difficult

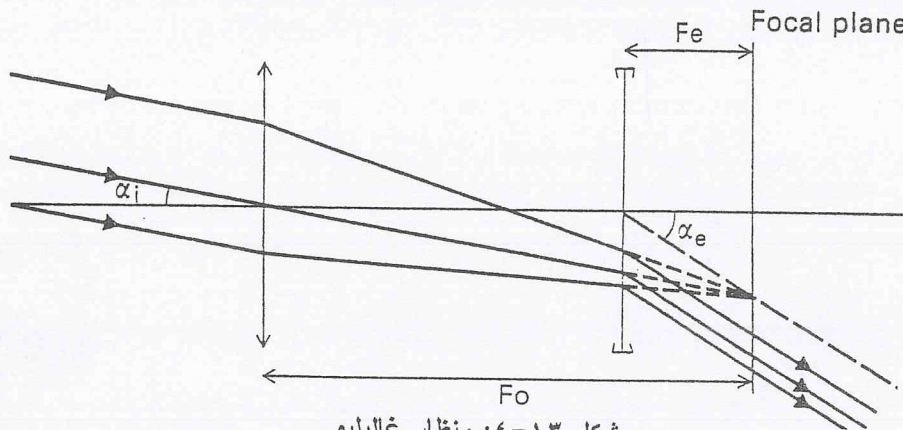
شكل ١٣-٣: عدسة مكبرة اسطوانية محدبة.

جهاز غاليليو The Galilean System

يتركب منظار غاليليو من عدسة جسمية محدبة وعدسة عينية مقعرة مفصولتين عن بعضهما بمسافة تعادل الفرق بين طولهما المحوريين. إنه يشكل خيلاً صحيحاً مكبراً، ولا يتشوه هذا الخيال كثيراً بانحناء الساحة أو الحرج. هذا المنظار مدمج وخفيف الوزن وبذلك فهو مناسب للاستعمال كوسيلة مكبرة بوضعه في إطار النظارة. يمكن تعديله لرؤية الأجسام البعيدة أو القريبة، لكن من الصعب إشراك الاستعمال البعيد والقريب في نفس

الجهاز. يكبر منظار غاليليو (شكل ١٣-٤) بزيادة الزاوية التي يواجه بها الجسم العين.

التكبير الزاوي $M = \frac{\alpha_e}{\alpha_i}$ حيث α_e هي زاوية الصدور، α_i هي زاوية الورود. يمكن الإثبات رياضياً $M = \frac{F_e}{F_o}$ حيث F_e هي قوة العدسة العينية بالكسيرات و F_o هي قوة العدسة الجسمية بالكسيرات.



تتحدد الفائدة العملية لوسائل التكبير البصري كوسائل دعم للرؤية الضعيفة بالعوامل التالية:

١- يؤدي التكبير العالي إلى إنقاص ساحة الرؤية مما يجعل المسح السريع لخط أو صفحة مكتوبة مستحيلاً. يحد هذا العامل أيضاً من فائدة وسائل دعم الرؤية البعيدة.

٢- يتوجب الإمساك بالجسم الذي ينظر إليه قريباً من العين.

٣- يعني التكبير أن العمق المحرقى قليل، وبالتالي فإن المسافة بين الجسم والعدسة مضطربة .

تؤدي عدم ثبات الرأس أو اليد في الممارسة إلى عدم ثبات غير مرغوب في الساحة والمحرق. بالتالي يجب أن يكون هدف الفاحص إعطاء

المريض أقل تكبير في باحتياجاته، وأن يوصف بشكل مقبول وسهل
الاستعمال.

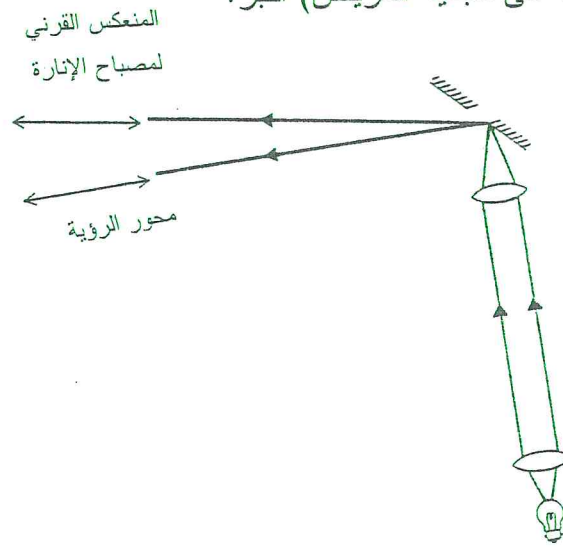
الفصل الرابع عشر

الأجهزة Instruments

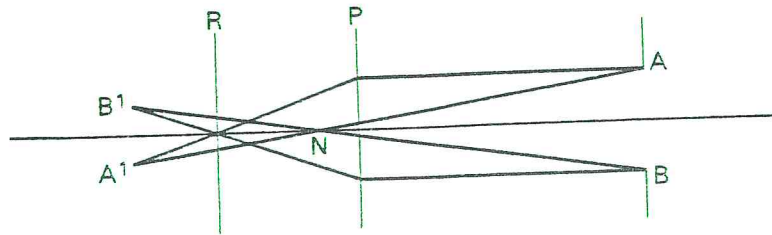
منظار قعر العين المباشر Direct ophthalmoscope

يستعمل منظار قعر العين المباشر بشكل شائع في الفحص الروتيني لقعر العين، وخاصةً عند عدم إمكانية استعمال المصباح الشقي. إنه صغير الحجم، سهل الحمل باليد، ويمكن استعماله أيضاً لفحص الأقسام الأمامية من العين. بالتالي فإنه من المهم معرفة آلية عمله وفوائده وسليباته. يتألف هذا الجهاز من نظام من العدسات التي تجمع الضوء القادم من مصباح كهربائي على مرآة بحيث يتشكل خيال حقيقي لسلك المصباح. تعكس المرآة الضوء الصادر على شكل حزمة متباعدة ويستعمل لإنارة عين المريض. تحتوي المرآة على ثقب يراقب من خلاله الفاحص العين المنارة. يتشكل خيال المصباح إلى الأسفل تماماً من الثقب بحيث لا يتوضع انعكاسه القرني في المحور البصري للفاحص (شكل ١٤-١). تدعى المنطقة من الشبكية التي يمكن رؤيتها في وقت واحد بساحة الرؤية، ويتحكم بها خيال ثقب الرؤية المسقط على الشبكية (ثقب الرؤية هو ثقب المرآة أو حدقة الفاحص، أيهما أصغر). يتم تشكيل الخيال A^1B^1 لثقب الرؤية AB (الشكل ١٤-٢) باستعمال شعاع يمر من النقطة العقدية N وشعاع مواز للمحور البصري ينكسر من قبل العين ليمر عبر نقطتها المحرقة الخلفية. يظهر (الشكل ١٤-٣) المنطقة من الشبكية التي يسقط عليها الخيال A^1B^1 ، والتي تمثل ساحة الرؤية. يظهر الشكل أن ساحة الرؤية أصغر في العين الحسيرة Rm / وأكبر في العين المديدة Rh / منها في العين السديدة R /. يظهر (الشكل ١٤-٤) أن ساحة الرؤية تكون أكبر بشكل ملحوظ عندما تكون

الحدقة موسعة، ومن هنا تأتي فائدة تقطير موسع الحدقة قبيل تنظير قعر العين. من الضروري أن يكون الفاحص قريباً من عين المريض قدر الإمكان للاستفادة من ساحة الرؤية الأعظمية الممكنة. يظهر (الشكل ١٤-٥) أنه عندما تنقص المسافة بين المريض والفاحص تصبح ساحة الرؤية (خيال ثقب الرؤية المسقط على شبكية المريض) أكبر.

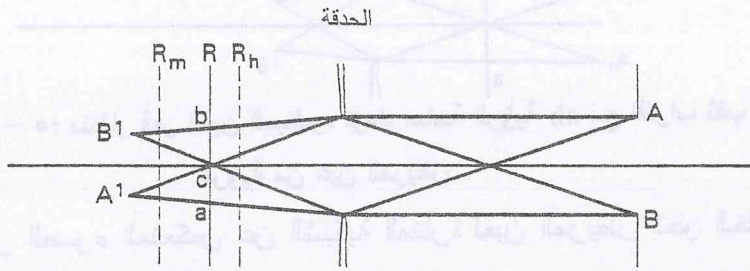


شكل ١٤-١: منظار قعر العين المباشر.

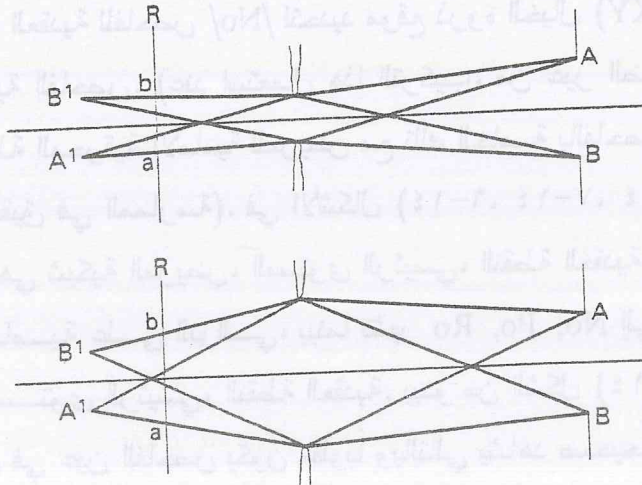


شكل ١٤-٢: منظار قعر العين المباشر. خيال ثقب الرؤية المتشكل في العين السديدة:
R=شبيكية، P=المستوي الرئيسي.

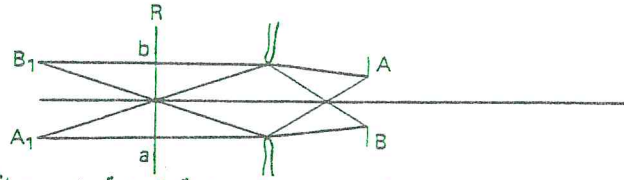
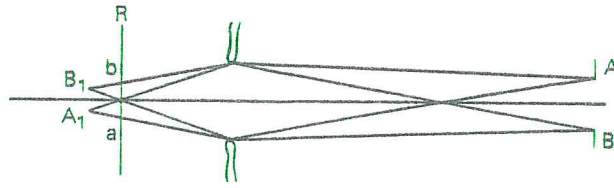
لا تتم إنارة ساحة الرؤية بشكل متجانس لأن الخيال الحقيقي لسلك المصباح يتوضع إلى الأسفل تماماً من ثقب الرؤية، فالمنطقة bc في (الشكل ٣-١٤) أكثر سطوعاً من المنطقة ac، لكن هذا التأثير قد زال بنسبة كبيرة من معظم الاجهزة الحديثة. ينجم الظل الأسود الذي يشاهد غالباً عند فحص الأجزاء المحيطية من الشبكية عن الانعكاس الداخلي الكلي للضوء على محيط البلورة.



شكل ٣-١٤: منظر قعر العين المباشر. ساحة الرؤية ab (خيال ثقب الرؤية المسقط على الشبكية في العين السديدة R، في العين الحسيرة Rm، في العين المديدة Rh).



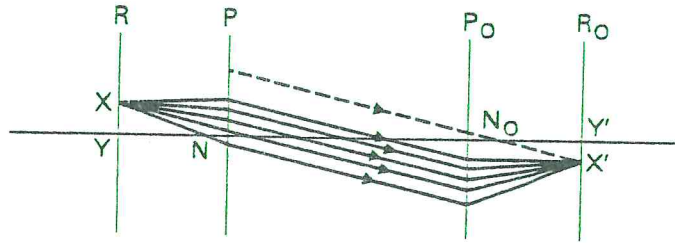
شكل ٣-١٤: منظر قعر العين المباشر، تأثير سعة الحدقة على ساحة الرؤية ab.



شكل ١٤ - ٥: منظر قعر العين المباشر، تزداد مساحة الرؤية ab مع اقتراب ثقب الرؤية من عين المريض.

يمر الضوء المنعكس عن الشبكية المنارة لعين المريض نحو الخلف خلال ثقب المرآة ومنه إلى عين الفاحص. يمكن تحديد حجم وموقع الخيال المتشكل في عين الفاحص بتشكيل خيال الشبكية المنارة XY الذي يتوضع في نقطة المدى الخاصة بالمريض. ثم يرسم شعاع من ذروة الخيال ليمر عبر النقطة العقدية للفاحص No لتحديد موقع ذروة الخيال (XY) الذي يتشكل في شبكية الفاحص. (عند استعمال هذا التركيب، من غير الضروري أن تتطابق النقطة المحرقة الأمامية للمريض مع تلك الخاصة بالفاحص وهي حالة نادرة التحقيق في الممارسة). في الأشكال (١٤-٦، ١٤-٧، ١٤-٨) : Fa, N, p, R هي شبكية المريض، المستوى الرئيسي، النقطة العقدية، النقطة المحرقة الأمامية على التوالي، بينما تشير No, Po, Ro إلى شبكية الفاحص، المستوى الرئيسي، النقطة العقدية. يبدو من الشكل (١٤-٦) أن الخيال المتشكل في عين الفاحص يكون مقلوباً وبالتالي يشاهد صحيحاً كما أن حجم الخيال يتفاوت بحسب الحالة الانكسارية لعين المريض، بحيث يكون

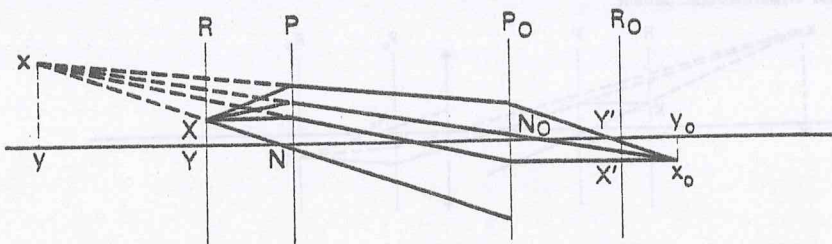
ب). يعتمد الشكل (١٤-٨) على الشكل (شكل ١٤-٦) لكن تمت إضافة حزمة من الضوء حول الشعاع الذي يمر من النقطة العقدية للفاحص لإظهار أن النقطة x' (و Y') في (شكل ١٤-٦) هي في الحقيقة دائرة تشويش لأن الخيال الوهمي $Xo Yo$ يتشكل خلف شبكية الفاحص. بالتالي فإن المنظر يكون مشوشاً لدى الفاحص. يتلقى الفاحص السديد، بنفس الطريقة، حزمة ضوئية مقاربة عند فحص مريض حسيير وتتجمع في محرق واقع إلى الأمام من شبكيته (شكل ١٤-٨). مرة أخرى، فإن x' هي دائرة تشويش ويرى الفاحص منظراً مشوشاً ما لم يستعمل عدسة مصححة مقعرة.



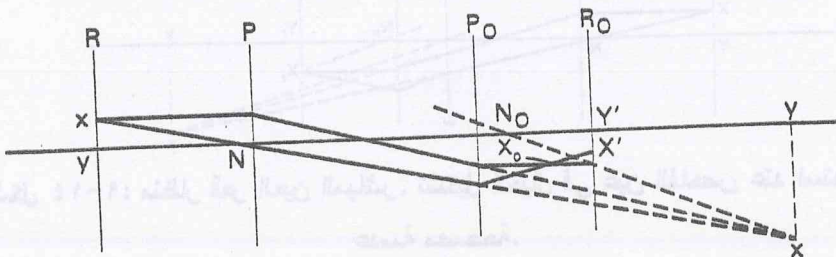
شكل ١٤-٧: منظار قعر العين المباشر. المريض والفاحص سديدان.

بالتالي فإنه من الضروري استعمال عدسة مصححة لتجميع الضوء في محرق واقع على شبكية الفاحص لكي يستطيع رؤية منظر واضح لشبكية المريض الحسيير أو المديد. يتم دمج مجموعة من العدسات المصححة في منظار قعر العين. يجب أن تكون قوة العدسة المصححة مساوية لدرجة تباعد أو تقارب الضوء الصادر عن عين المريض، بذلك فإن العدسة المصححة تجعل حزمة الضوء متوازية وتشكل العين السديدة للفاحص خيلاً واضحاً على الشبكية. يكون الخيال المتشكل على شبكية الفاحص أصغر عندما تكون عين المريض مديدة وأكبر منه عندما تكون حسييرة مما تكون عليه في العين

سديدة، لكن استعمال العدسة المصححة ينقص من التباين في الحجم (شكل ١٤-٩). (إذا تطابقت النقطة المحرقة الأمامية للمريض والفاحص ووضعت العدسة المصححة في نفس النقطة، فإن الخيال لدى الفاحص يكون بنفس الحجم بغض النظر عما إذا كان المريض مديداً أو سديداً أو حسيراً. لكن هذه الحالات نادرة التحقيق في الممارسة).



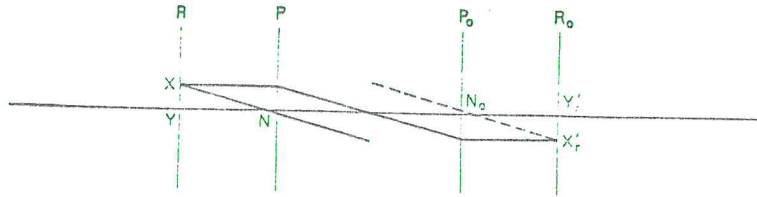
شكل ١٤-٨: منظر قعر العين المباشر. المريض مديد والفاحص سديد.



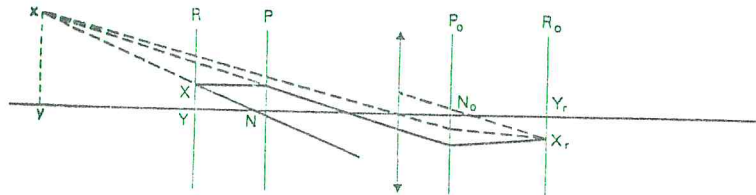
شكل ١٤-٨ ب: منظر قعر العين المباشر. المريض حسير والفاحص سديد.

عند فحص عين مديدة جداً (كما في اللابلورة) يشاهد خيال صغير مع ساحة رؤية واسعة، وبالتالي يمكن مسح كامل قعر العين بسرعة. إن حجم الخيال الكبير في العين الحسيرة وساحة الرؤية الصغيرة مقارنة مع العين السديدة يؤدي إلى تحديد في القدرة على رؤية قعر العين من قبل الفاحص.

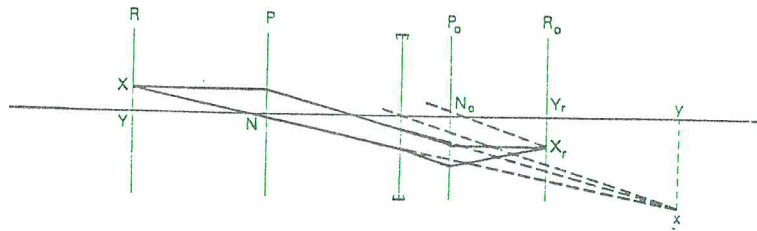
(a) Emmetropic patient



(b) Hypermetropic patient



(c) Myopic patient



شكل ١٤-٩: منظر قعر العين المباشر. تشكيل الخيال في عين الفاحص عند استعمال عدسة مصححة.

كما أن العين بحد ذاتها تكون أكبر في الحسر المحوري منها في العين السديدة، وبالتالي فإنه من الصعب فحص قعر العين بشكل كامل في العين الحسيرة بالمنظار المباشر بسبب نقص حجم الساحة نسبة إلى حجم الخيال. عند النظر إلى قعر العين بمنظار قعر العين المباشر في الدرجات العالية من الحسر أو المد فإن منظره يكون مختلفاً جداً ومميزاً بحيث يمكن استنتاج الحالة الانكسارية للعين من خلاله. يمكن الاستفادة من هذا التباين في المظهر عندما لا يستطيع أخصائي الانكسار الحصول على منعكس واضح

أثناء تنظير الشبكية في الدرجات العالية من سوء الانكسار. من المستحيل الحصول على منظر مثالي لقعر العين في العين الحرجية لأن جميع العدسات المصححة في منظار قعر العين هي كروية. بالتالي فمن الممكن تصحيح محور واحد فقط في كل مرة. إذا كانت قوة الحرج عالية يحدث تشوه في الخيال بسبب اختلاف الحجم الناتج عن تباين القوة الكسيرية للعين في المحورين الرئيسيين ويظهر القرص البصري شاحباً. اعتبرنا في كل ما سبق أن الفاحص سديد. أما إذا كان الفاحص مصاباً بسوء انكسار فيوجد احتمالان: يمكن أن يخلع الفاحص نظاراته ويستعين بعدسة مصححة ملائمة في المنظار للحصول على مظهر واضح لقعر عين المريض.

تعادل قوة العدسة المصححة الملائمة المجموع الجبري لسوء الانكسار لدى المريض والفاحص. (هذه القيمة تقريبية لأن وضعية العدسة المصححة تؤثر على فعاليتها). أو قد يستعمل الفاحص المنظار وهو مرتد لنظاراته كحل بديل. لكن ساحة الرؤية لديه ستكون متحددة بسبب بعد ثقب الرؤية في المرآة عن عينه. يمكن تقدير سوء الانكسار لدى المريض تقريباً بملاحظة العدسة المصححة التي استعملت، مع الافتراض بالطبع بأن كلا المريض والفاحص لا يطابقان.

يشاهد القطب الخلفي للمريض شديد الحسر بشكل أفضل بمنظار قعر العين المباشر إذا تم فحصه وهو مرتد لنظاراته. يمكن حساب تكبير شبكية المريض عند فحصها بمنظار قعر العين المباشر باستعمال نفس المبدأ المطبق في النظارات المكبرة. يستعمل الفاحص القوة الكسيرية لعين المريض كنظارة مكبرة مما يمكنه من رؤية شبكية المريض بشكل واضح في نقطة الكتب الخاصة به.

إن معادلة التكبير في النظارة المكبرة هي $M = \frac{F}{4}$ حيث M هو التكبير، F هي القوى الكسيرية للنظارة المكبرة. إذا اعتبرنا أن القوة الكسيرية لعين المريض السديد +60 كسيرة يكون تكبير منظار قعر العين المباشر X15. تجعل درجة التكبير هذه منظار قعر العين المباشر مفيداً على وجه الخصوص في فحص مرضى اعتلال الشبكية لأنه يظهر معظم أمهات الدم الصغيرة بشكل واضح، لكن بعضها صغير جداً بحيث لا تمكن رؤيتها بهذا الجهاز. تحوي معظم المناظير الحديثة على مرشحة للضوء الأحمر red-free. تظهر أمهات الدم الصغيرة في الضوء الأخضر الناتج على شكل نقاط سوداء على خلفية خضراء مما يجعل اكتشافها أسهل. يمكن استعمال منظار قعر العين المباشر أيضاً كمكبرة ذاتية الإنارة لفحص القسم الأمامي من العين. مثال: يمكن رؤية كثافات البلورة بشكل مباشر من خلال عدسة مصححة +10D.

منظار قعر العين اللامباشر Indirect ophthalmoscope

يقدم منظار قعر العين اللامباشر وسيلة بديلة لفحص الشبكية والزجاجي، ويعطي منظراً مختلفاً للشبكية مقارنةً مع ذلك المشاهد بمنظار قعر العين المباشر. لكل من الجهازين مكانهما ويجب أن يستعمل بشكل مكمل لبعضهما البعض في الفحص السريري للعين. يقارن الجدول (١٤-١) بين خصائص كلا الجهازين.

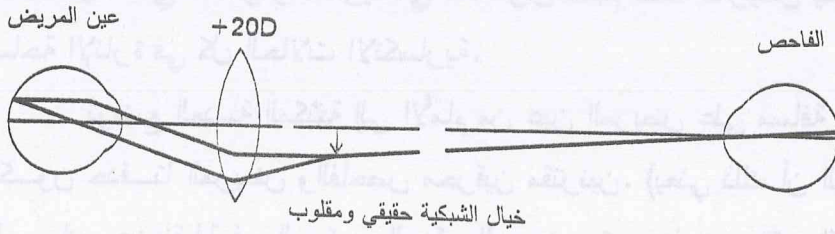
الجدول ١٤-١: ملخص للخصائص البصرية لمنظار قعر العين المباشر واللامباشر

منظار قعر العين اللامباشر	منظار قعر العين المباشر	
مقلوب شاقولياً وأفقياً	غير مقلوب	- الخيال
كبيرة (٢٥)	صغيرة (٦)	- ساحة الرؤية

تابع الجدول ١-٤

صغير [x3(+20D)] [x5(+13D)]	كبير (x15)	- التكبير
صغير	كبير	- تأثير سوء الانكسار لدى المريض
منظر مجسم	غير ممكنة	- الرؤية بالعينين
مرآة تعليم	غير موجودة	- سهولة التعلم

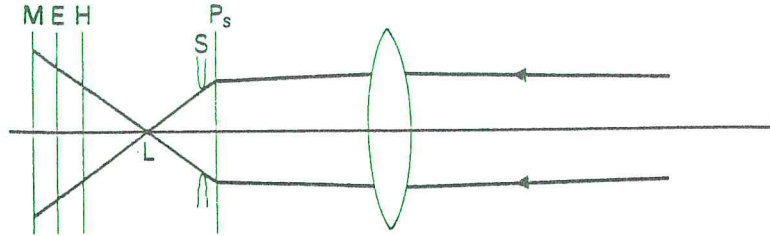
توضع عدسة محدبة قوية (ومن هنا أتت تسميتها بالعدسة المكثفة) إلى الأمام من عين المريض في طريقة تنظير قعر العين غير المباشر. القوة المستعملة المعتادة هي +20D و +13D. تمر حزمة الإنارة من خلال العدسة المكثفة إلى العين وينكسر الضوء المنعكس من الشبكية بواسطة العدسة المكثفة ليشكل خيالاً حقيقياً بين العدسة المكثفة والفاحص. يدرس الفاحص هذا الخيال الحقيقي لشبكية المريض (شكل ١٤-١٠).



شكل ١٤-١٠: كمنظار قعر العين اللامباشر.

يتم تزويد بالإنارة بواسطة مصباح كهربائي يوضع على رأس الفاحص. يصبح الضوء الصادر عن هذا المنبع متقارباً بواسطة العدسة المكثفة. بذلك تدخل حزمة متقاربة عين المريض وتتجمع في محرق داخل الزجاجي بواسطة الجهاز الانكساري للعين. يتباعد الضوء عندئذٍ ليصل إلى

الشبكية (شكل ١٤-١١)، بالتالي فإن الإنارة تكون ساطعة ومتجانسة كما لو أنها قادمة من خيال حقيقي للمنبع الضوئي داخل عين المريض.

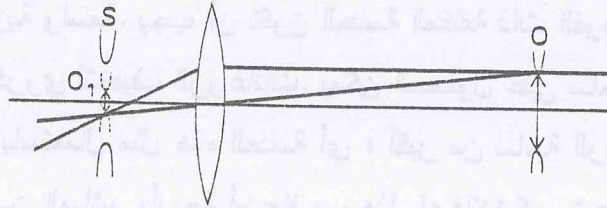


شكل ١٤-١١: منظار قعر العين اللامباشر. ساحة الإنارة.

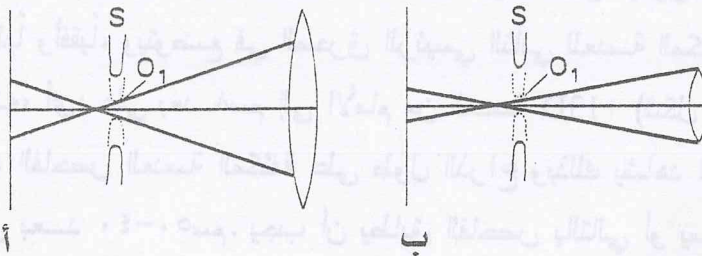
يبين (الشكل ١٤-١١) مسار حزمة الإنارة، بحيث أن PS هو المستوى الرئيسي للمريض، S هي حدقته، M و E و H هي الشبكية عند الحسير والسديد والمديد على التوالي. يظهر المخطط أن ساحة الإنارة تكون أعظمية في الحسر وأصغرية في المد، وأن حجم حدقة المريض يحد من ساحة الإنارة في كل الحالات الانكسارية.

توضع العدسة المكثفة إلى الأمام من عين المريض على مسافة بحيث تكون حدقتا المريض والفاحص محرقين مقترنين. (يعني ذلك أن الضوء الصادر عن نقطة في المستوى الحدقي للمريض يتجمع في محرق واقع في المستوى الحدقي للفاحص بواسطة العدسة المكثفة والعكس أيضاً صحيح). يتشكل بالتالي خيال مختصر لحدقة الفاحص في المستوي الحدقي للمريض (شكل ١٤-١٢) (يعادل خيال حدقة ٤ مم حوالي ٠,٧ مم). لا تدخل سوى الأشعة الضوئية التي تغادر عين المريض من خلال منطقة خيال حدقة الفاحص إلى حدقة الفاحص بعد الانكسار بواسطة العدسة المكثفة، وهنا يستطيع أن يراها. إن حدقة الفاحص هي ثقب الرؤية للجهاز ويؤثر حجمها على ساحة الرؤية. تتأثر ساحة الرؤية أيضاً بفوهة أو حجم العدسة المكثفة،

لا يستطيع الفاحص أن يرى إلا تلك الأشعة التي تغادر عين المريض عن طريق خيال حدقة الفاحص والتي تمر فيما بعد عبر العدسة المكثفة (شكل ١٤-١٣).



شكل ١٤-١٢: منظار قعر العين اللامباشر. تركيب الخيال المختصر O_1 لحدقة الفاحص O في المستوي الحدقي للمريض S .



شكل ١٤-١٣: منظار قعر العين اللامباشر. يحد كل من خيال حدقة الفاحص O_1

المتشكل في حدقة المريض S وفوهة العدسة المكثفة من ساحة الرؤية.

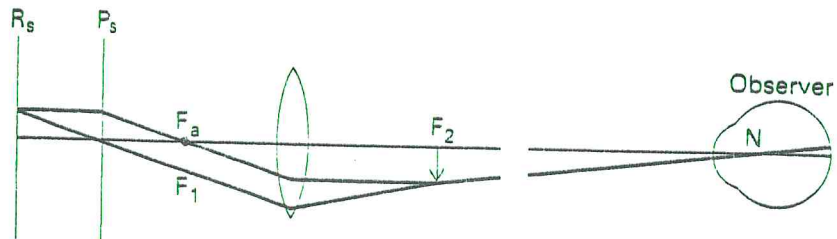
أ- عند استعمال عدسة مكثفة ذات فوهة كبيرة فإن ساحة الرؤية تتحدد فقط بحدقة الفاحص O_1 ، ب- عند استعمال عدسة مكثفة ذات فوهة صغيرة فإن فوهة العدسة هي التي تحد من ساحة الرؤية.

بذلك فإن حجم حدقة المريض يحدد ساحة الإنارة (شكل ١٤-١١).

بينما يحدد حجم حدقة الفاحص وفوهة العدسة المكثفة ساحة الرؤية (شكل ١٤-١٣ أ، ب). يجب توسيع حدقة المريض بشكل جيد قبل الفحص بالمنظار

اللامباشر لتوسيع ساحة الإنارة. من غير العملي توسيع حدقة الفاحص لأن ذلك يؤدي لتدني حدة البصر لديه بسبب زيادة الزووانات لديه ونقص قدرته على المطابقة، وهذا الأمر مزعج جداً ولا سيما عند المصابين بمد البصر الخفيف. يتم بالتالي اختيار عدسة مكثفة بأكبر فوهة ممكنة للحصول على ساحة رؤية واسعة. يجب أن تكون العدسة المكثفة ذات الفوهة الواسعة من الشكل اللاكروي لتخفيف الزووانات. يمكن الحصول على ساحة رؤية تعادل ٢٥ تقريباً باستعمال مثل هذه العدسة أي : أكبر من ساحة الرؤية في منظار قعر العين المباشر بأربعة أضعاف. وهذا له فائدة كبيرة عند فحص عين حسيرة.

ينكسر الضوء الصادر عن عين المريض بواسطة العدسة المكثفة ليشكل خيلاً حقيقياً للشبكية بين العدسة المكثفة والفاحص. يكون الخيال مقلوباً شاقولياً وأفقياً، ويتوضع في المحرق الرئيسي الثاني للعدسة المكثفة أو بالقرب منه، أي: على بعد ٨ سم إلى الأمام من العدسة +13D (شكل ١٤-١٤). يمسك الفاحص العدسة المكثفة على طول الذراع وبذلك يشاهد الخيال من على بعد ٤٠-٥٠ سم. يجب أن يطابق الفاحص بالتالي أو يستعمل تصحيحاً لقرب لرؤية الخيال بوضوح. يحوي منظار قعر العين اللامباشر على عدستين +2.0D في العدستين العينيتين الموشوريتين، بذلك لا يحتاج الفاحص للمطابقة.

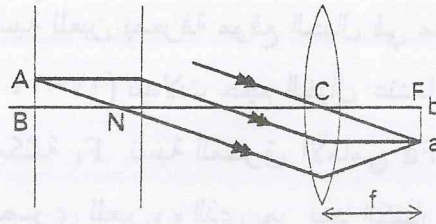


شكل ١٤-١٤: منظار قعر العين اللامباشر. تشكيل الخيال الحقيقي للشبكية المريض.

(أما الفاحصون الذين يحتاجون أكثر من 2.0D+ بسبب كونهم مديدين أو أي سوء انكسار مهم آخر فيجب أن يرتدوا نظاراتهم عند استعمال الجهاز).
 يمكن حساب التكبير الخطي للخيال من (الشكل ١٤-١٥). يصدر الضوء المتوازي من الشبكية AB لعين المريض السديد وينكسر بواسطة العدسة المكثفة ليشكل خيلاً ab في المستوي المحرق الرئيسي.
 التكبير الخطي $\frac{ab}{AB}$ ، لكن الزاوية $acF = \angle ANB$ لأن Ca و AN متوازيان.

$$\frac{ab}{AB} = \frac{cF}{BN} \quad \text{بالتالي:} \quad \tan acF = \frac{ab}{cF} = \tan ANB = \frac{AB}{BN}$$

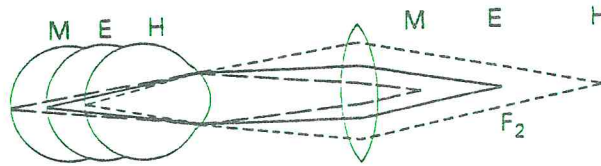
حيث cF هو الطول المحرق للعدسة المكثفة. BN هي المسافة بين النقطة العقدية وشبكية عين المريض. إذا اعتبرت المسافة $BN = 15$ مم فإن التكبير الخطي يساوي الطول المحرق للعدسة (بالمليمترات) مقسوماً على 15.
 بذلك فإن التكبير الخطي لعدسة $(f=75\text{mm})+13D$ هو تقريباً $\times 5$ ،
 بينما التكبير الخطي للعدسة $(f=50\text{mm})+20D$ هو تقريباً $\times 3$.



شكل ١٤-١٥: منظر قعر العين اللامباشر. التكبير الخطي.

يمكن أيضاً حساب التكبير الزاوي. تعتمد القيم الدقيقة على البعد الذي يراقب منه الفاحص الخيال الحقيقي لشبكية المريض، وعلى المسافة بين العدسة المكثفة وعين المريض إذا كانت غير سديدة. تؤثر الحالة الانكسارية

لعين المريض على حجم ووضع الخيال الحقيقي المتشكل بالعدسة المكثفة. يتوضع خيال شبكية في العين السديدة دائماً في المحرق الرئيسي الثاني للعدسة المكثفة، بغض النظر عن موقع العدسة بالنسبة للعين. ينجم ذلك عن كون كل الأشعة الصادرة عن العين السديدة متوازية (شكل ١٤-١٥). تكون الأشعة الصادرة عن العين المديدة متباعدة، وبالتالي يتشكل الخيال الحقيقي خارج المحرق الرئيسي الثاني للعدسة المكثفة (شكل ١٤-١٦).



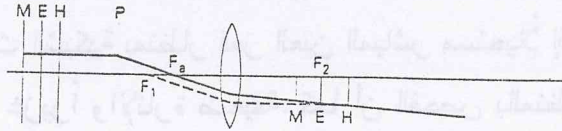
شكل ١٤-١٦: منظر قعر العين اللامباشر. الوضعيات النسبية للخيال في مد البصر H، سداد البصر E، حسر البصر M.

أما الأشعة الصادرة عن العين الحسيرة فتكون متقاربة، وبالتالي يتشكل الخيال دوماً ضمن الطول المحرقي الثاني للعدسة. من الممكن دراسة تأثير تحريك العدسة المكثفة نسبةً للعين بمعرفة موقع الخيال في مد البصر وحسر البصر. يظهر (الشكل ١٤-١٧) تبدلات حجم الخيال عندما يحرك المحرق الرئيسي الأول لعدسة المكثفة F_1 نسبة للمحرق الأمامي F_a للعين. يستعمل شعاع مواز للمحور البصري للعين، والذي يمر بعد انكساره عند المستوي الرئيسي عبر F_a لتحديد الحجم النسبي للخيال في مد البصر والسداد وحسر البصر. يكون حجم الخيال في السداد ثابتاً في وضعيات العدسة المكثفة جميعها، ويتخذ بشعاع يمر عبر F_1 وموازٍ للشعاع الصادر الذي يمر عبر F_a والذي يصبح موازياً للمحور الرئيسي للعدسة بعد انكساره. يزداد حجم

الخيال في حسر البصر إذا تم تحريك العدسة المكثفة بعيداً عن العين، بينما يصبح أصغر في مد البصر. يمكن استعمال هذا التأثير من قبل الفاحص لتقييم الحالة الانكسارية لعين المريض.

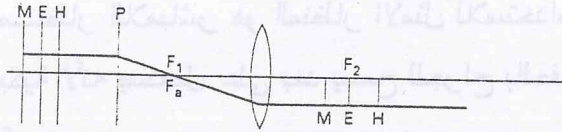
أ- المحرق الرئيسي الأول للعدسة المكثفة F_1 أقرب

إلى العين من المحرق الأمامي للعين F_a .



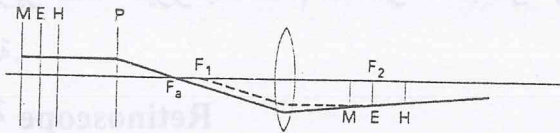
ب- المحرق الرئيسي الأول للعدسة المكثفة F_1 يقع

على المحرق الأمامي للعين F_a .



ج- المحرق الرئيسي الأول للعدسة المكثفة F_1

يقع خلف المحرق الأمامي للعين F_a .



شكل ١٤-١٧: منظار قعر العين اللامباشر. لإظهار تأثير تحريك العدسة المكثفة بعيداً

عن عين المريض المصابة بسوء الانكسار على حجم الخيال.

المزايا النسبية لكل من منظار قعر العين المباشر واللامباشر:

تتضمن الاعتبارات الأخرى:

١- حجم الجهاز: المنظار المباشر أصغر بكثير وأخف وزناً من اللامباشر، ويمكن حمل العديد من النماذج منه في الجيب.

٢- درجة الإنارة حاسمة بالنسبة للمنظر المشاهد. ونظراً لأن المنظار اللامباشر أكبر حجماً فيمكن الحصول فيه على ضوء أكثر شدة. وهذا ما

يجعله أكثر فائدة في فحص المرضى الذين لديهم كثافات في الأوساط الكاسرة.

٣- إن اشتراك الإنارة الجيدة مع ساحة الرؤية الواسعة في منظار قعر العين اللامباشر يجعل منه الجهاز الأمثل لفحص انفصال الشبكية. قد يكون اكتشاف وجود خبثة تحت الشبكية بمنظار قعر العين المباشر مستحيلاً إذا كان السائل تحت الشبكية غزيراً والإنارة ضعيفة. كما أن الفحص بالمنظار اللامباشر يسمح برؤية الشبكية المحيطة.

٤- كما أن المنظار اللامباشر هو المنظار الأمثل للاستخدام أثناء جراحة انفصال الشبكية لأنه يستعمل على بعد يسمح للجراح بالحفاظ على تعقيم الساحة الجراحية.

٥- يمكن تحرير طاقة الليزر باستخدام المنظار اللامباشر من أجل التخثير الضوئي للشبكية.

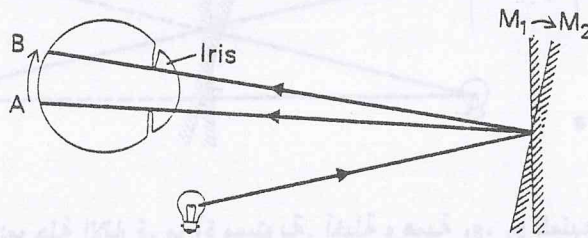
منظار الشبكية Retinoscope

يمكن قياس الحالة الانكسارية للعين بشكل موضوعي ودقيق باستعمال منظار الشبكية. وتدعى التقنية بتنظير الشبكية. يتم توجيه الضوء نحو عين المريض لإنارة الشبكية (مرحلة الإنارة). يتشكل خيال للشبكية المنارة في نقطة مدى المريض (مرحلة المنعكس). يتم تحديد موقع الخيال عند نقطة المدى بتحريك الإنارة عبر قعر العين وملاحظة سلوك المنعكس الضوئي المشاهد من قبل الفاحص في حدقة المريض (مرحلة الإسقاط).

مرحلة الإنارة

يظهر (الشكل ١٤-١٨ و ١٤-١٩ أ، ب) نظام الإنارة البسيط الذي كان يستعمل قبل بدء استعمال منظار الشبكية الكهربائي المحمول باليد. كان يتم وضع منبع ضوئي جانب رأس المريض ويعكس الضوء إلى عين

المريض بواسطة مرآة مستوية أو مقعرة يمسكها الفاحص. ينظر الفاحص إلى عين المريض من خلال ثقب صغير في المرآة. حلّ منظار الشبكية الكهربائي مكان هذا النظام حالياً. لكن المبادئ والمصطلحات بقيت ثابتة لم تتغير.

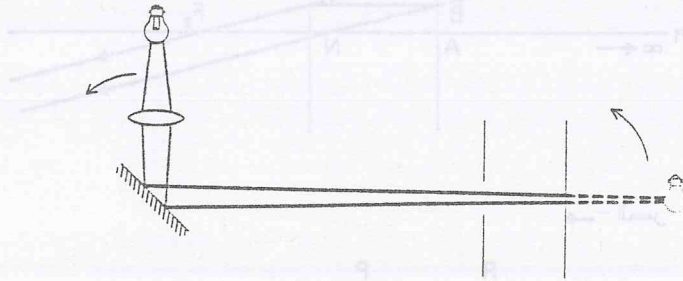


شكل ١٤-١٨: مرحلة الإنارة. مرآة مستوية.

عند استعمال مرآة مستوية، يتم تحريك الضوء عبر قعر العين من A إلى B بتدوير المرآة المستوية من M_1 إلى M_2 . لاحظ أن أشعة الإنارة تتحرك بنفس اتجاه المرآة. تستعمل أحياناً مرآة مقعرة طولها المحرقي أقل من المسافة بين المريض والفاحص في تنظير الشبكية. يتشكل خيال حقيقي للمنبع الضوئي بين المريض والفاحص وبالقرب من عين المريض. يعمل هذا الخيال الحقيقي كمنبع ضوئي ساطع لإنارة شبكية المريض. لكن الإنارة تتحرك باتجاه معاكس للمرآة (الشكل ١٤-١٩ ب). بذلك فإن حركة المنعكس المشاهد من قبل الفاحص تكون معكوسة مقارنة مع المرآة المستوية.

يحتوي منظار الشبكية الكهربائي الحديث كلا هذين النظامين من الإنارة. يتحقق ذلك باستعمال عدسة مكثفة يمكن تحريكها ضمن عمود الجهاز. يتم الحصول على تأثير مرآة مستوية بوضعيتها السفلية وعلى تأثير مرآة مقعرة بوضعيتها العلوية. يمكن الحصول على وضعية متوسطة

الضوئي متطابق مع عين المريض. لكن إذا تم تحريك العدسة المكثفة لمنظار الشبكية لمسافة قصيرة نحو الأسفل على العمود تتم استعادة تأثير المرآة المستوية ولكن بإنارة أكثر سطوعاً بكثير من التي يمكن الحصول عليها عندما تكون العدسة المكثفة في الوضعية السفلية. يعود ذلك لتشكيل الخيال الوهمي S_1 للمنبع الضوئي إلى الخلف تماماً من عين المريض (شكل ١٤-٢٠). يعمل منظار الشبكية الآن كمرآة مقعرة ذات طول محرق أكثر بقليل من المسافة بين المريض والفاحص. يفيد هذا الترتيب في الممارسة السريرية لسببين: الأول: هو أنه يتم الحفاظ على تأثير المرآة المستوية (الذي يفضلته معظم الفاحصين). والثاني: هو الحصول على ضوء ساطع مما يسهل إجراء تنظير الشبكية عندما تكون الحدقة صغيرة وعند وجود كثافات في الأوساط الكاسرة للعين.

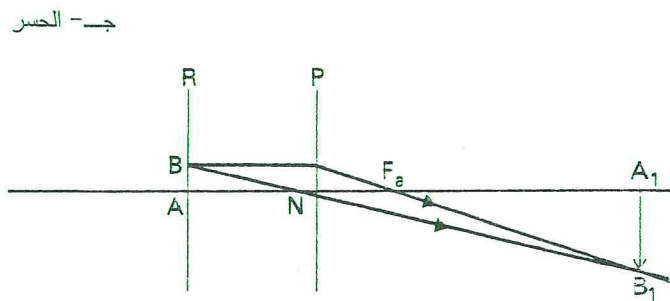
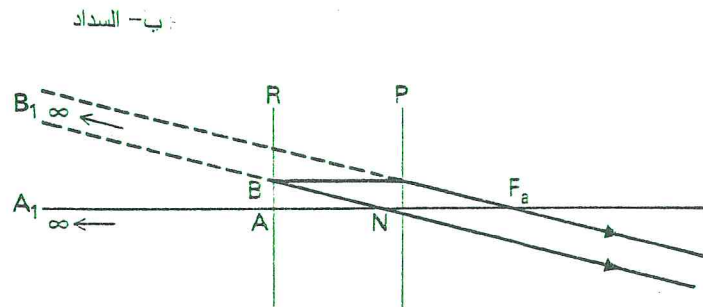
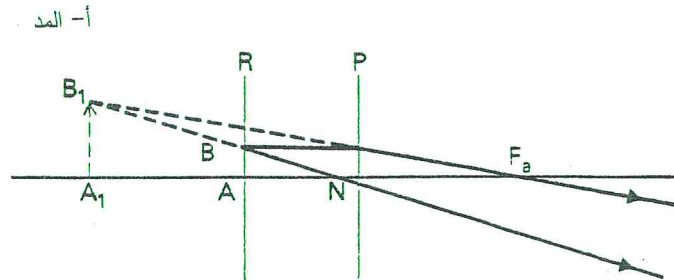


شكل ١٤-٢٠: منظار شبكية كهربائي مضبوط للاستعمال كمرآة مقعرة ذات طول محرق أكثر بقليل من المسافة بين المريض والفاحص، وبذلك يتم الحصول على تأثير مرآة مستوية. تمت إدارة كامل الجهاز لتحقيق حركة الإنارة في شبكية المريض (الأسهم).

مرحلة المنعكس

نظراً لأن تأثير المرآة المستوية هو المفضل من قبل الفاحصين في تنظير الشبكية، فإن الوصف والمخططات التالية تستخدم هذا التأثير. يتشكل

خيال A_1B_1 للشبكية المنارة في نقطة مدى المريض. يمكن تشكيل هذا الخيال باستخدام ثلاثة أشعة (الشكل ١٤-٢١).



شكل ١٤-٢١: مرحلة المنعكس في تنظير الشبكية.

١- شعاع من النقطة A في الشبكية R على المحور الرئيسي للعين، يصدر عن العين على طول المحور الرئيسي.

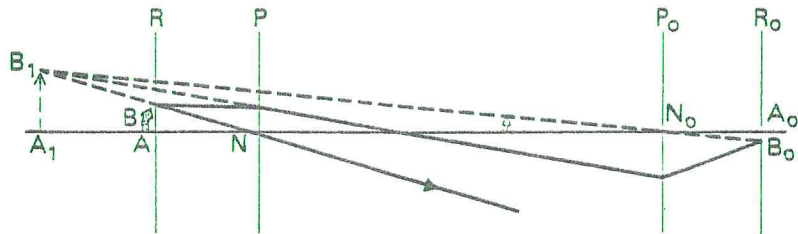
٢- شعاع من النقطة B في الشبكية خارج المحور الرئيسي، يسير موازياً للمحور الرئيسي حتى المستوى الرئيسي P للعين، حيث ينكسر ليمر من خلال المحرق الرئيسي الأمامي Fa للشبكية.

٣- شعاع من النقطة B في الشبكية يمر غير منحرف من خلال النقطة العقدية N.

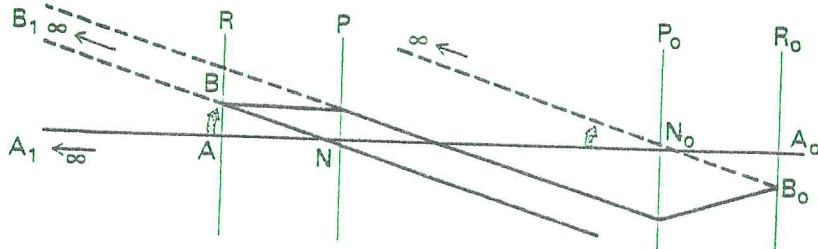
مرحلة الإسقاط

يرى الفاحص الخيال A_1B_1 للشبكية المنارة AB من مسافة ملائمة، عادة ٣/٢ م. يظهر الشكل (١٤-٢٢) ذلك، ويتم تشكيله برسم الشكل (١٤-٢١) وإضافة شعاع نظري من النقطة B_1 ويمر عبر النقطة العقدية No إلى شبكية الفاحص Ro. يحدد هذا الشعاع موضع النقطة Bo التي هي خيال B_1 على شبكية الفاحص، ويسمح بإكمال المخطط. لا يرى الفاحص الخيال الفعلي A_1B_1 لكن تشاهد أشعة من A_1B_1 على شكل منطقة منارة أو منعكس في حدة المريض. يتحرك المنعكس الضوئي المشاهد في حدة المريض في مد البصر بنفس اتجاه الضوء المنير، أي حركة موافقة with movement . عندما يكون الحسر لدى المريض أقل من القيمة الكسيرية لمسافة العمل تبقى الحركة الناتجة موافقة. يظهر الشكل (١٤-٢٢-ج) أن الزاوية Ao No Bo تزداد بشكلٍ مترقٍ مع الاقتراب من سوء الانكسار المعادل للقيمة الكسيرية لمسافة العمل (١,٥ كسيرة). بالتالي فإن المنعكس الضوئي يتحرك بسرعة أكبر عند الاقتراب من هذه النقطة. يتم الوصول إلى نقطة العكس أو نقطة التعديل في تنظير الشبكية عندما تتطابق نقطة مدى المريض مع النقطة العقدية للفاحص (شكل ١٤-٢٢د). لا يمكن أن يتشكل خيال لـ B_1 على شبكية المريض، ولا يمكن ملاحظة حدوث حركة في المنعكس في حدة المريض في هذه النقطة. يشاهد الفاحص منعكساً أحمر ساطعاً منتشرًا. ينجم

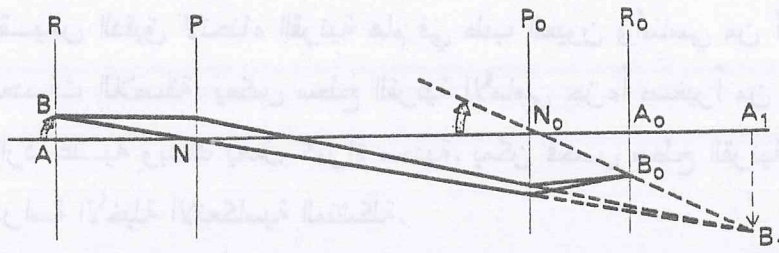
عن كون سرعة حركة المنعكس لا متناهية. عندما يتجاوز الحسر لدى المريض القيمة الكسيرية لمسافة العمل، يقع خيال A_1B_1 بين المريض والفاحص. يظهر المخطط أن المنعكس الضوئي يتحرك الآن باتجاه معاكس للضوء المنير، أي: حركة مخالفة against movement. وهنا أيضاً يظهر المنعكس الضوئي بأنه يتحرك بسرعة أكبر مع الاقتراب لنقطة العكس. توضع العدسات في الممارسة إلى الأمام من عين المريض حتى تشاهد نقطة العكس من قبل الفاحص. يجري التصحيح لمسافة العمل (إضافة ١,٥ كسيرة من أجل ٣/٢ م، ١ كسيرة من أجل ١ م) وتعادل القيمة المصححة للعدسات سوء الانكسار لدى المريض. (ستتم مناقشة كاملة لتنظير الشبكية العملي في الفصل الخامس عشر. وسيناقش الانكسار الأوتوماتيكي في الفصل السادس عشر).



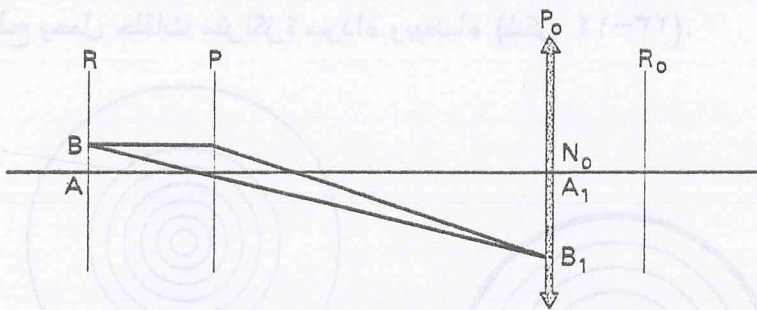
شكل ١٤-٢٢: مرحلة الإسقاط. مد البصر.



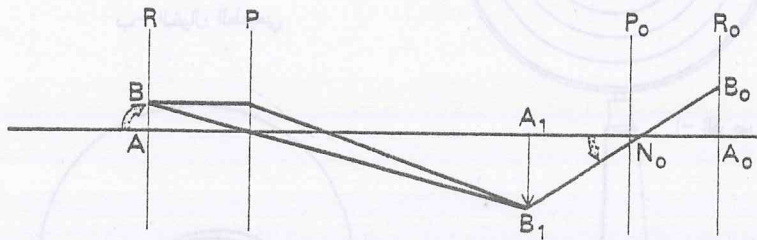
شكل ١٤-٢٢ ب: مرحلة الإسقاط. السداد.



شكل ١٤-٢٢ ج: مرحلة الإسقاط. حسر أقل من ١,٥ كسيرة (مسافة العمل ٣/٢ م).



شكل ١٤-٢٢ د: مرحلة الإسقاط. نقطة العكس.



شكل ١٤-٢٢ هـ: مرحلة الإسقاط. حسر أكبر من ١,٥ كسيرة (مسافة العمل ٣/٢ م).

الأجهزة المستخدمة لدراسة انحناء القرنية

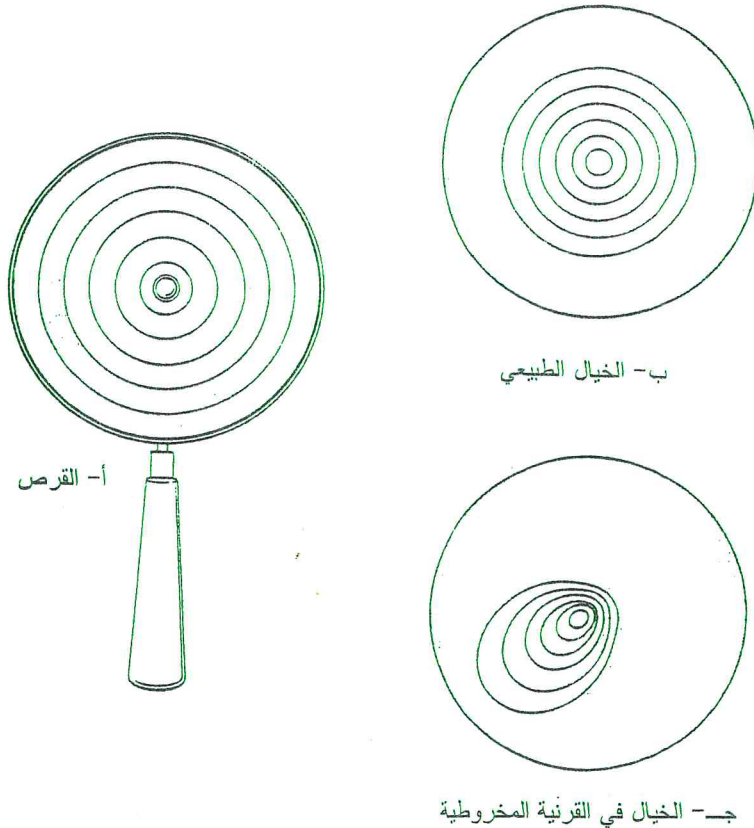
سطح القرنية الأمامي هو السطح الكاسر الرئيسي في العين. إن

انحناءه حاسم للقوة الكاسرة والخصائص البصرية للعين. إن للتغير الصغير

في انحناء سطح القرنية أو عدم انتظامه تأثير كبير على حدة البصر. إن القياس الدقيق لانحناء القرنية هام في طب العيون وأساسي من أجل تلاؤم العدسات اللاصقة. يعكس سطح القرنية الأمامي جزءاً صغيراً من أي ضوء وارد عليه وبذلك يعمل كمرآة محدبة. يمكن فحص سطح القرنية وانحنائه بدراسة الأخيلة الانعكاسية المتشكلة.

قرص بلاسيدو

يمكن دراسة الشكل العام للقرنية باستعمال قرص بلاسيدو. إنه قرص مسطح يحمل حلقات متراكزة سوداء وبيضاء (شكل ١٤-٢٣).



شكل ١٤-٢٣: قرص بلاسيدو.

توجد عدسة محدبة في ثقب في مركز القرص لتكبير الخيال والتخلص من الحاجة للمطابقة. ينظر الفاحص من خلال الثقب المركزي ويراقب خيال القرص المتشكل بالانعكاس من قرنية المريض. (يتم الحصول على أفضل النتائج بتعديل الضوء خلف رأس المريض لتوفير القرص بشكل ساطع مع إبقاء عين المريض في الظل). تظهر طبيعة الخيال المشاهد انتظام أو نصف قطر انحناء السطح الأمامي للقرنية. عندما تكون القرنية حرجية تبدو الحلقات أقرب إلى بعضها في المحور الأكثر انحناءً.

مقياس القرنية أو مقياس العين

Keratometer or ophthalmometer

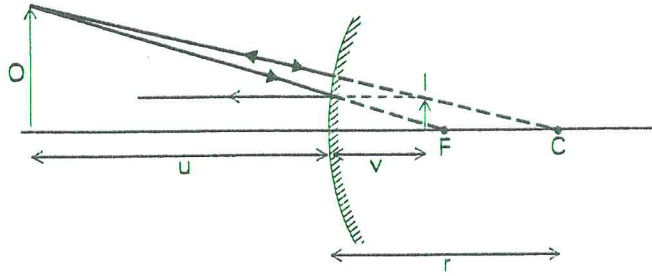
يمكن قياس نصف قطر انحناء المنطقة المركزية من القرنية باستعمال مقياس القرنية (يدعى أحياناً مقياس العين). يوجد نمطان رئيسان منه لكن كليهما يقيسان نصف قطر انحناء المنطقة المركزية من القرنية التي يبلغ قطرها ٣ مم تقريباً. يفترض أن المنطقة المركزية أو المحورية من القرنية التي يبلغ قطرها ٤ مم تقريباً عبارة عن سطح كاسر كروي. بالتالي فإن مقياس القرنية يقرأ ضمن هذه المنطقة. يبلغ نصف قطر انحناء المنطقة المحورية في العين السديدة ٧,٨ مم تقريباً. يمكن أيضاً التعبير عن القوة البصرية للقرنية بالكسيرات. تتحدد القيمة الدقيقة بانحناء السطح الأمامي والخلفي بالإضافة لقرينة انكسار القرنية والأوساط عند كل سطح. على كل حال، تستعمل قيم تقريبية بالنسبة لكل القرائن في معادلة مقياس القرنية حيث تعتبر قرينة انكسار الدمع ١,٣٣٥٧ بدلاً من ١,٣٣٦ وبذلك يتوافق نصف قطر الانحناء ٧,٥ مم مع ٤٥ كسيرة.

$$D = \frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{1.3375 - 1}{r}$$

حيث D : هي القوة بالكسيرات و r هو نصف قطر انحناء السطح الأمامي للقرنية بالأمتار.

$$D = \frac{1.3375 - 1}{0.0078} = +43.27D \text{ كمثال}$$

القرنية المحيطية مسطحة وليست كروية. يستفاد بصرياً من الـ ∞ مم المركزية الكروية في الرؤية، حيث أن المحيط يحجب بالقزحية. تتأثر حدة البصر عندما تكون الحدقة متوسعة بشكل كبير. يفسر الشكل (١٤-٢٤) المبدأ الذي يعمل عليه مقياس القرنية.



شكل ١٤-٢٤: مقياس القرنية، المبدأ البصري المستخدم.

$\frac{I}{-O} = \frac{V}{u}$. تتوضع I في الممارسة قريباً جداً من F ، بالتالي يمكن اعتبار V مساوية لـ $\frac{r}{2}$ حيث r هو نصف قطر انحناء السطح العاكس. بإجراء الاستبدال:

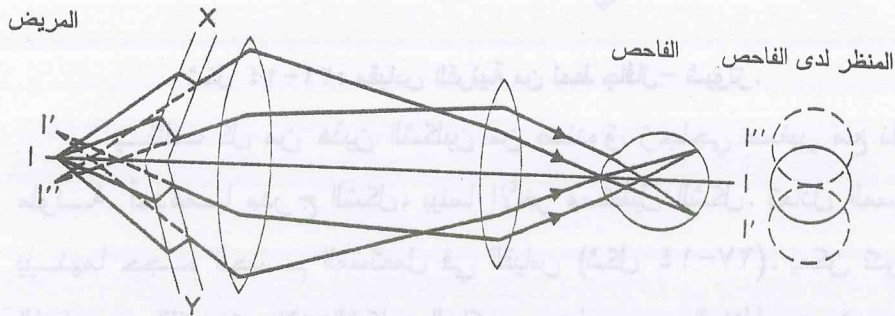
$$\frac{I}{o} = \frac{v}{u} = \frac{r}{2u}$$

$r = 2u \times \frac{I}{O}$. يكون U ثابتاً في جميع مقاييس القرنية فهو المسافة المحرقة لمنظار الرؤية. يكون حجم الجسم ثابتاً في مقياس القرنية من نمط هلمهولتز بينما يتم تعديل حجم الخيال لقياس انحناء القرنية، بينما يتفاوت حجم الجسم

في مقياس جافال- شيوتر لتحقيق الحجم المعياري للخيال. يجب اللجوء لبعض الوسائل للتغلب على الحركات الطبيعية لعين المريض من أجل دراسة وقياس الخيال المنشكل بالانعكاس على القرنية. حتى الحركات الصغيرة تسبب اهتزاز الخيال. يتم التغلب على هذه الصعوبة بمضاعفة الخيال المشاهد من قبل الفاحص. بالتالي يتحرك الخيالان معاً إذا ما تحركت عين المريض، وبالتالي يمكن الحصول على القراءة بتحقيق انتظام الخياليين مع بعضهما.

مقياس القرنية من نمط فون هلمهولتز

تستخدم في مقياس القرنية من نمط فون هلمهولتز صفيحتان زجاجيتان دوارتان لتحقيق تضاعف الخيال. يتم تسليط الحزمة الضوئية التي تمر عبر المنقلة على قرنية المريض حيث يتشكل خيال I للمنطقة بوساطة الانعكاس. يمر الضوء المنعكس للخلف إلى داخل الجهاز من خلال صفيحتين زجاجيتين ترتكزان على بعضهما بشكل مائل. تزيح هاتان الصفيحتان الضوء جانباً عندما يمر من خلالهما، ويتشكل بالتالي خيالان وهميان لـ I، I يتم النظر إليهما من خلال المنظار (شكل ١٤-٢٥).



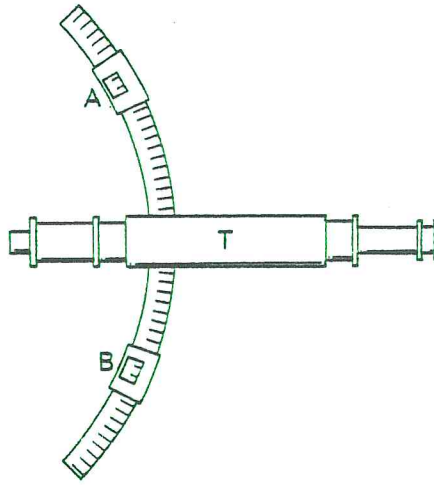
شكل ١٤-٢٥: مقياس القرنية من نمط فون هلمهولتز وقياس انحاء القرنية.

يتم تغيير زاوية ميلان الصفيحتين الزجاجيتين من قبل الفاحص حتى تتلامس حواف I، I تعادل المسافة بين مركزيهما عندئذ قطر I الذي

يمكن حساب انحناء القرنية منه. في الحقيقة إن هذا الجهاز مدرج لكل من نصف قطر الانحناء والقوة الكسيرية للقرنية. يمكن تدوير الجهاز للسماح بقياس الحرج بأسلوب مشابه لمقياس القرنية من نمط جافال-شيوتز.

مقياس القرنية من نمط جافال - شيوتز

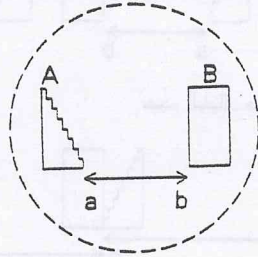
يستعمل مقياس جافال-شيوتز جسماً ذا حجم متفاوت. يتألف الجسم من زوج من الأشكال العاكسة A، B، محمولين على ذراع قوسية الشكل (شكل ١٤-٢٦).



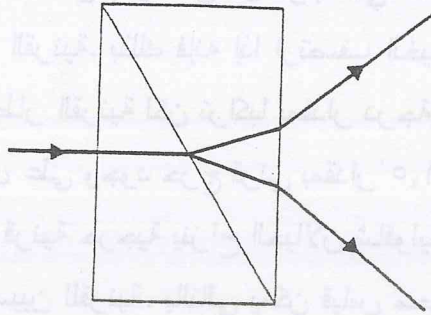
شكل ١٤-٢٦: مقياس القرنية من نمط جافال- شيوتز.

يتألف كل من هذين الشكلين من صندوق زجاجي صغير مع نافذة ملونة. أحدهما مدرج الشكل، بينما الآخر مستطيل الشكل. تعادل المسافة بينهما حجم الجسم المستعمل في القياس (شكل ١٤-٢٧). يمكن تدوير الذراعين اللتين تحملان الشكلين العاكسين حول محور المنظار بحيث يمكن أخذ القراءة في أي قطر. يتحقق تضاعف الخيال المتشكل بالانعكاس على

القرنية بموشور وولستون الموجود في المنظار. يتألف موشور وولستون من موشورين مستطيلين من الكوارتز ملتصقين مع بعضهما.

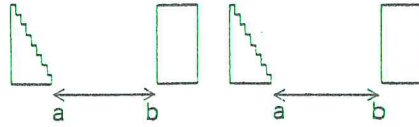


شكل ١٤-٢٧: مقياس القرنية من نمط جافال- شيوتر. الشكلان العاكسان.
الكوارتز مادة كاسرة مضاعفة، أي أنها تشطر حزمة الضوء الوارد لتشكيل حزمتين مستقطبتين صادرتين. يمكن فصل الحزمتين الصادرتين بالإصاق موشوري الكوارتز مع بعضهما بزاوية قائمة بحيث أن التبعثر الناتج عن الموشور الأول يعدل بذلك الناتج عن الموشور الثاني، مما يسمح بتشكيل أخيلة واضحة (شكل ١٤-٢٨).

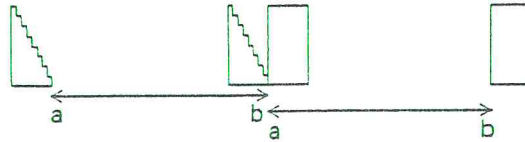


شكل ١٤-٢٨: موشور وولستون.
يتم تعديل المسافة بين الشكلين العاكسين حتى يتلامس الخيالان المضاعفان لقياس انحناء القرنية (شكل ١٤-٢٩). الجهاز معايير لقياس نصف قطر انحناء القرنية والقوة الكسيرية للقرنية.

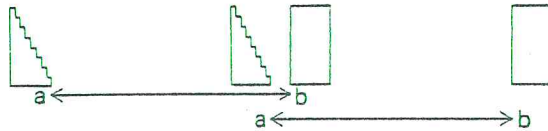
حجم الخيال صغير جداً



حجم الخيال صحيح

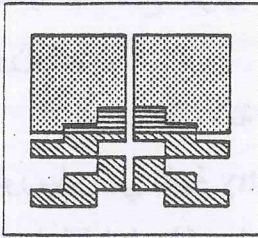


حجم الخيال كبير جداً

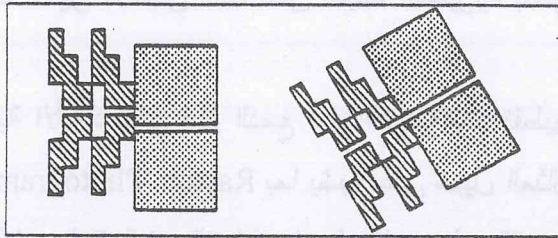


شكل ١٤-٢٩: مقياس القرنية من نمط جافال- شيوتز، مظهر خيالي الشكلين العاكسين.

الشكلان مصممان بحيث أن كل درجة في الشكل A تكافئ كسيرة واحدة من القوة القرنية. بذلك فإنه إذا ارتصف الخيالان الداخليان بشكل صحيح في أحد أقطار القرنية لكن تراكبا بمقدار درجة ونصف في المحور المعامد له، فهذا يدل على وجود حرج قرني بمقدار ١,٥ كسيرة (شكل ١٤-٣٠). عند فحص قرنية حرجية ينزاح الخيالان شاقولياً في كل المحاور ما عدا المحورين الرئيسيين للقرنية. بالتالي يمكن قياس محور الحرج بالإضافة إلى شدته (شكل ١٤-٣٠ ب). يحوي الشكلان العاكسان في مقياس جافال- شيوتز من نوع Haag-streit على خط أفقي لتسهيل الارتصاف الشاقولي. يمكن استعمال مقاييس القرنية أيضاً لقياس انحناء العدسات اللاصقة.



أ- حرج قرني بمقدار
١/٢ كسيرة



ب- ضبط الأشكال العاكسة لقراءة محور
الحرج ونصف قطر انحناء القرنية

شكل ١٤-٣٠: مقياس القرنية من نمط جافال- شيوترز، (الأشكال العاكسة في نوع هاغ- شترايت) (يظهر زوج واحد فقط من الأشكال العاكسة).

التحليل المحوسب لطبوغرافية القرنية

يمكن دراسة طبوغرافية القرنية (شكل سطحها) بالتحليل المحوسب للخيال المنعكس من سطح القرنية. يتم تحليل الخيال في آلاف من النقاط، ويمكن حتى اكتشاف التبدلات الطفيفة في الانحناء. يتم الحصول على المعلومات من منطقة كبيرة من سطح القرنية، وعلى العكس من مقياس القرنية الذي يستقي قراءته من المنطقة المركزية فقط.

يفيد تحليل طبوغرافية القرنية في قياس الحرج القرني، تلاؤم العدسات اللاصقة، الجراحة الانكسارية، والتشخيص الباكر للقرنية المخروطية ومراقبة تطورها. يمكن كشف العديد من نماذج الحرج القرني من الخيال المحوسب والذي لا يظهر بالانكسار أو قياس القرنية.

الطريقة السريرية الأكثر شيوعاً هي تصوير القرنية التلفزيوني المحوسب. يتم إسقاط قرص بلاسيدو على منطقة بقطر ٥-٦ مم من القرنية ويتم تحويل الانعكاس إلى خيال رقمي. تتوضع الحلقات أقرب إلى بعضها البعض حيثما تكون القرنية أكثر انحناء. يعطي التحليل المحوسب خارطة

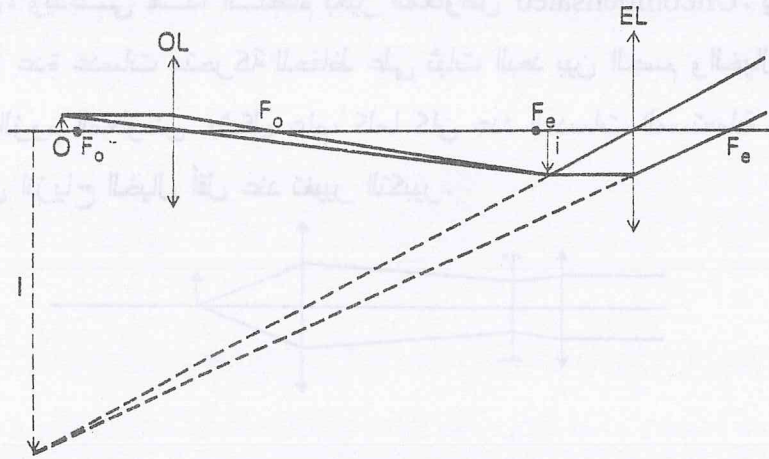
لونية لسطح القرنية حيث تظهر الأماكن ذات نفس القيمة الكسيرية بنفس اللون.

يتم إسقاط رقعة ثنائية الأبعاد على فيلم الدمع أمام القرنية بعد تقطير الفلورسئين في تقنية Raster Photogrammetry بما يشبه على سبيل المثال إلقاء شبكة فوق تلة. يدل انعكاس الرقعة في الفراغ على ارتفاع سطح القرنية عن مستوي الإشارة. يتم تشكيل المنحني الطبوغرافي من هذه المعلومات ويمكن أن يتمثل على شكل خارطة لونية تظهر إما انحناء القرنية أو الارتفاع فوق مستوي الإشارة، أو على شكل خيال شبكي الشكل ثلاثي الأبعاد يمكن تدويره في الفراغ. قد يغطي الخيال كل القرنية ويمتد على الصلبة، حتى لو كان السطح غير منتظم أو ضعيف العكسية.

المجهر المركب Compound microscope

يعطي المجهر منظراً مكبراً للجسم القريب، على عكس المنظار الذي يكبر الأجسام البعيدة. يستعمل المجهر المركب في العديد من الأجهزة العينية لإعطاء منظر مكبر للعين. يعد مجهر المصباح الشقي والمجهر الجراحي من الأمثلة الواضحة، لكن مقياس القرنية وكل الأجهزة المستعملة بالاشتراك مع المصباح الشقي، مقياس ثخانة القرنية، مقياس التوتر بالتسطح، عدسة تنظير الزاوية... الخ، تعتمد على المجهر لإعطاء الفاحص خيلاً مكبراً. المجهر المرآوي أو العاكس Specular microscope هو ببساطة مجهر معدل بشكل خاص يسمح بفحص وتصوير إندوثليوم القرنية. يتألف المجهر المركب من عدستين محدبتين، العدسة الجسمية والعدسة العينية (شكل ١٤ - ٣١). يوضع الجسم O موضوع الدراسة خارج النقطة المحرقة الأمامية Fo للعدسة الجسمية OL. يتشكل خيال حقيقي مقلوب ومكبر /i/ على بعد قليل خلف العدسة الجسمية. توضع العدسة العينية EL بحيث يقع الخيال المتشكل

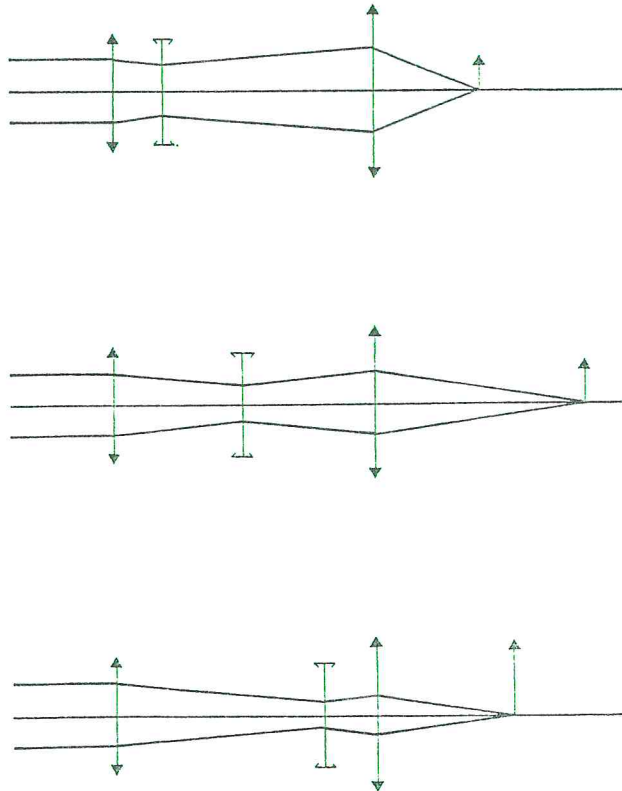
بوساطة العدسة الجسمية في المستوي المحرقي الرئيسي $/Fe/$ أو بالقرب منه، بذلك تعمل العدسة العينية كنظارة مكبرة وتكبر الخيال المشاهد من قبل الفاحص بدرجة أكبر. يكون الخيال النهائي $/I/$ مقلوباً جانبياً وشاقولياً. توضع مواشير Porro في المجاهر السريرية للحصول على خيال صحيح وتقصير الطول الفيزيائي للجهاز.



شكل ١٤-٣١: المجهر المركب.

يتألف المجهر الجراحي ومعظم المصابيح الشقية من مجهرين مركبين يشكلان مع بعضهما زاوية ١٣ أو ١٤ مما يعطي الفاحص منظراً مجسماً. تستعمل أيضاً عدسات متعددة وليس فقط عدستين بسيطتين لإنقاص الزوجان الكروي واللوني والزرعي، وأيضاً من أجل الزيادة أو الإنقاص البسيط لقوة التكبير، وهذا ما يعرف بتكبير الزوم Zoom magnification. إن الهدف من وجود نظام عدسات الزوم في المجهر الجراحي هو تغيير التكبير دون تغيير وضعية الجسم أو الخيال. يعتمد التكبير المحدث بعدسة محدبة وحيدة على بعد الجسم عن العدسة. يجب تحريك الجسم من أجل تغيير التكبير، كذلك فإن البعد بين الجسم والخيال أو طول الجهاز يتغير بشكل

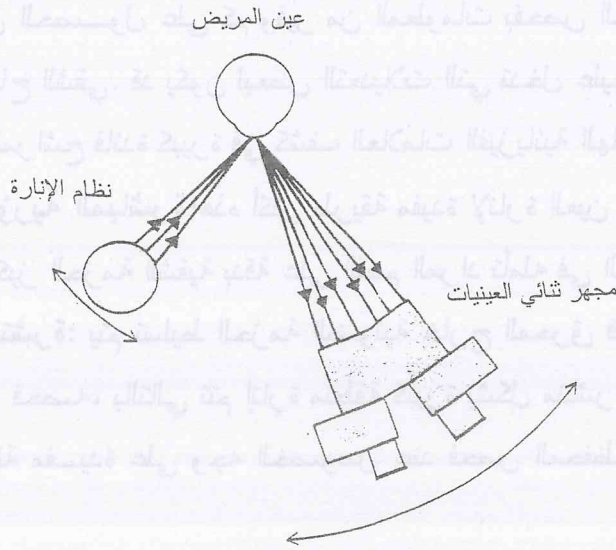
كبير. الطريقة الوحيدة لإبقاء بعد الجسم عن العدسة ثابتاً مع تغيير التكبير هي بتغيير قوة العدسة. يمكن القيام بذلك في المجهر المركب بدمج عدسات إضافية يمكن تحريكها ضمن الجهاز مغيرة بذلك من القوة الكلية. يمكن الحصول على تأثير الزوم الأبسط بوضع عدسة مقعرة وحيدة قابلة للحركة بين عدستي المجهر (شكل ١٤-٣٢)، لكن يحدث تغيير هام في وضعية الخيال، ويدعى هذا النظام بغير المعاوض Uncompensated. يجب استعمال عدة عدسات متحركة للحفاظ على ثبات البعد بين الجسم والخيال أو نظام الزوم المعاوض. بشكل عام، كلما كان عدد العدسات المستعملة أكبر كلما كان انزياح الخيال أقل عند تغيير التكبير.



شكل ٣٢-١٤: نظام عدسات الزوم غير المعاوض البسيط.

المصباح الشقي Slit lamp

الطريقة الروتينية لفحص الأقسام الخارجية من العين هي باستعمال المصباح الشقي. يتألف بشكل أساسي من مجهر مركب ضعيف القوة نسبياً يرتبط مع منبع ضوئي ساطع قابل للتعديل. يعرف الجهاز بالمصباح الشقي لأن الإنارة المستخدمة فيه في الاستعمال اليومي تكون على شكل شق ضيق يسلط على العين. توجد أنماط عديدة مختلفة للمصباح الشقي لكنها تشترك جميعاً بمزايا محددة أساسية. يعني ارتصاف المجهر والإنارة أن النقطة التي يركز عليها المجهر تتطابق مع النقطة التي يقع عليها الضوء. يتحقق ذلك بكون المجهر وجهاز الإنارة يشتركان بمستوي محرق واحد. يتوضع محور دورانهما المشترك أيضاً في هذا المستوى المحرق (شكل ١٤-٣٣).



شكل ١٤-٣٣: المصباح الشقي.

من المظاهر الشائعة الأخرى وجود بعد ملحوظ بين المجهر بحد ذاته وعين المريض. ينجم ذلك عن كون مسافة عمل المجهر طويلة. تسمح الفجوة الناتجة بين المجهر والمريض للفاحص بالقيام ببعض المناورات مثل استخراج جسم أجنبي من على سطح القرنية. كما أنها توفر فراغاً مناسباً لوضع بعض الوسائل البصرية مثل عدسة +90D أو عدسة لاصقة ثلاثية المرايا لرؤية الشبكية والزجاجي.

يتم تقصير أنبوبي المجهر بحد ذاتهما بدمج مواشير تقوم أيضاً بقلب الخيال أفقياً وشاقولياً، وبذلك يظهر الخيال صحيحاً بالنسبة للفاحص. يتم دمج مجموعة من مناظير غاليليو ذات قوى مختلفة في معظم المصابيح الشقية للسماح بتغيير التكبير في نظام الرؤية.

طرائق الفحص

يمكن الحصول على كم وفير من المعلومات بفحص العين بشكل مناسب بالمصباح الشقي. قد يكون لبعض التعديلات التي تدخل عليها الإنارة، مثل استعمال المراشح فائدة كبيرة في كشف العلامات الفيزيائية الهامة.

(١) الإنارة البؤرية المباشرة: هذه أكثر طريقة مفيدة لإنارة العين على وجه العموم. يتم تركيز الحزمة الشقية بدقة على القسم المراد تأمله في العين.

(٢) الإنارة المنتشرة: يتم تسليط الحزمة الضوئية خارج المحرق قليلاً وعبر الجزء المراد فحصه، بالتالي تتم إنارة منطقة كبيرة بشكل منتشر. قد تكون هذه الطريقة مفيدة على وجه الخصوص عند فحص المحفظة الأمامية للبلورة.

(٣) الإنارة الجانبية: تتضمن هذه التقنية تنوير الجزء المراد فحصه بالضوء المنعكس من نسيج مجاور له، على سبيل المثال: إذا تم توجيه حزمة ضوئية

ذات عرض متوسط على حافة الحدقة تصبح الحافة الخارجية للعضلة المعصرة مرئية.

٤) **الإنارة الخلفية:** هذه طريقة لفحص جزء من العين بالضوء المنعكس من جزء آخر يقع خلفه. يستعمل الجزء الخلفي كمرآة لإنارة الجزء المراد فحصه من العين. من الأمثلة الجيدة على الإنارة الخلفية اكتشاف مناطق الضمورات القرنية بواسطة الضوء المنعكس من المشيمية. يجب أن يتوضع عمود الإنارة في المصباح الشقي بين العدستين الجسميتين للمجهر، بحيث يشترك جهازا الإنارة والرؤية بالمحور.

٥) **الانعكاس المرآوي Specular reflection:** يمكن الحصول على قدر كبير من المعلومات حول طبيعة السطح الذي يشبه المرآة بفحص الأشعة الضوئية المنعكسة منه. يمكن فحص سطحي القرنية والمحفظة الأمامية للبلورة بهذه الطريقة. واعتماداً على قوانين الانعكاس، يجب أن يتجه تحديق المريض بحيث ينصف الزاوية الكائنة بين محوري الإنارة والمجهر. هذه أفضل طريقة لفحص إندوتليوم القرنية بالمصباح الشقي.

٦) **التبعثر الصليبي Sclerotic scatter :** عندما توجه الحزمة الشقية على اللم عند وضعية الساعة ٩ على سبيل المثال، تتوهج كامل المنطقة المائية. يكون التوهج الأعظمي في وضعية الساعة ٣. ينعكس الضوء من الحزمة الشقية نحو الخلف والأمام بين السطحين المحددين الباطنين للقرنية ويتبعثر بشكل نابذ حول كامل القرنية.

المراشح Filters

يحتوي جهاز الإنارة في العديد من المصابيح الشقية على عدة مراشح. تستعمل مرشحة الكوبالت الزرقاء أثناء قياس توتر العين بالتسطح لذلك فإن وجودها شائع في المصابيح الشقية. تفيد كل من المرشحة الزرقاء

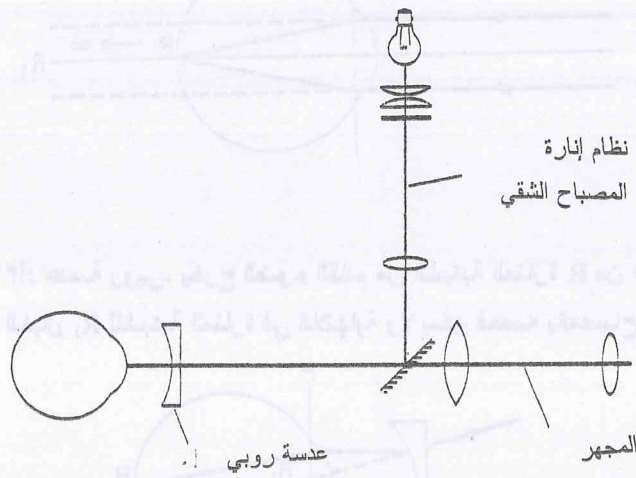
والخضراء (red-free) في فحص الزجاجي. تعتمد رؤية التركيب الهلامي للزجاجي على كون الضوء الوارد مبعثراً. يكون تبعثر الضوء أعظماً عندما يكون الضوء الوارد ذا طول موجة قصيرة. بالتالي فإن الضوء الأزرق والأخضر يتبعثران أكثر من الضوء الأحمر ذي طول الموجة الأكبر.

وهناك سبب آخر لوضع المرشحتين الزرقاء والخضراء من أجل فحص الزجاجي هو أنه في هذه الظروف تكون الخلفية سوداء في قعر العين. تجعل هذه الخلفية السوداء من إمكانية اكتشاف التراكيب ضمن الزجاجي، مثل قشر الزجاجي في انفصال الزجاجي الخلفي، أكثر سهولة. ينجم نقص الإنارة في الخلفية عن انعكاس عدد قليل نسبياً من الأشعة ذات طول الموجة القصير من المشيمية.

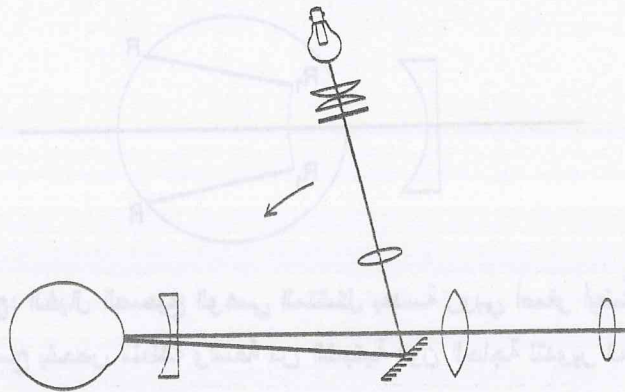
فحص قعر العين

من المستحيل رؤية ما هو أبعد من الثلث الأمامي للزجاجي باستعمال المصباح الشقي الأساسي. ينجم ذلك عن أن القوة الكاسرة للقرنية والبلورة تجعل الضوء الصادر عن الأقسام العميقة من العين متوازياً. بالتالي لا يتشكل خيال ضمن المجال المحرفي لمجهر المصباح الشقي (شكل ١٤-٣٦ أ). لكن يمكن جعل قعر العين مرئياً باستعمال عدسة إضافية تسيطر على القوة الكاسرة للعين. يكون منظر قعر العين بمثل هذه العدسة أفضل بكثير إذا لم يدخل الضوء المنعكس من القرنية إلى نظام الرؤية في مجهر المصباح الشقي. يمكن تحقيق ذلك إلى مدى كبير إذا لم يحدث تراكب بين نظامي الرؤية والإنارة عند القرنية.

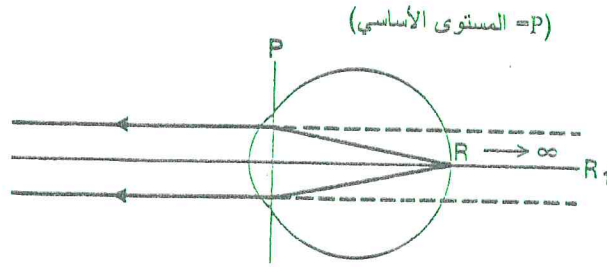
يمكن إمالة عمود الإنارة في معظم المصابيح الشقية بحيث يصبح محور نظام الإنارة تحت محور نظام الرؤية (شكل ١٤-٣٤، ١٤-٣٥).



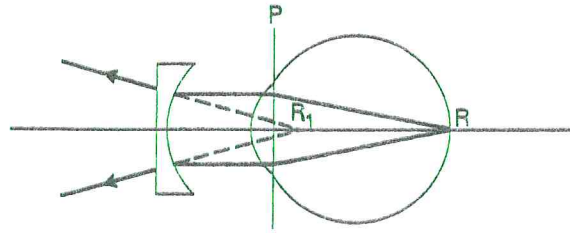
شكل ١٤-٣٤: مصباح شقي. عدسة روبي مع إنارة ذات محور مشترك.



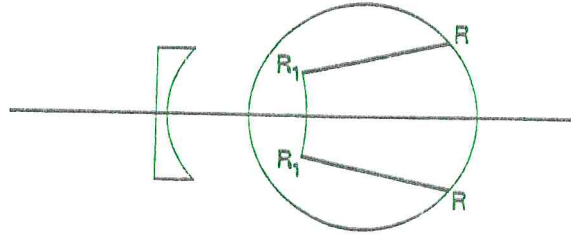
شكل ١٤-٣٥: مصباح شقي. لإظهار ميلان نظام الإنارة.



شكل ١٤-٣٦: عدسة روبي. يخرج الضوء القادم من الشبكية المنارة R من العين متوازيًا. يتشكل الخيال R_1 للشبكية المنارة في اللانهاية ولا يمكن فحصه بالمصباح الشقي.



شكل ١٤-٣٦ ب: تشكل عدسة روبي خيالاً صحيحاً وهمياً R_1 للشبكية المنارة R. يتوضع الخيال ضمن المدى المحرق للمصباح الشقي.



شكل ١٤-٣٦ ج: الخيال الصحيح الوهمي المتشكل بعدسة روبي أصغر أيضاً في الحجم، مما يسمح بفحص منطقة واسعة من الشبكية دون الحاجة لتدوير العين.

عدسة روبي Hruby lens

تستعمل عدسة روبي لفحص الزجاجي وقعر العين بوساطة مجهر المصباح الشقي. العدسة بحد ذاتها عدسة مقعرة -مستوية قوية تبلغ قوتها -

58.6D، وتوضع إلى الأمام مباشرة من العين أثناء الفحص . تعمل عدسة روبي بتشكيل خيال وهمي، صحيح، ومصغر للشبكية المنارة، ويتوضع الخيال إلى الأمام من الشبكية وضمن المجال المحرقي لمجهر المصباح الشقي (شكل ١٤-٣٦). يتطلب استعمالها مهارة خاصة، توضع العدسة بوجهها المقعر مقابل العين، يتم الحصول على أفضل منظر مع كون العدسة قريبة من العين، عندما يتشكل الخيال الشبكي في المستوي الحدقي.

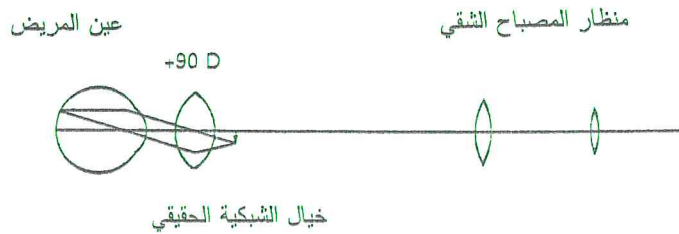
العدسة اللاصقة لرؤية قعر العين

العدسة اللاصقة لرؤية قعر العين عبارة عن وسيلة تستخدم للسماح بفحص الزجاجي الخلفي والقطب الخلفي لقعر العين بوساطة مجهر المصباح الشقي. العدسة الأشيع استعمالاً هي التي صممها غولدمان. هذه العدسة عبارة عن عدسة مقعرة- مستوية مصنوعة من مادة ذات قرينة انكسار أعلى من قرينة انكسار العين. عندما تطبق على القرنية تسمح بفحص قعر العين بنفس آلية عمل عدسة روبي. يمكن أيضاً استعمال المنطقة المركزية في كل من عدسة تنظير الزاوية والعدسة اللاصقة ثلاثية المرايا كعدسة لفحص قعر العين. تستعمل العدسة اللاصقة المقعرة- المستوية أثناء قطع الزجاجي للسماح برؤية قعر العين بوساطة المجهر الجراحي.

العدسة 90D أو 78D

تم تطوير مبدأ منظار قعر العين غير المباشر بحيث يمكن رؤية الخيال الحقيقي للشبكية والمنتشل بوساطة العدسة المكثفة من خلال مجهر المصباح الشقي (شكل ١٤-٣٧). تستعمل لهذه الغاية عدسات مكثفة قوية 90D أو 78D من أجل تقصير مسار الضوء وإحضار الخيال الشبكي إلى داخل المجال المحرقي للمصباح الشقي.

يكون النقص في حجم الخيال المشاهد باستعمال هذه العدسات المكثفة القوية أكبر من ذلك الذي يقابله تكبير مجهر المصباح الشقي. تعطي العدسة 90D ساحة أكبر من الرؤية وتكبير أقل من العدسة 78D. تعطي هذه التقنية منظرًا ممتازاً للقطب الخلفي لقعر العين، لكنها غير ملائمة لفحص الشبكية المحيطية.



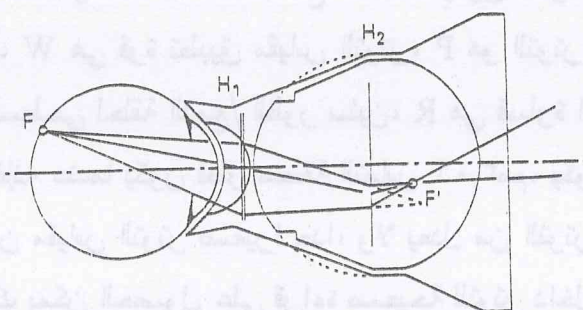
شكل ١٤-٣٧: عدسة 90D أو 78D.

العدسة اللاصقة لتنظير كامل قعر العين

Panfunduscope contact lens

يمكن الحصول على ساحة رؤية أوسع باستعمال العدسة اللاصقة لتنظير كامل قعر العين (شكل ١٤-٣٨). تتألف من عدسة لاصقة محدبة قوية تعمل كعدسة مكثفة وتشكل خيالاً حقيقياً مقلوباً لقعر العين يتوضع ضمن عنصر زجاجي كروي ضمن العدسة. يسطح العنصر الزجاجي الكروي الخيال ويعيد توجيه الضوء المتباعد عنه باتجاه الفاحص. ونظراً لأن العدسة المكثفة قريبة جداً من العين فإن ساحة الرؤية واسعة جداً. وبالفعل يمكن رؤية قعر العين حتى خط الاستواء بمنظر واحد من دون تحريك العدسة. (لكن الخيال المتشكل يكون أصغر بشكل موافق، وبالتالي يجب تعديل المصباح الشقي لإعطاء تكبير عالٍ عند الحاجة لإجراء فحص تفصيلي). يقوم بعض المصنعين بتصنيع عدسات لتنظير كامل قعر العين تعتمد نفس

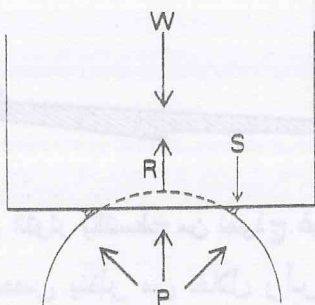
مبدأ عمل عدسة رود نستوك، حيث تطبق العدسة المكثفة على العين كعدسة لاصقة ويجمع الضوء المار ويعاد توجيهه نحو الفاحص. تختلف تفاصيل هذه العدسات بين المصنعين.



شكل ١٤-٣٨: عدسة رودنستوك لتنظير كامل قعر العين.

مقياس التوتر بالتسطح Applanation tonometer

يستعمل مقياس التوتر بالتسطح لقياس التوتر داخل العين. يطبق رأس المقياس على القرنية بقوة كافية لإحداث منطقة معيارية من التماس. تتناسب القوة المطبقة طردياً مع التوتر داخل العين عندما يكون قطر منطقة التماس ٣ مم تقريباً. (يلغى تأثير التوتر السطحي (S)، وقساوة القرنية (R) بعضهما البعض عندما يكون قطر منطقة التماس ٣ مم تقريباً (شكل ١٤-٣٩)).



شكل ١٤-٣٩: مبدأ مقياس التوتر بالتسطح.

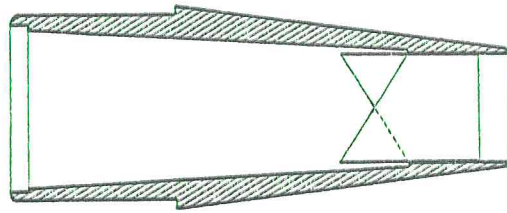
ويصبح تأثير قساوة القرنية ملحوظاً عندما تكون منطقة التماس كبيرة. مما يؤدي لعدم الدقة، بينما عندما تكون منطقة التماس أصغر فإن التوتر السطحي يسبب أخطاء).

يكون $S=R$ وكذلك W متناسباً مع P عندما يكون قطر منطقة التماس $3,06$ مم، حيث W هي قوة تطبيق مقياس التوتر، P هو التوتر داخل العين، S هو التوتر السطحي لحلقة الدمع/ الفلور سنين، R هي قساوة القرنية.

كذلك فإنه عندما يكون قطر منطقة التماس $3,06$ مم، يكون تغير حجم العين الناجم عن مقياس التوتر صغيراً جداً، ولا يعدل من التوتر داخل العين بشكل هام. بذلك يمكن الحصول على قراءة صحيحة للتوتر داخل العين.

يحقق مقياس التوتر بالتسطح من نموذج غولدمان وشميث هذه الشروط، حيث تكون منطقة التماس بقطر $3,06$ مم في كليهما. يتألف الجهاز من رأس التسطح الموضوع فوق رافعة تحمل نابضاً. يكون التوتر في النابض قابلاً للتعديل، وعقدة التعديل مدرجة بالميلليمتر الزئبقي.

يحتوي رأس التسطح على موشورين متقابلين بالقاعدة لتحقيق المنطقة المعيارية من التماس القرني (شكل ٤٠-١٤).

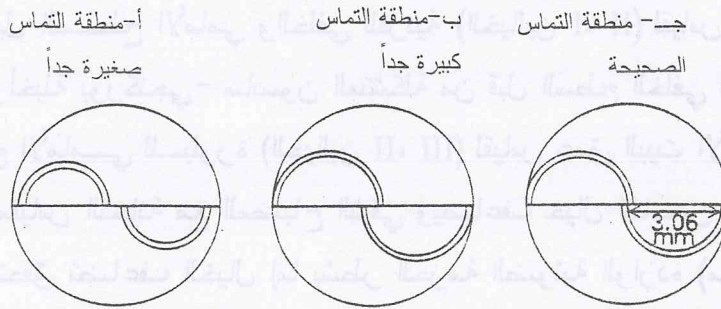


شكل ٤٠-١٤: مقياس التوتر بالتسطح من نموذج غولدمان وشميث.

وهكذا فإن الفاحص ينظر من خلال رأس التسطح ويرى دائرة التماس القرني مشطورة إلى نصف دائرة منزاخين جانبياً باتجاهين متعاكسين

بوساطة الموشورين (شكل ١٤-٤١). يعدل الفاحص توتر التسطح حتى يتراكب نصفا الدائرة فوق بعضهما. (تحدد الحواف الداخلية للهِلال السائلي منطقة التماس).

عند وجود درجة عالية من الحرج القرني تكون منطقة التماس إهليلجية وليست دائرية، ويحدث خطأ بمقدار ١ مم. لكل ٤ كسيرات من الحرج. يمكن تحقيق منطقة التماس الصحيحة بإجراء القياس على محور يشكل ٤٣ مع المحور ذي القوة الأقل (٤٣ عن محور الأسطوانة السالبة). يوجد في مقياس التوتر بالتسطح من نموذج غولدمان وشميث ختان مرسوم على الموشور، خط أبيض يتوضع في المحور الأفقي للاستعمال العام، وخط أحمر على محور يشكل ٤٣ مع المحور الأفقي.



شكل ١٤-٤١: مقياس التوتر بالتسطح من نموذج غولدمان وشميث الخيال المرئي من قبل الفاحص.

مقياس التوتر غير المماس Non-contact tonometer

تم تطوير مقاييس توتر تسطح القرنية بوساطة نفخة من الهواء، مما يسمح بتجنب لمس الجهاز للعين. يقاس التسطح القرني بجمع الضوء المنعكس من القرنية المركزية. توجه حزمة متوازية من الضوء على القرنية المركزية بزواوية ٣٠ ويقاس الضوء المنعكس بوساطة كاشف ضوئي بزواوية

انعكاس ٣٠. تكون الحزمة المنعكسة من الضوء أقوى ما يمكن في هذه الزاوية عندما تكون القرنية مسطحة وتعمل مرآة مستوية أكثر من كونها مرآة منحنية. يسجل الجهاز قوة الهواء اللازمة لتسطيح القرنية ويظهر التوتر داخل العين الذي يتوافق مع هذه القوة.

يجب استعمال مقياس التوتر الهوائي على مسافة ثابتة من القرنية، ويحتوي الجهاز على نظام ارتصاف بصري لتسهيل ذلك.

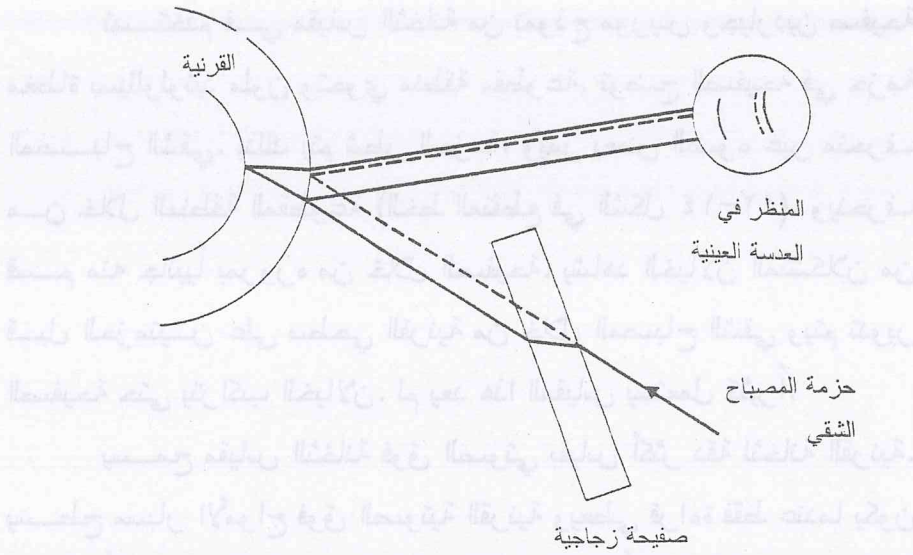
مقياس الثخانة (Pachymeter (Pachometer

مقياس الثخانة هو جهاز لقياس ثخانة القرنية. يستعمل مقياس الثخانة إما مبادئ بصرية أو مبادئ فوق صوتية.

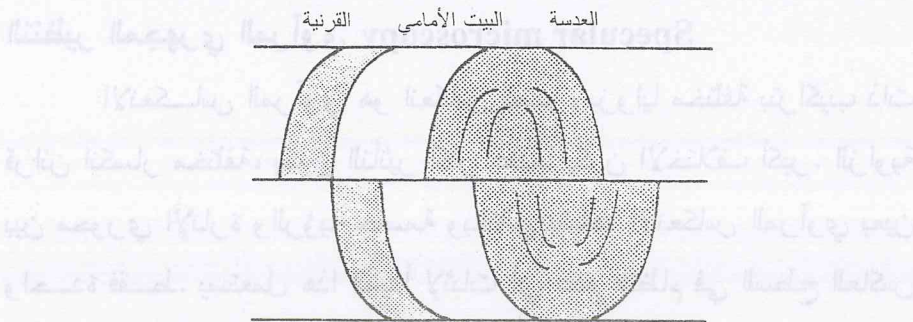
يستعمل مقياس الثخانة البصري أخيلة بوركنجي-سانسون المتشكلة من قبل السطح الأمامي والخلفي للقرنية (الخيالين I، II) لقياس ثخانة القرنية، وأخيلة بوركنجي-سانسون المتشكلة من قبل السطح الخلفي للقرنية والسطح الأمامي للبلورة (الخيالين II، III) لقياس عمق البيت الأمامي. يتصل مقياس الثخانة مع المصباح الشقي ويضاعف خيال الفاحص لساحة الرؤية. يتحقق تضاعف الخيال إما بشرط الحزمة الضوئية الواردة (موريس وجياردين، شكل ١٤-٤٢)، أو بشرط المنظر الذي يراه الفاحص (جاغر، شكل ١٤-٤٣).

يستعمل مقياس الثخانة من نموذج جاغر بشكل واسع. يوضح محور الإنارة بشكل معامد للقرنية ومحور المراقبة بزاوية ٤٠° معه. ينشطر خيال القرنية الذي يراه الفاحص أفقياً لأنه من خلال صفيحتين زجاجيتين. الصفيحة السفلية مثبتة، أما العلوية فيمكن إمالتها أفقياً لإزاحة النصف العلوي من الخيال. يقوم الفاحص برصف السطح الأمامي للقرنية في أحد الخيالين مع

سطحها الخلفي في الخيال الثاني. تتناسب درجة الميلان اللازمة لذلك مع
ثخانة القرنية التي تتم قراءتها من المؤشر (شكل ١٤-٤٣).



شكل ١٤-٤٢: مقياس الثخانة نموذج موريس وجياردين. قياس ثخانة القرنية.



شكل ١٤-٤٣: مقياس الثخانة نموذج هاغ-شترايت (جاغر). منظر العين بالنسبة
للفاحص من أجل قياس ثخانة القرنية.

لقياس عمق البيت الأمامي يتم رصف السطح الخلفي للقرنية في أحد
الخيالين مع السطح الأمامي للبلورة في الخيال الثاني. يستعمل نوعان

مختلفان من مقياس الثخانة نموذج جاجر: يقيس الأول العمق حتى ١,٢ مم والثاني حتى ٦ مم.

تستخدم في مقياس الثخانة من نموذج موريس وجياردين صفيحة مغطاة بسيلولويد ملون وتحتوي منطقة مقطوعة. توضح الصفيحة في حزمة المصباح الشقي. بذلك يتم شطر الحزمة، ويمر بعض الضوء غير منحرف من خلال المنطقة المقطوعة (الخط المتقطع في الشكل ١٤-٤٢)، وينحرف قسم منه جانبياً بمروره من خلال الصفيحة. يشاهد الخيالن المتشكلان من قبل الحزمتين على سطحي القرنية من خلال المصباح الشقي ويتم تدوير الصفيحة حتى يتراكب الخيالن. لم يعد هذا المقياس يستعمل كثيراً. يسمح مقياس الثخانة فوق الصوتي بقياس أكثر دقة لثخانة القرنية. يسطح مسبار الأمواج فوق الصوتية القرنية ويعطي قراءة فقط عندما يكون عمودياً على السطح الخلفي. له قيمة كبيرة جداً في تحديد عمق الشقوق القرنية في الطعوم والجراحة الانكسارية.

التنظير المجهرى المرأوي Specular microscopy

الانعكاس المرأوي هو انعكاس الضوء بزوايا مختلفة بتراكيب ذات قرائن انكسار مختلفة، يكون التأثير أكثر عندما يكون الاختلاف أكبر. الزاوية بين محوري الإنارة والرؤية حاسمة وبالتالي يشاهد الانعكاس المرأوي بعين واحدة فقط. يستعمل هذا المبدأ لإثبات أي عدم انتظام في السطح العاكس الأملس الذي يوجد بين التراكيب ذات قرائن الانكسار المختلفة. على سبيل المثال، عندما يشاهد جسم الخلية والمادة بين الخلية في إندوتليوم القرنية بالتنظير المجهرى المرأوي، فإن أحدهما يبدو قاتماً والآخر فاتحاً. يخف الانعكاس على سطح القرنية بالتماس المباشر بين الجهاز والقرنية. يشاهد هذا التأثير بالتركيز على منطقة محددة ومن ثم تغيير زاوية الإنارة بحرص.

تستخدم هذه التقنية لتقييم صحة القرنية المعطية. بنفس الطريقة، يمكن رؤية ابتليوم البلورة ومناطق انقطاع التواصل ضمن البلورة.

التصوير المقطعي المتناسك البصري

Optical coherence tomography (OCT)

هو عبارة عن تقنية تصويرية تجريبية مشابهة للمسح B بالأمواف فوق الصوتية التي تستخدم التأخر الزمني للضوء تحت الأحمر المنعكس من الشبكية لإعطاء صور مقطعية عرضية في الشبكية بفصل يصل حتى ١٠ ميكرون. ينشطر الضوء القادم من المصدر تحت الأحمر (٨٤٣ ن.م) إلى حزمة إشارة تنعكس على مرآة وحزمة أخرى تعتبر كعينة تنعكس على الشبكية. تؤدي الاختلافات الزمنية بين الانعكاسين إلى إشارة تداخلية تتم معالجتها لإعطاء خيال رقمي.

الانكسار السريري الأوتوماتيكي

أجريت محاولات كثيرة خلال المئتي سنة الأخيرة لأتمتة عملية الانكسار، لكن من دون نجاح يذكر. لا يوجد بديل موثوق بالنسبة لأخصائي الانكسار الخبير. ظهر مؤخراً جيل جديد من أجهزة الانكسار الأوتوماتيكي في الأسواق، وبالتالي فإنه من المهم فهم المبادئ التي تعمل عليها والصعوبات التي حالت دون نجاح هذه المحاولات في الماضي.

المبادئ الأساسية المستخدمة في الانكسار الأوتوماتيكي

مبدأ شاينر

اكتشف شاينر عام ١٦١٩ أنه من الممكن تحديد النقطة التي تركز عليها العين بدقة بوضع ثقب ضيق مزدوج أمام حدقة تلك العين. تنقص الأشعة الضوئية المتوازية الآتية من جسم بعيد إلى حزمتين صغيرتين من الضوء باستعمال قرص شاينر (شكل ١٤-٤٤)، تشكل هاتان الحزمتان

محرقاً واحداً على الشبكية إذا كانت العين سديدة (شكل ١٤-٤٤ أ). بينما تتشكل بقعتان ضوئيتان على الشبكية في حال وجود أي سوء انكسار (شكل ١٤-٤٤ ب، ج). يمكن تحديد نقطة مدى المريض وسوء الانكسار بتعديل وضعية الجسم (ميكانيكياً أو بصرياً) حتى يشاهد محرقاً واحداً من الضوء. يعتبر على وجه العموم أن محاكمة وحدة الخيال تعطي نتيجة أكثر دقة من محاكمة التشويش الأصغري للخيال.

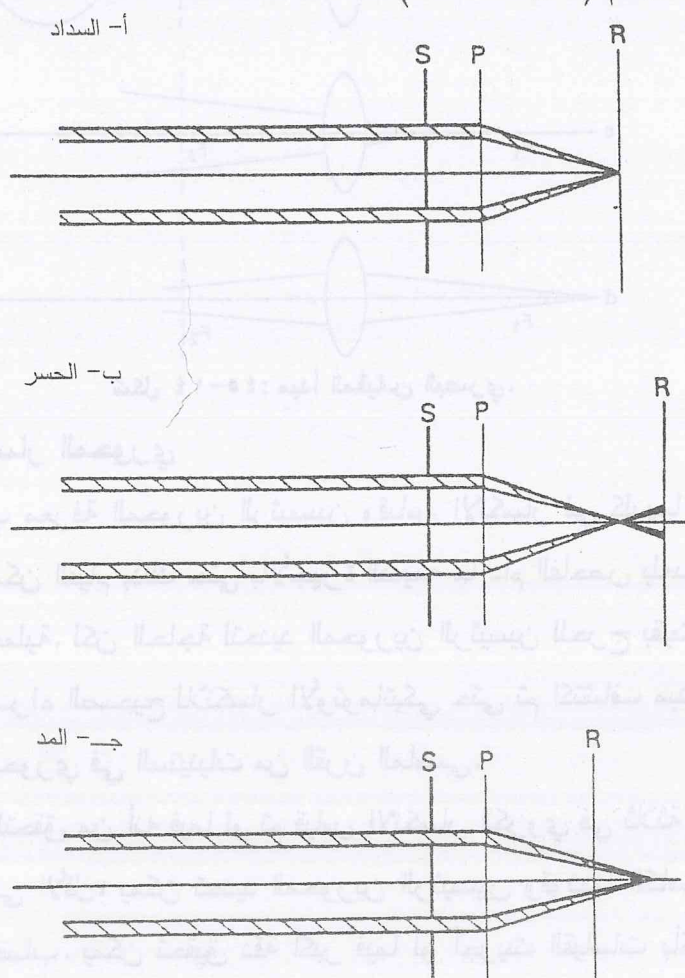
يتم فحص العين بهذه الطريقة فقط على طول مساري الحزمتين الضوئيتين المارتين من خلال قرص شاينر. كانت هذه الطريقة الأولى بين زمرة من طرق الانكسار تعرف باسم (المحرق النطاقي)، والتي يتم تحديد الحالة الانكسارية فيها عن طريق الفحص من خلال مناطق صغيرة من النقب البصري. استعملت طرق المحرق النطاقي التي تعتمد على مبدأ شاينر بشكل واسع في تصميم أجهزة الانكسار الأوتوماتيكي.

مبدأ المقياس البصري

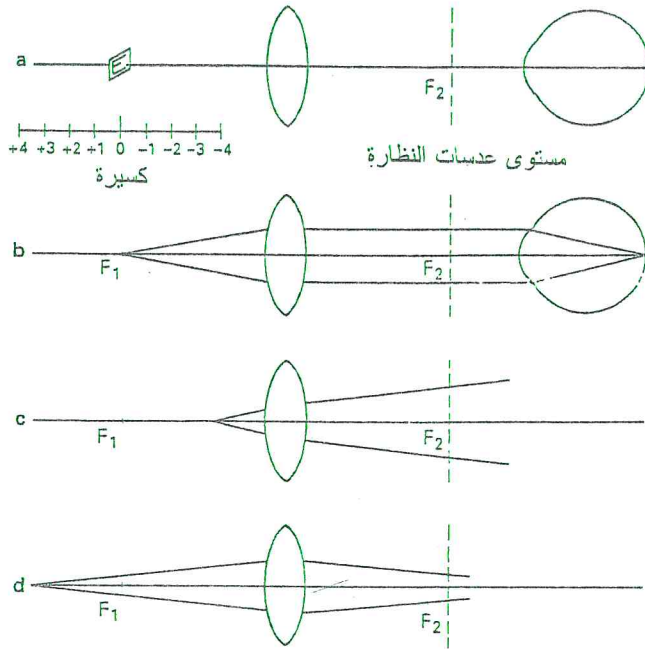
استعملت كلمة مقياس بصري optometer لأول مرة عام ١٧٥٩ من قبل بورترفيلد الذي قام بوصف جهاز لقياس حدود الرؤية المميزة، وتحديد قوة أو ضعف المشهد البصري بدقة كبيرة. يبين الشكل (١٤-٤٥) مبدأ المقياس البصري.

توضع عدسة محدبة إلى الأمام من العين بحيث يتوضع محرقتها في مستوى النظارات وينظر إلى هدف متحرك من خلال العدسة (شكل ١٤-٤٥ أ). إذا توضع الهدف في المحرق الرئيسي الأول للعدسة، فإن الضوء الآتي منه سيكون متوازياً عند مستوي النظارة ويتجمع على الشبكية في العين السديدة (شكل ١٤-٤٥ ب). عندما يكون الهدف ضمن الطول المحرقي للعدسة، فإن الضوء الآتي منه سيكون متباعداً في مستوي النظارة (مقلداً تأثير عدسة

مقعرة) (شكل ١٤-٤٥ ج). أما الضوء الآتي من الهدف خارج الطول المحرقي للعدسة، فسيكون متقارباً في مستوى النظارة (مقلداً تأثير عدسة محدبة) (شكل ١٤-٤٥ د). يتناسب جنوح الضوء في مستوى المحرق الرئيسي الثاني للعدسة خطياً مع بعد الهدف عن المحرق الرئيسي للعدسة. الجهاز معايير لإظهار جنوح الضوء في المستوي المحرقي بالكسيرات وفقاً لوضعية الجسم (شكل ١٤-٤٥ أ).



شكل ١٤-٤٤: مبدأ شايتر.



شكل ١٤-٤٥: مبدأ المقياس البصري.

قياس الانكسار المحوري

تجب معرفة المحورين الرئيسيين وقياس الانكسار في كليهما بوجود الحرج. يمكن القيام بذلك حتى بالأجهزة القديمة ما دام الفاحص يلعب دوراً فعالاً في العملية. لكن الحاجة لتحديد المحورين الرئيسيين للحرج بقيت عائقاً أمام الإجراء الصحيح للانكسار الأوتوماتيكي حتى تم اكتشاف مبدأ قياس الانكسار المحوري في الستينيات من القرن الماضي.

تم التحقق من أنه فيما لو تم قياس الانكسار الكروي في ثلاثة محاور اعتباطية على الأقل، يمكن تحديد المحورين الرئيسيين وقوتها الكاسرة عن طريق الحساب. يمكن تحقيق دقة أكبر فيما لو أجريت القياسات بأكثر من ثلاثة محاور اعتباطية، بالرغم من أن التحليل الحسابي يصبح أكثر تعقيداً.

المقاييس البصرية القديمة

كانت الأجهزة القديمة عبارة عن مقاييس بصرية شخصية، حيث كان يجب على المريض أن يعدل الجهاز لتحقيق أفضل محرق شخصي أو ارتصاف الهدف. لكن ثبت أن المقاييس البصرية الشخصية غير مرضية بسبب مشاكل الارتصاف والخرج غير المنتظم ومطابقة الجهاز.

الارتصاف حاسم في الجهاز الذي يعتمد على مبدأ شاينر، نظراً لأن كلاً من التقنيين الضيقين يجب أن يقع ضمن حذقة المريض. يتطلب الارتصاف الصحيح للجهاز والمحافظة عليه مهارة كبيرة وصبراً من الفاحص وتعاوناً جيداً من المريض. تقيس الأجهزة التي تستعمل مبدأ شاينر الانكسار في جزئين صغيرين فقط من الثقب الحذقي يتوافقان مع ثقب قرص شاينر. توجد درجة ما من الخرج غير المنتظم في كل العين، لكن إذا كان موجوداً بدرجة كبيرة قد يكون الانكسار الشامل للعين مختلفاً جداً عن النتيجة التي يحصل عليها بهذه الطريقة. تحدث المطابقة غير الملائمة غالباً عند النظر إلى هدف ضمن الجهاز وبالتالي قريب جداً من العين. يدعى ذلك بمطابقة الجهاز وهي مشكلة كبيرة في تصميم المقياس البصري.

استعمل العديد من الأجهزة المتطورة كمحاولة للتغلب على المطابقة اللاإرادية للمريض، لكنها بقيت مشكلة حتى في الأجهزة الحديثة، تتموج درجة مطابقة الجهاز غالباً أثناء عملية القياس مسببة خطأ في التصحيح الحرجي بالإضافة للكروي وذلك إذا لم يتم قياس المحورين بوقت واحد.

تطورت العديد من الأجهزة التي تدعى بالمقاييس البصرية الموضوعية في الفترة بين الحربين العالميتين، لكنها تطلبت من الفاحص أن

يركز أو يرصف خيال الهدف على شبكية المريض؛ وبالتالي لم تكن موضوعية تماماً. وقد فشلت في أن تفرض نفسها في الاستخدام العام بسبب صعوبات الارتصاف ومطابقة الجهاز، لكن ثلاثة من هذه الأجهزة ما تزال متوفرة وقد حازت الرضى في أوروبا حيث تستعمل بدلاً من تنظير الشبكية.

المقاييس البصرية تحت الحمراء

أصبحت المقاييس البصرية الأوتوماتيكية تحت الحمراء في الواجهة في السنوات الأخيرة. إنها في الواقع أجهزة موضوعية كون الجهاز بحد ذاته يدرك النقطة النهائية في الانكسار. إن تطورها هو حصيلة التقدم في علوم الإلكترونيات والحواسيب الصغيرة والذي حصل في العقود الأخيرة، وكذلك اكتشاف مبادئ قياس الانكسار المحوري. ترشح الأجهزة المتوافرة تجارياً كل الضوء باستثناء تحت الأحمر من نظام القياس وتكشف النقطة النهائية بوساطة كاشف محرق إلكتروني. يعتمد بعضها على مبدأ شاينر، ويقلد بعضها الآخر تنظير الشبكية، بينما يستعمل البعض الآخر مبدأ المقياس البصري.

يجرى الانكسار لعين المريض باستعمال الضوء تحت الأحمر غير المرئي للسيطرة على مطابقة الجهاز. (يجب الاستمرار باستعمال هدف تثبيت منفصل مصمم لتشجيع إرخاء المطابقة). يختلف كسر العين للأشعة تحت الحمراء بشكل هام عنه للضوء المرئي بسبب الزوغان اللوني للعين ولأن الضوء تحت الأحمر لا ينعكس من نفس طبقات الشبكية التي تعكس الضوء المرئي. يبلغ هذا الاختلاف حوالي ٠,٧٥-١,٥ كسيرة أكثر مداً بالنسبة لتحت الأحمر وقد يختلف قليلاً من شخص لآخر. بالتالي فإن المصنعين يعايرون الأجهزة تجريبياً لينسبوا نتائجها إلى النتائج السريرية الشخصية.

لا تقوم الأجهزة بأداء جيد إذا كانت الحدقة صغيرة أو مشوهة، مثال: خزع قزحية واسع، أو إذا كانت الأوساط العينية غير شفافة (كقاعدة عامة، تصبح هذه الأجهزة غير دقيقة إذا تجاوز التغميم في الأوساط ذلك المستوى الذي ينقص حدة البصر إلى (١٨/٦).

المسح الضوئي Photoscreening

المسح الضوئي عبارة عن تقنية يقوم بها طاقم مساعد مثل الممرضات أو الزوار الصحيون لمسح الأطفال غير القادرين على النطق من أجل اكتشاف العوامل التي تسبب غطشاً. تستعمل آلة تصوير بولارويد لتصوير الطفل من على مسافة محددة في كل من المحورين الأفقي والشافقولي. تلتقط الصورة أي تبدل في المنعكس الأحمر الذي قد يحدث في أسواء الانكسار (مد بصر، حسر بصر، حرج بصر، تفاوت سوء انكسار) أو في الحَوَل أو كثافات الأوساط الشفافة. يتم فحص الصور من قبل طاقم مدرب مثل : أخصائي تصوير البصر، ويرسل هؤلاء الأطفال الذين يشك بوجود مشكلة ما لديهم إلى أخصائي العينية من أجل استكمال الفحوصات وإجراء الانكسار بعد شل المطابقة.

في النهاية يمكن القول إنه لا يمكن لأي آلة أن تضاهي دقة أخصائي الانكسار الخبير وقدرته على اختبار العيون غير الطبيعية وصبره على الأطفال أو المسنين وحكمته بوصف التصحيح الملائم والمُرضي للمريض.

الفصل الخامس عشر

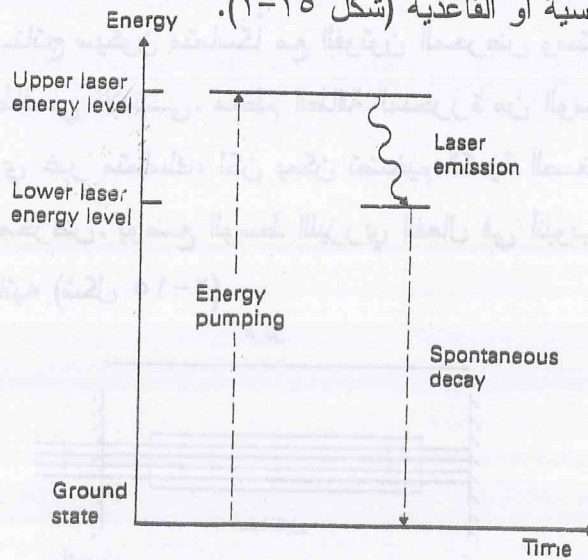
الليزر Laser

مقدمة

الليزر Laser كلمة مركبة من أوائل أحرف كلمات العبارة التي تدل على أسلوب عمل الجهاز: تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للأشعة: Light amplification by stimulated emission of radiation ضوء الليزر متماسك، أي أن كل الفوتونات لها نفس طول الموجة ومتوافقة بالطور كما أن حزمة الليزر متوازية أيضاً، بمعنى أن جميع الأمواج الضوئية فيها متوازية.

توليد طاقة الليزر

تكون جميع الذرات أكثر ثباتاً بمستوياتها الطاقية الدنيا، التي تعرف بالحالة الأساسية أو القاعدية (شكل ١٥-١).

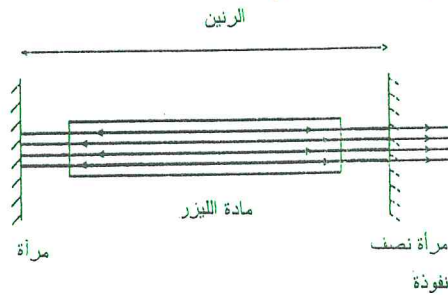


شكل ١٥-١: المستويات الطاقية لليزر بسيط.

يتم إيصال الطاقة إلى الذرات في الوسط الليزري الفعال بعملية تدعى الضخ Pumping. يؤدي امتصاص الطاقة من قبل ذرة إلى رفع إلكتروناتها من حالتها القاعدية إلى مستوى طاقي أعلى. يسمح أحد هذه المستويات الطاقة العليا للذرات المثارة بالتجميع فيه.

عند وجود عدد أكبر من الذرات في الحالة المثارة منه في المستوى الطاقوي الأدنى يقال بحدوث انقلاب عددي. تكون الذرات في الحالة المثارة غير ثابتة وتميل إلكتروناتها للعودة عفويًا إلى حالتها القاعدية بإصدار طاقة ضوئية. يكون هذا الإصدار العفوي للضوء غير متماسك ويتجه في جميع الاتجاهات. تكون الذرات في المستوى الأدنى غير ثابتة وتستطيع أن تعود لحالتها القاعدية ثم تدخل الدورة من جديد.

إذا تم تحريض ذرة بمستوى طاقي أعلى من جديد بفوتون طول موجته تعادل طول موجة الفوتون الذي تصدره الذرة بشكل طبيعي، فإن الإصدار الناتج سيكون متماسكاً مع الفوتون المحرض وستعود الذرة إلى المستوى الطاقوي الأدنى. معظم الطاقة المتحررة من الوسط الفعال هي إصدار عفوي غير متماسك، لكن يمكن تضخيم الكمية الصغيرة المتحررة بالإصدار المحرض. يوضع الوسط الليزري الفعال في أنبوب يحوي مرآة في كل من نهايتيه (شكل ١٥-٢).



شكل ١٥-٢: أنبوب الليزر.

يجب أن تعادل المسافة بين المرآتين تضاعفاً لطول موجة الضوء الصادر بحيث يحدث التوافق أو الرنين resonance.

عندما يصادف الفوتون إلكترونات مثاراً ويحدث الإصدار المحرض ينتقل الضوء الصادر عبر الأنبوب لينعكس ثم يعاد مرات أخريات على المرآتين. يبقى الضوء الذي قطع الأنبوب في رحلته الثانية متوافقاً في الطور ويبقى كذلك في الرحلات الأخرى طالما أن المرآتين متراصفتان بدقة. بالتالي فإن الضوء يدعم نفسه، وهذا ما يدعى بالرنين أو التجاوب. تحدث في هذه الأثناء إصدارات جديدة، وبذلك يصبح الضوء الذي يعبر الأنبوب أقوى مع بقائه متوافقاً في الطور (متماسكاً).

إذا جعلت إحدى المرآتين شفافة جزئياً، يمكن السماح لقسم من الضوء بمغادرة الأنبوب. يكون هذا الضوء متماسكاً، وحيد اللون (ذو طول موجة واحدة)، متوازياً .

يتم توليد الضوء بشكل مستمر، ويقال عن هذا الليزر بأنه يعمل بأسلوب الموجة المستمرة (CW) continuous - wave . يكون التدفق الضوئي الفعلي الصادر بوساطة الليزر صغيراً نسبياً . (الليزر ضعيف الفعالية جداً بحيث يتطلب ضخ مقدار كبير من الطاقة للمحافظة على عملية الإصدار). ولكن نظراً لعدم تبعثر التدفق الضوئي في جميع الاتجاهات وإنما يكون مركزاً في حزمة دقيقة متوازية، تكون الحزمة الضوئية شديدة السطوع.

قد تكون الشدة الضوئية لليزر يولد ٥ لومن من الضوء ٥٠٠ مليون شمعة. من المقارنات المفيدة الأخرى، أن الليزر ذو الاستطاعة البالغة ١ واط يولد إشعاعاً ضوئياً شبيهاً أكبر بـ ١٠ مليون مرة من ذلك الذي يولده مصباح متوهج استطاعته ١٠٠ واط.

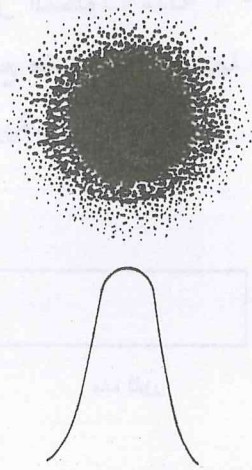
يسمى الليزر اعتماداً على وسطه الفعّال. يحتوي الوسط الفعال على ذرات أو جزيئات تخضع للإصدار المحثوث. قد يكون غازاً (الأرغون، الكريبتون، ثاني أكسيد الكربون) أو سائلاً (الصباغ) أو صلباً (Nd:YAG). قد يكون مصدر الطاقة التي تضخ في الوسط الفعال إفراغاً كهربائياً أو ليزراً آخر أو ضوءاً غير متماسك.

أساليب الليزر

بالرغم من أن ضوء الليزر يعتبر بشكل عام متماسكاً، فإن ليس كل الأمواج الضوئية متوازية بدقة على المستوى العملي عندما يحدث التجاوب بين مرآتي أنبوب الليزر. تظهر مقارنة عرضية في حزمة الليزر بنقاط مختلفة على طول مسارها على أن ضوء الليزر متباعد بشكل خفيف جداً وأنه أكثر شدة في نقاط معينة (تدعى الأساليب الكهرطيسية المعترضة). لكن من المهم أن يتم تركيز الطاقة بدقة عند إجراء الخزع الضوئي (مثال: خزع المحفظة بالياغ ليزر) لتحقيق تأثير خازع أكبر، وبالتالي يجب أخذ تأثيرات الأساليب المعترضة بعين الاعتبار.

النقطة التي يكون فيها ضوء الليزر أقل تباعداً والواقعة على مسار حزمة الليزر هي النقطة التي يمكن تجميع طاقة الليزر فيها ببقعة أصغر، يدعى ذلك بالأسلوب الأساسي. تكون الطاقة عند نقطة المحرق متركزة في مركز الحزمة وتقل باتجاه المحيط بتوزع تم وصفه بواسطة منحنى Gaussian (شكل ١٥-٣). تزيد تصاميم الياغ ليزر الحديثة من توزيع الطاقة باتجاه مركز الحزمة لتشكيل نقطة محرقية أصغر وتحقيق نفس التأثير باستعمال مقدار أقل من الليزر.

يمكن إلغاء الأساليب غير الأساسية التي تمثل أمواجاً متباعدة بواسطة ثقب داخل تجويف الليزر للسماح بمرور الأشعة المتوازية فقط.



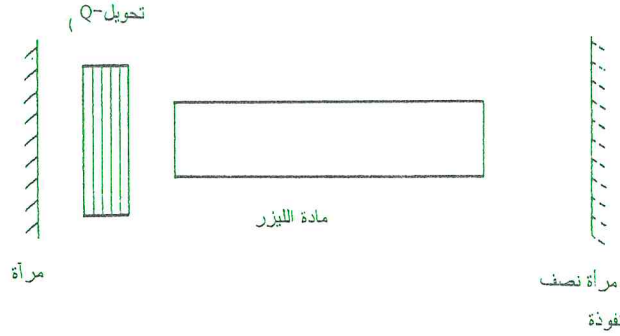
شكل ١٥-٣: توزيع Gaussian لطاقة الليزر.

تثبيت الأسلوب Mode locking التحويل Q-switching

يمكن زيادة القوة بتحرير نفس الطاقة خلال زمن أقصر (القوة هي الطاقة في وحدة الزمن أي واط = جول/ ثانية). يمكن تحقيق ذلك في الليزر عن طريق تثبيت الأسلوب أو التحويل Q- لتوليد نبضة قصيرة الأمد من الليزر وليس موجة للحزمة في الليزر العيني ذي الموجة المستمرة (مثال: الأرغون) نتاج طاقي ثابت ويعتمد هذا النتاج الطاقي على سرعة المصراع المستخدم. بالتالي فإن النتاج يقاس بشكل ملائم أكثر بالواط. وعلى النقيض من ذلك فإن للحزمة في الليزر النبضي (مثال: Nd: YAG)، ذروة من القوة وبذلك يقاس النتاج بشكل ملائم أكثر بالجول.

التحويل Q- تقنية يتم فيها وضع مصراع إلى الأمام من إحدى المرآتين في أنبوب الليزر حيث يحدث اهتزاز الحزمة بشكل طبيعي (شكل ١٥-٤). يجعل ذلك السوية الطاقة للوسط الليزري أعظمية بحصر ضياع الطاقة بالإصدار العفوي وحده. يسمح فتح المصراع بحدوث الاهتزاز ويولد

تدفقاً نبضياً وحيداً من الإصدار المحثوث مدته ٢ - ٣,٠ نانو ثانية (3.0×10^{-9} ثانية). تستعمل مصاريع متنوعة بما فيها المرايا الدوارة، الأصبغة والمحولات الكهربائية -البصرية.



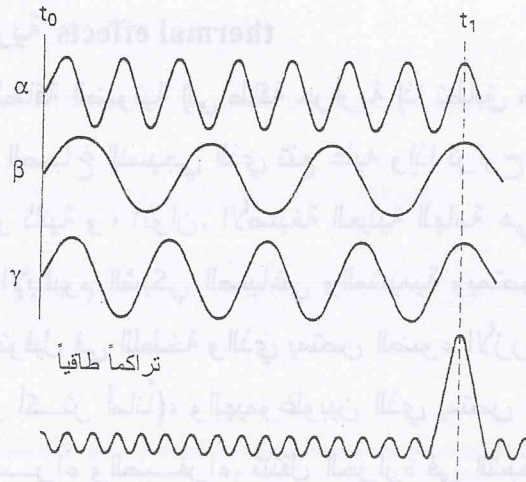
شكل ١٥-٤: الليزر ذو التحويل Q- أو مثبت الأسلوب.

ضوء الليزر - في الحقيقة - ليس صافياً تماماً لأنه يشكل أكثر من طول موجة واحدة لأسباب عديدة. بدايةً فإن طول أنبوب الليزر، الذي يبلغ حوالي المتر، كبير جداً مقارنةً مع طول موجة ضوء الليزر. بالتالي فإنه من الممكن لتراكب أطوال موجية متعددة ومختلفة أن يتوافق مع أنبوب الليزر. ثانياً، فإنه في حالة الليزر الصلب قد تؤدي الحرارة المتولدة عن العملية إلى تمدد بلورات الليزر، مما يعدل المسافة بين المرآتين. ثالثاً: يحوي الليزر الغازي خليطاً من الأطوال الموجية بسبب تأثير دوبلر: تتحرك جزيئات الغاز حركة عشوائية ويعتمد طول موجة الضوء الذي تصدره فيما إذا كان اتجاه حركتها العشوائية مماثلاً لاتجاه الإصدار. لهذه الأسباب فإن الأطوال الموجية المتعددة الفرعية غير متوافقة بالطور، وتعرف هذه الحالة بأسلوب الجريان الحر.

إن طريق تثبيت الأسلوب عبارة عن تهذيب لطريقة التحويل Q- إذ تجعل الأطوال الموجية المختلفة متزامنة بحيث تصبح متوافقة في

الطور بشكل دوري، وتجمعها على شكل سلسلة من النبضات الطاقية العالية جداً (شكل ١٥-٥). تستمر النبضة حوالي ٣٠ بيكو ثانية (١٠×٣٠^{-١٢} ثانية) وتنتج قوة أعلى حتى مئة مرة بنفس مقدار الطاقة المستعملة في طريقة التحويل Q.

تنتج الأمواج α, β, γ ذات الأطوال الموجية المختلفة تداخلاً هداماً. وتنتج بفواصل زمنية t_1 تداخلاً بناءً وتراكماً طاقياً إذا كانت متزامنة مسبقاً عند t_0 .



شكل ١٥-٥: تثبيت الأسلوب.

تأثيرات طاقة الليزر على الأنسجة

يمكن للإشعاع ذو طول الموجة ٤٠٠-٤٠٠ نانومتر أن يدخل العين ويصل إلى الشبكية. تعتمد تأثيرات طاقة الليزر على الأنسجة العينية على طول الموجة وأمد نبضة ضوء الليزر وخصائص الامتصاص في الأنسجة (تحدد إلى مدى كبير بمقادير الأصبغة المحتواة فيها). عندما تتجاوز طاقة

الليزر العتبة المسببة للأذية النسيجية فإن آلية الأذية تعتمد على مدة التعرض. قد تكون التأثيرات مؤينة أو حرارية أو كيميائية ضوئية.

التأين Ionisation

قد تكون طاقة الفوتون المتحررة خلال نانو ثانية أو أقل كافية لنزع الإلكترونات من الجزيئات لإحداث تجمع في الشوارد والالكترونات يدعى البلازما. للبلازما حرارة عالية جداً وتتمدد بسرعة لتسبب موجة صادمة ميكانيكية كافية لإزاحة الأنسجة قد تولد الطاقة المتحررة على شكل فوتونات وميضاً ضوئياً. يعمل Nd-YAG والأرغون والإكسايمر ليزر بهذه الطريقة.

التأثيرات الحرارية thermal effects

تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية إذا تطابق طول الموجة مع طيف امتصاص الصباغ النسيجي الذي تقع عليه وإذا تراوح أمد النبضة بين بضعة ميكرو ثانية و ١٠ ثوان. الأصبغة العينية الهامة هي الميلانين الذي يتوضع في الإبتليوم الشبكي الصباغي والمشيمية ويمتص معظم الطيف المرئي، الكزانتوفيل في اللطخة والذي يمتص الضوء الأزرق بشدة (بالتالي فإن الأخضر أكثر أماناً)، والهيموغلوبين الذي يمتص أطوال الموجات الزرقاء والخضراء والصفراء. تنتقل الحرارة في الشبكية إلى الطبقات المجاورة لها لتسبب ارتفاعاً مقداره ١٠-٢٠°س في الحرارة النسيجية. النتيجة هي تخثير ضوئي وحرق موضع.

عندما يرفع الضوء المرئي أو تحت الأحمر الحرارة النسيجية إلى ١٠٠°س فإن الماء يتبخّر ويحدث تمزق نسيجي. يعمل ليزر ثاني أكسيد الكربون بهذه الآلية، حيث يمتص ٩٠% من الطاقة ضمن ٢٠٠ ميكرون من السطح الذي طبق عليه. قد يحدث التبخر أيضاً بالتخثير الضوئي الشبكي بالأرغون ليزر إذا كان شديداً جداً .

التأثيرات الكيميائية الضوئية photochemical effects

عند الحاجة لزيادة أمد النبضة إلى ١٠ ثوانٍ أو أكثر لإحداث الأذية، تكون الآلية هي تشكل أيونات جذرية حرة عالية الارتكاس والسمية للخلايا. تسبب الأطوال الموجية الأقصر (الأزرق، فوق البنفسجي) أذية بمستويات أقل من التشعيع وبالتالي فإنها مؤذية أكثر. يحوي الأرجون ليزر من أجل التخثير الضوئي للشبكية مرشحة لحماية الطبيب من التأثيرات الكيميائية الضوئية التي قد تنتج عن الضوء المنعكس.

أنواع الليزر المستخدمة في طب العيون

تتطور أنواع جديدة من الليزر كل عام مع إمكانية استخدامها في طب العيون.

الأنواع المذكورة أدناه هي الأنواع المقبولة في الاستخدام في الوقت الحاضر. يمكن إيصال ضوء الليزر من خلال ليف بصري إلى المصباح الشقي أو منظار قعر العين غير المباشر أو مسبار الليزر داخل العين.

الأرغون ليزر الغازي الأزرق - الأخضر

يصدر الأرغون ليزر الغازي الأزرق - الأخضر مزيجاً من ٧٠% ضوء أزرق (٤٨٨ ن.م) و ٣٠% أخضر (٥١٤ ن.م). يستخدم الأرغون ليزر بشكل شائع في التخثير الضوئي للشبكية. كانت النماذج القديمة كبيرة وتتطلب تبريد للماء لتبديد الحرارة الناتجة. الأنواع الأحدث أصغر حجماً ومبردة بالهواء، وإصدارها محصور بالضوء الأخضر لعدة أسباب. بهدف التخثير الضوئي لمعالجة الشبكية الخارجية دون الداخلية لتجنب إصابة طبقة ألياف العصب البصري.

لا يسبب التخثير الضوئي بالأرغون ليزر الأخضر أذية مباشرة يمتص الأرغون ليزر بشكل جيد من قبل الميلائين والهيموغلوبين. أما الكزانوفيل في الطبقة الداخلية لـ اللطخة فيمتص فقط الضوء الأزرق وليس الأخضر، وبذلك فإن استعمال الضوء الأزرق في اللطخة يعتبر مضاد استطباب لتجنب الأذية المباشرة للشبكية في هذه المنطقة يؤثر تبعثر الضوء بواسطة البلورة عند المسنين على المحرق والحزمة ويتطلب زيادة قوة الإطلاق.

ليزر He-Ne

ليزر الهيليوم - نيون (He-Ne): عبارة عن ليزر غازي ضعيف القوة يستعمل إصداره الأحمر المرئي (ن.م ٦٣٢,٨) كحزمة موجهة للليزر ذو الإصدار غير المرئي (مثال: diode, Nd-YAG).

الليزر ذو الصمام الثنائي Diode laser

يصدر الليزر ذو الصمام الثنائي ضوءاً تحت أحمر ذا طول موجة ٨١٠ ن.م بأسلوب الموجة المتواصلة. يتم توليد طاقة الليزر بواسطة رقاقة ذات صمام ثنائي نصف ناقل. هذا الليزر فعال ولا يولد حرارة مفرطة وهو قابل للحمل باليد. يمتص ضوء الليزر ذو الصمام الثنائي في العين من قبل الميلائين فقط وبالتالي فإن استعماله الأكثر شيوعاً هو التخثير الضوئي للشبكية.

يضمن نقص تبعثر طول الموجة هذه بنفوذية جيدة للأوساط العينية والشبكية المتوذمة. كما أن طول الموجة ٨١٠ ن.م ينفذ عبر الصلبة بذلك يمكن إجراء التخثير الضوئي حتى لو كانت الشبكية غير واضحة بسبب صغر قطر الحدقة وذلك بوضع مسبار التوصيل على سطح العين.

تسمح شفافية الصلبة لليزر الصمام الثنائي أيضاً بالتخريب الضوئي للجسم الهديبي في المراحل النهائية للزرق. يتعزز التخثير الضوئي للتراكيب الوعائية بوساطة ليزر الصمام الثنائي (مثال: الأغشية الوعائية الحديثة، الأورام) بالحقن الوريدي لصبغ أخضر الإندوسيانين ذو ذرورة امتصاص ٨٠٠-٨١٠ ن.م) يستعمل ليزر الصمام الثنائي أيضاً في التنظير لإجراء المفارقة الدمعية الأنفية (DCR).

Nd-YAG Laser

يصدر Nd-YAG Laser neodymium-yttrium-aluminum garnet) أشعة تحت حمراء ذات طول موجة ١٠٦٤ ن.م. إنه ليزر قوي ذو موجة متواصلة ويعمل بالتحويل Q- عادةً عند استعماله لمعالجة العين. يستعمل بشكل شائع لتمزيق المحفظة الخلفية للبلورة بعد جراحة الساد أو لخزاع القرنية في الزرق مغلق الزاوية. تصدر طاقة الليزر عن جزئيات النيوديميوم المعلقة في بلورات الـ YAG الصافية لتحقيق تركيز عالي من شوارد Nd أكثر مما هو ممكن في وسط الليزر الغازي. الموجة ذات الطول ١٠٦٤ ن.م غير مرئية وتتطلب حزمة موجهة من ليزر He-Ne الأحمر. يجب أن يتأكد الطبيب أن حزمة الليزر والحزمة الموجهة متوجّهتان إلى نفس النقطة قبل بدء الاستعمال على العين.

ليزر Nd-YAG مضاعف التردد

يصدر ليزر Nd-YAG مضاعف التردد إشعاعاً بطول موجة ٥٣٢ ن.م. يتحقق ذلك بتمرير الإشعاع ١٠٦٤ ن.م الصادر عن بلورات YAG من خلال بلورات فوسفات تيتينيل البوتاسيوم (KTP)، مما يسمح بتحول جزء من الطاقة إلى إشعاع ٥٣٢ ن.م يمكن ضخ بلورات YAG بوساطة ضوء

قوسي أو بوساطة الليزر ذي الصمام الثنائي. تأثير التخثير الضوئي بهذا النوع مشابه لذلك الخاص بالأرغون ليزر الأخضر ذي الموجة المتواصلة.

الإكسايمر ليزر The excimer laser

يشترك الإكسايمر ليزر تسميته من عبارة excited dimer (الثنائي المثار) وهو عبارة عن ذرتين تشكلان جزئياً في الحالة المثارة لكنهما تفترقان في الحالة القاعدية. يستخدم في الإكسايمر ليزر في الاستعمال السريري وسط ثنائي أرغون-فلورين (Ar-F) لإصدار أشعة فوق بنفسجية بطول موجة ١٩٣ نانومتر. يحد الامتصاص العالي للأشعة فوق البنفسجية من قبل القرنية من نفوذيتها. يحوي كل فوتون على 6.4 eV قادرة على تحطيم الروابط بين الجزيئات. يسبب تحرير مستوى عال نسبياً من الطاقة إلى حجم صغير من الأنسجة إزالة الأنسجة (أي: تسحيج أو كشط)، يمكن تحديد عمق التسحيج بدقة. بالرغم من ارتفاع الحرارة بشكل كبير في الحجم الدقيق للأنسجة المعالجة، فإن كمية الحرارة الصادرة صغيرة جداً ولا يحدث ارتفاع عام في حرارة الأنسجة المجاورة. بالتالي فإن الإكسايمر ليزر يعد مثالياً لخزعة القرنية الإنكساري الضوئي (PRK) و (LASIK) الذي يجري لتعديل شكل سطح القرنية، وكذلك لخزعة القرنية العلاجي الضوئي (PTK) الذي يجري لإزالة النسيج القرني السطحي الشاذ.

الإربيوم: ياغ ليزر The erbium

يحرر الإربيوم: ياغ ليزر أشعة تحت حمراء بطول موجة ٢٩٤٠ نانومتر. تمتص من قبل الماء وتخترق الأنسجة لأقل من ١ ميكرون. يؤدي امتصاص الطاقة من قبل حجم صغير جداً من الأنسجة إلى تبخر شديد في الأنسجة،

وتكون التأثيرات الحرارية محصورة بالـ ٥-١٥ ميكرون المحيطة. يستعمل هذا الليزر تجريبياً لاستحلاب البلورة في جراحة الساد.

ليزر ثاني أو أكسيد الكربون The carbon dioxide laser

يصدر ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO2) أشعة تحت حمراء متوسطة طول الموجة ٠.٦٠٠ ان.م تمتص بشكل كبير من قبل الماء وبالتالي من قبل معظم الأنسجة.

إن التأثيرات الوحيدة هي حرارية. يؤدي انتشار الحرارة من الهدف إلى تخثير الأنسجة المجاورة ويؤدي تبخر الماء إلى توليد البخار. يستعمل هذا الليزر في فروع الجراحة الأخرى لإجراء جروح غير نازفة لكن ليس له استعمال بعد في طب العيون.

البصريات متحدة المحارق confocal optics:

عندما يركز نظام التصوير ونظام الإنارة على نفس النقطة الصغيرة يقال عنهما بأنهما متحدا المحارق. يزداد تباين وتمايز الخيال بالإقلال من كمية الضوء المتبعثر باستعمال منطقة صغيرة جداً من الإنارة وساحة الرؤية. يتحقق ذلك باستعمال مصدر ليزري للإنارة وبالنظر من خلال ثقب أو شق ضيق. تزداد ساحة الرؤية الكلية بعدئذ بالمسح عبر المنطقة المفحوصة.

التنظير المجهرى متحد المحارق confocal microscopy

يستعمل مبدأ البصريات متحدة المحارق في التنظير المجهرى بالمسح الليزري وهو وسيلة للنظر في التفاصيل المجهرية ذات الأعماق المختلفة في القرنية الحية.

تنظير قعر العين بالمسح الليزري متحد المحارق:

يستعمل منظار قعر العين بالمسح الليزري متحد المحارق (cslo) البصريّات متحدة المحارق لتصوير رأس العصب البصري والشبكية. تم استعمال مصادر ليزرية مختلفة: الأرجون الأزرق (٤٨٨ ن.م)، الأرجون الأخضر (٥١٤ ن.م)، HeNe الأحمر (٦٣٣ ن.م)، والصمام الثنائي تحت الأحمر (٧٨٠ ن.م). يستعمل cslo أيضاً في تصوير الأوعية والساحة البصرية الصغرى بالفلورسئين وأخضر الاندوسيانين.

قياس الاستقطاب بالمسح الليزري:

هو تقنية لقياس ثخانة ألياف العصب البصري في الشبكية (RNFL) عن طريق استغلال خاصية الانكسار المضاعف فيها. يسقط cslo بقعة من الضوء الليزري المستقطب (٧٨٠ ن.م) على الشبكة لتمر من خلال RNFL إلى الطبقات الشبكية الأعمق حيث تنعكس من هناك جزئياً نحو الخلف عبر RNFL لتغادر العين. تسلك RNFL سلوك وسط كاسر مضاعف لأن المحاور الاسطوانية مرتبة بشكل متوازٍ وتغير حالة استقطاب الضوء المار من خلالها.

يدعى حجم التغير في الاستقطاب بالتأخير retradation ويتناسب مع ثخانة RNFL. يستعمل هذه المعلومات لتقييم أذية RNFL الناتجة عن الزرق.

التصوير المقطعي بالمسح الليزري متحد المحارق:

تستخدم هذه التقنية cslo (صمام ثنائي ٦٧٠ ن.م) لرسم خريطة طبوغرافية لرأس العصب البصري. يتم فقط تصوير الضوء المنعكس من سطح الشبكية الواقعة في المستوى المحرق لحزمة الليزر الماسحة. يتشكل

كل خيال بوساطة رقعة من مربعات صغيرة تدعى pixels. يقع أول ٣٢ خيال في مستوي مواز لسطح الشبكية إلى الأمام مباشرة من الأوعية الدموية عندما تتنبثق من القرص البصري. يتم الحصول على الأخيلا اللاحقة بسحب المستوي المحرقى للخلف نحو الصفيحة المصفوية. يتم اختيار مستوي كمستوي إشارة ويتم حساب ارتفاع كل من الـ pixel المذكورة أعلاه. يحوّل الحاسوب هذه المعلومات إلى بناء ثلاثي الأبعاد يمكن استعماله لتقييم أذية القرص في الزرق.

قياس التداخل الليزري Laser interferometry

تسقط مقاييس التداخل ضوءاً ليزرياً (عادة He-Ne) من مصدرين على الشبكية يحدث التداخل عندما تتقابل الحزمتان ويشاهد على شكل خطوط متشابكة متموجة. يحدث هذا التأثير بالرغم من وجود ساد أو سوء انكسار. يؤدي إنقاص الفصل بين المصدرين الضوئيين إلى إنقاص التواتر الفضائي لهذه الخطوط المتشابكة المتموجة ويسمح بتقدير حدة البصر الكامنة للعين عند عدم إمكانية رؤية اللوحة بسبب الساد.

قياس الساحة البصرية الصغيرة بالليزر Laser microperimetry

تستخدم هذه التقنية حزمة ليزرية لتحديد الحساسية الضوئية في أجزاء صغيرة جداً من الشبكية ولكشف العتبات الصغيرة.

قياس الجريان بالدوبلر الليزري Laser Doppler flowmetry

هو وسيلة لقياس الجريان الدموي في الأوعية الشعرية الشبكية. يعتمد على مبدأ الدوبلر. ينعكس الضوء الليزري الوارد على خلايا دموية متحركة بتواتر مختلف عن تواتر الحزمة الواردة. يدل الإنزياح الأكبر في التواتر على سرعة جريان دموي أكبر.

الهولميوم ليزر The Holmium Laser

استعمل الهولميوم ليزر لإجراء المفاغرة الصلبة لزيادة جريان الخلط المائي في معالجة الزرق، ولإجراء تصنيع القرنية الحراري من أجل تغيير الإنحناء السطحي للقرنية.

Nd: YLF Laser

يصدر ليزر (neodymium-yttrium-lithium- fluoride) Nd:YLF طول موجة ١٠٥٣ نان.م، بمدة نبضة ١ بيكو ثانية (١٠^{-١٢} ثانية) ويمكن تحريره بمعدل تكرار عالٍ جداً. يمكن استعماله تجريبياً لتسليخ الأنسجة وليس تمزيقها، وقد استعمل لإجراء مفاغرة الصلبة، تسليخ أغشية الزجاجي، وتغيير أسواء الانكسار عن طريق التسحيج داخل لحمة القرنية.

سلامة الليزر

تعد العين مؤهبة بشدة للتأثيرات المؤذية للإشعاع البصري أكثر من باقي مناطق الجسم لأن خصائصها البصرية تجمع الحزمة على الشبكية، مما يزيد في التشعيع بمقدار قد يصل إلى ١٠. بالتالي فإن الليزر يصنف وفقاً لاحتمال أذيته للعين (جدول ١٥-١). كل أنواع الليزر الجراحية، بما فيها تلك المستعملة في طب العيون، قادرة على أذية العين وتصنيف ٣ ب أو ٤. الأمر الأساسي هو أن ينحصر تأثير الليزر بتأثيره العلاجي المرغوب دون أن يسبب أذية عرضية للمريض أو الجراح أو الأشخاص الآخرين الموجودين في قاعة العلاج. من أجل التخفيف قدر الإمكان من الآثار السلبية يجب اللجوء لبعض إجراءات السلامة. تقدم الحماية للجراح عند وجود خطر عليه من ضوء الليزر المنعكس بإدخال مصاريع أو مراشح داخل الجهاز تعمل عند إطلاق الليزر.

تمتص المراشح ضوء الليزر لكنها تمرر ضوءاً كافياً من الأطوال الموجية الأخرى للسماح بمراقبة تأثير الليزر على العضو الهدف. يجب أن تكون منطقة الليزر خالية من أي طاقم، لكن عند الحاجة لتواجد بعض الأشخاص، يجب أن يرتدوا نظارات حماية.

الجدول ١٥-١: التصنيف الدولي لسلامة الليزر.

التصنيف	النتاج (mw)	السلامة
١	$\geq 0,0004$	أمن للعين
	$\geq 0,024$	أمن للعين
٢	> 1	أمن للعين يسبب السطوع رفيفاً وخوفاً من الضياء
٣ أ	١ - ٥	أمن للعين يسبب السطوع رفيفاً وخوفاً من الضياء
٣ ب	٥ - ٥٠٠	أذية عينية هامة. مثال التخثير الضوئي للشبكية
٤	≤ 500	أذية خطيرة غير عكوسة، مثال الطبي، الصناعي، العسكري.

الفصل السادس عشر

الانكسار السريري العملي

مقدمة

يجب على الممارس أن يكون قادراً على مقارنة انكسار المريض بوعي تام لمبادئ العمل الذي يقوم به طالما أنه استوعب النظريات البصرية التي أوردت في الفصول السابقة. لكن هل هذا كافٍ؟. يدرك أخصائيو الانكسار الخبراء أن وصف العدسات فن بالإضافة لكونه علماً. توجد بعض الأفكار السريرية المحددة التي استخدمت على مر السنين، وإن احترام هذه الأفكار هو الذي يصنع الفارق بين الانكساري العادي والحيد. سنورد بعض الأفكار في الأقسام التالية أثناء حديثنا عن الانكسار العملي، وسنؤثر على هذه الأفكار عند ورودها .

القصة:

يجب التأكيد على عمر المريض ومكان إقامته واحتياجاته البصرية الخاصة. مثال: عمله وهواياته. ويجب الاستقصاء عن وجود أعراض بصرية، أمراض متعلقة بالعين، القصة العائلية لأمراض عينية ولا سيما الزرق. إن قصة ارتداء نظارات سابقة من قبل المريض بالغة الأهمية، ومن الحكمة معرفة الوصفة القديمة إذا أمكن ذلك، وكذلك التحقق من مطابقة النظارات التي يرتديها للوصفة السابقة.

لاحظ شكل العدسات في النظارات السابقة. لا يتحمل الحسيرون على وجه الخصوص التغير في شكل العدسات، ويفضل بعضهم مواصلة ارتداء العدسات المستوية - المقعرة التي تعرف باسم "المسطحة" حتى ولو لم يكن

ذلك الخيار الأفضل لهم. لا حظ نمط العدسات متعددة المحارق المستعملة وفيما إذا كان المريض سعيداً بهم أم لا.

الفحص:

تقاس حدة البصر لكل عين على حدة، للبعد والقرب، من دون نظارات ثم مع النظارات التي يرتديها حالياً.

قم بتشويش العين الثانية للمريض المصاب بالرأفة بواسطة عدسة موجبة قوية لأن التغطية الكاملة تجعل الرأفة أشد وتتنقص من الرؤية في العين المفحوصة.

إذا كانت حدة البصر متدنية جداً، قم بفحص بسيط لقعر العين بالمنظار المباشر لنفي أي آفة مرضية مسببة لنقص الرؤية.

يجب تأجيل الفحص الدقيق والمفصل لقعر العين إلى ما بعد إجراء الانكسار لتجنب نقص حدة البصر المحدث بالضوء الشديد.

الانكسار الموضوعي Objective refraction

قم بإجراء اختبار التغطية /إزالة التغطية cover /uncover لاكتشاف أي حَوَل. إذا كان لدى المريض حَوَلٌ ظاهري من دون شفيع تكون الرؤية المشتركة مفقودة ومن غير الممكن اختبار التوازن العضلي بقضيب وجناح مادوكس اللذان يعتمدان على وجود الرؤية المشتركة.

ضع إطار التجربة، مع الحرص بأن تكون الفتحات العدسية متمركزة أمام الحدقتين مع كون المريض يحرق بشكل مستقيم نحو الأمام يجب أن يكون الإطار أفقياً على الوجه وقريباً من العين بقدر ما تسمح الأهداب. تذكر دائماً أن تضع عدسات التجربة القوية في الحجرة الخلفية من إطار التجربة.

قم بإجراء تنظير الشبكية مع كون المريض محدقاً على جسم بعيد مثل الأحرف العلوية في نموذج الاختبار. من المهم إجراء تنظير الشبكية

قريباً من المحور البصري للمريض قدر الإمكان من أجل قياس الطول المحرقى الحقيقي للعين. يجب توخي الحذر بعدم اعتراض نظر المريض نحو الجسم البعيد الذي يثبت عليه. من أجل ذلك يجب على الفاحص استعمال عينه اليمنى لفحص العين اليمنى للمريض، وعينه اليسرى لفحص العين اليسرى للمريض. إذا اعترض الفاحص نظر المريض فإنه يفقد التثبيت وقد يبدأ بالمطابقة.

(يمكن التأكد فيما إذا كان المريض مثبتاً على الفاحص ويستعمل مطابقته برؤية الحدقتين حيث تصبحان مقبضتين ويصبح من الصعب رؤية منعكس تنظير الشبكية).

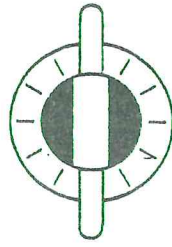
من الأفضل تشويش العين الثانية للمريض بدلاً من تغطيتها أثناء تنظير الشبكية من أجل تشجيع إرخاء المطابقة. أما في حال وجود حَوْلٍ ظاهري فيجب إغلاق العين المسيطرة للمريض لتحقيق تثبيت ثابت بالعين غير المسيطرة.

يجب شل العضلة الهدبية باستعمال شال موضعي للمطابقة قبل إجراء تنظير الشبكية للأطفال الصغار، أو للأطفال الذين لديهم حول خفي أو ظاهري. يسمح ذلك بتحديد القيمة الحقيقية لأي سوء انكسار.

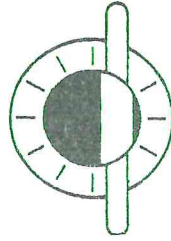
يضع بعض الانكساريين عدسة موجبة ذات قوة كسيرية مكافئة لمسافة العمل (مثال +1,5 كسيرة من أجل مسافة عمل 3/2م)، في إطار التجربة قبل إجراء تنظير الشبكية تزال العدسة بعد الوصول إلى نقطة العكس أو نقطة التعديل في العينين ويبدأ الانكسار الشخصي بالعدسات المتبقية في الإطار.

تضاف عدسات كروية بعد مراقبة منعكس تنظير الشبكية من خلال عدسة مسافة العمل، وتكون العدسات موجبة إذا كانت الحركة موافقة وسالبة

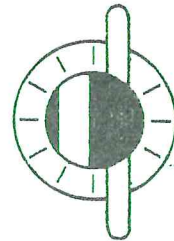
إذا كانت الحركة معاكسة (شكل ١٦-أ-ج)، حتى الوصول إلى نقطة التعديل في أحد المحورين (شكل ١٦-د). يمكن استعمال العدسات الاسطوانية عندئذ لتعديل المحور الآخر وإيجاد محور الحرج الموجود.



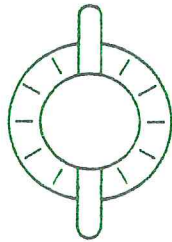
أ



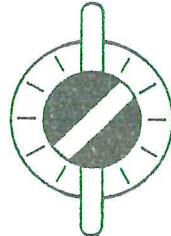
ب- حركة موافقة



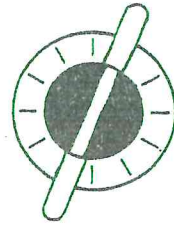
ج- حركة معاكسة



د- نقطة الانعكاس
(نقطة التبادل)



هـ- خط تنظير الشبكية
لا تنطبق على المحور



و- محور الحرج

شكل ١٦-١: منعكسات تنظير الشبكية.

يمكن إيجاد المحور لأن منعكس تنظير الشبكية لا يتوازي إلا مع محور العدسة الاسطوانية (أو خط تنظير الشبكية إذا ما استعمل منظار الشبكية الخطي) عندما يتوضعان في محور الحرج. إذا لم ينطبق محور العدسة الاسطوانية على محور الحرج فإن المنعكس يتحرك بشكل مائل (شكل ١٦-هـ). تصبح زاوية افتراق المنعكس عن محور الحرج الحقيقي ستة أضعاف زاوية افتراق محور العدسة الاسطوانية عنه عند الاقتراب من نقطة التعديل. بالتالي يجب تحريك العدسة الاسطوانية بمقادير صغيرة عند تلك النقطة قبل إعادة التحقق من تنظير الشبكية، تقدم هذه الطريقة تحديداً

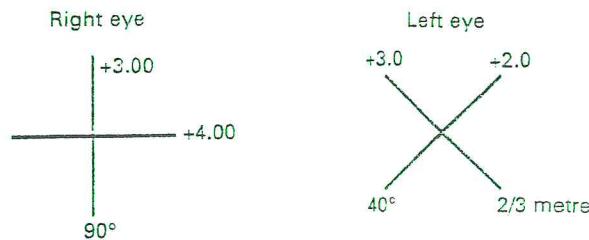
موضوعياً دقيقاً لمحور الحرج. يمكن استعمال نفس الطريقة لتحديد محور الحرج عند استعمال عدسات كروية فقط في تنظير الشبكية. مثال: عند إجراء تنظير الشبكية لطفل بعد شل المطابقة حيث يكون الأسهل إمساك العدسات باليد بدلاً من وضعها في إطار التجربة. لا يتوازي المنعكس ضمن الحدقة مع الخط الضوئي إلا عندما يتوضعان في محور الحرج الرئيسي (شكل ١٦-١٠هـ).

من الأفضل استعمال الاسطوانات السالبة في تنظير الشبكية لأن استعمال الاسطوانات الموجبة، ولا سيما عند المديدين صغار السن، قد يحرض المطابقة لأن العين لا تتشوش في المحورين إلا عند استعمال الاسطوانة الموجبة الكاملة. لكن إذا استعملت الاسطوانة السالبة بشكل دائم يحدث ميل نحو التصحيح المفرط لمد البصر عند المسنين وعند إجراء الانكسار بعد شل المطابقة. ذلك لأن معظم المرضى لا يقبلون الاسطوانة الكاملة الموجودة في تنظير الشبكية. على فرض أن إطار التجربة احتوى في نهاية تنظير الشبكية وبعد تصحيح مسافة العمل على العدسة $-1.00\text{DC}, +4.00\text{DS}$. ولدى الانكسار الشخصي تحمل المريض -1.00DC فقط بالتالي فإن الإطار يحوي الآن فقط $-1.00\text{DC}, +4.00\text{DC}$. المحور ذو القيمة الدنيا، عند استعمال هاتين العدستين، مصحح بشكل زائد بمقدار $+0.50\text{DC}$ ، ويجب أن يقوم الفاحص بتعديل القيمة الكروية لتصبح $+3.50\text{DC}$ أما إذا كانت العدسة المستخدمة في تنظير الشبكية $+2.50\text{DC}$ و $+1.50\text{DC}$ ، وبعد إنقاص الاسطوانة إلى $+1.00\text{DC}$ فإن المحور ذو القيمة العلوية قد تم تصحيحه بشكل أقل وبذلك يتم تحمله بشكل أفضل، ولا حاجة لتعديل القيمة الكروية.

بالتالي فإن بعض الانكساريين يفضلون استعمال الاسطوانات الموجبة مع العدسات الكروية الموجبة والاسطوانات السالبة مع العدسات الكروية السالبة.

بذلك يجري تنظير الشبكية بالعدسات الكروية لتصحيح المحور ذي القيمة الأقل ثم بالعدسات الاسطوانية من نفس الإشارة لتصحيح المحور ذي القيمة الأعلى. الاستثناء لذلك هو عندما يتحرك المنعكسان في البداية (قبل التصحيح) باتجاهين متعاكسين في المحورين أي واحد موافق والآخر معاكس. في هذه الحالة تضاف العدسات الكروية حتى يتم تعديل أحد المحورين، ثم عدسات اسطوانية أقوى وذات إشارة معاكسة حتى يتم تعديل المحور الآخر.

من الحكمة استعمال عدسات كروية سالبة وعدسات اسطوانية موجبة في هذه الحالة، لأنه من السهل إيجاد محور الحرج باستعمال الحركة الموافقة التي تشاهد عند إضافة الاسطوانات الموجبة من الحركة المعاكسة التي تشاهد عند إضافة العدسات الكروية الموجبة والاسطوانية السالبة. تسجل موجودات تنظير الشبكية عادةً وفقاً للاصطلاح التالي (شكل ١٦-٢).



شكل ١٦-٢: تسجيل موجودات تنظير الشبكية.

يرسم صليب باتجاهي المحورين الرئيسيين، وتسجل زاوية أحد المحورين .

تسجل القيمة الكسيرية لنقطة التعديل على كل من المحورين وكذلك مسافة العمل.

إذا تم تحويل هذه النتيجة إلى وصفة عدسات (بعد تصحيح مسافة العمل) فإن محور أي اسطوانة يشكل زاوية ٩٠ مع هذا المحور. على سبيل المثال: وصفة العين اليسرى في الشكل (١٦-٢) على الشكل الآتي :

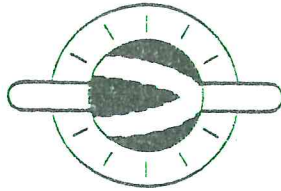
$$\frac{+0.50DS}{+1.00DCaxis40^{\circ}} \text{ أو } \frac{+1.50DS}{-1.00DCaxis130^{\circ}}$$

لا يكون تنظير الشبكية سهلاً في الممارسة دائماً .

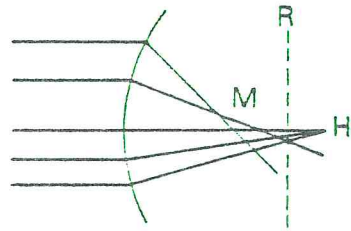
قد يكون المنعكس البدئي في حالات سوء الانكسار العالي باهتاً جداً ومنتشراً بحيث لا يمكن تحديده. يجب إعادة تنظير الشبكية باستعمال عدسة محدبة معتدلة القوة ثم مقعرة. مثال :+ أو -٧,٠٠ كسيرية كروية، فأحدي هاتين العدستين ستجعل المنعكس مرئياً على فرض أن الأوساط شفافة. كحل بديل، يسمح تنظير قعر العين باستعمال المنظار المباشر بالتمييز بين الحسر العالي والمد العالي.

إذا اختلف الانكسار بين الجزء المركزي والمحيطي من الحدقة فقد يكون هناك زيادة في السطوع في المركز أو المحيط بسبب الزوغان الكروي. على سبيل المثال: تكون المنطقة المركزية في تصلب النواة حسيرة نسبياً مقارنة مع المحيط، ويظهر مركز الحدقة ساطعاً. للوصول إلى نقطة النهاية التي قد لا تكون واضحة، قم بالتركيز على المنطقة المركزية التي يتوضع فيها المحور البصري.

من الصعب في بعض الأحيان التحديد فيما إذا كانت حركة المنعكس موافقة أو معاكسة بسبب منعكسين في الحدة يتحركان باتجاه بعضهما ثم بعيداً عن بعضهما مثل حركة المقص (شكل ١٦-٣أ). ينجم ذلك عن الاختلاف في الانكسار بين المناطق المختلفة من النقب الحديقي. تشاهد بشكل أشيع في الحدقات الموسعة وقرب نهاية تنظير الشبكية حيث تكون إحدى المناطق حسيرة نسبياً والأخرى مديدة نسبياً (شكل ١٦-٣ب). تعتبر نقطة النهاية تقليدياً عندما يلتقي المنعكسان في مركز الحدة، لكن قد يكون من الصعب الحكم على ذلك. بحسب خبرتنا، يكون أحد المنعكسين أكثر سطوعاً من الآخر وتعتبر نقطة التعديل عند انعكاس السطوع بينهما.



أ -



ب -

شكل ١٦-٣: تنظير الشبكية

أ- حركة المقص ب- مخطط بصري لإظهار سبب حركة المقص.

قد يكون تنظير الشبكية صعباً جداً في القرنية المخروطية، حيث يشاهد منعكس دوامي مميز ويكون المنعكس في ذروة المخروط أكثر قتامة من المحيط (علامة قطرة الزيت). قد يكون من المستحيل اكتشاف نقطة النهاية، وعندها يجب اللجوء للفحص الشخصي.

الانكسار الشخصي:

قم بتصحيح مسافة العمل (أضف - ١,٥ كسيرة من أجل مسافة عمل ٣/٢م)، وقد يكون من المفيد إنقاص ربع القيمة الاسطوانية تقريباً قبل بدء الانكسار الشخصي لأن المريض لا يتحمل عادة كامل التصحيح الاسطواني. قم بتغطية إحدى العينين (مالم تكن الرؤية موجودة حيث تستعمل تقنية التشويش عندئذ). قم بتعديل القيمة الكروية بحذف أو إضافة عدسات صغيرة القيمة حتى يعجز أي تغيير عن إحداث تحسن في نموذج الرؤية البعيدة. يستطيع المرضى ذوو حدة البصر الجيدة تقدير الفرق البالغ ٠,٢٥ كسيرة أما ذوو حدة البصر الضعيفة فيحتاجون لتغيير أكبر مثال ٠,٥ كسيرة. ثم قم بضبط محور الحرج قبل ضبط قوته. إذا وجد فرق كبير في قوة أو محور الاسطوانة فمن الحكمة التحقق من جديد من القوة الكروية. إذا كان المريض حسيراً يجب إجراء الاختبار ثنائي الألوان بعين واحدة ثم بالعينين. إذا كانت الأحرف الحمراء أكثر وضوحاً من الأحرف الخضراء هامشياً فقط عندما ينظر المريض بعين واحدة، فإن الأحرف الخضراء تصبح أكثر وضوحاً عندما ينظر المريض بالعينين. قد يلزم الأمر إنقاصاً خفيفاً لقوة العدسة في عين واحدة أو كليهما لجعل الأحرف الحمراء تبدو أكثر وضوحاً بالعينين مع التأكد بأن المريض مرتاح ولا يستعمل مطابفته أثناء ارتداء النظارة.

قم بتسجيل الوصفة مع حدة البصر بكل عين على حدة ثم بالعينين سوياً. تذكر أن تقيس وتسجل البعد القمي الخلفي (BVD) إذا تجاوزت قوة الكروية ٥ كسيرات. يجب أن توضع هذه العدسة في الحجرة الخلفية لإطار التجربة، ويقاس الـ BVD تقليدياً بواسطة مسطرة توضع بجانب ذراع الإطار مع النظر إلى المريض جانبياً.

استعمل قضيب مادوكس للتحقق من التوازن العضلي للبعد.

يكون بعض المرضى غير قادرين في البداية على رؤية البقعة الضوئية البيضاء والخط الأحمر، ولا سيما عند وجود إنارة جانبية مشوشة في الغرفة. قم بتغطية إحدى العينين بالتناوب للتأكد من أن البقعة والخط مرئيان للعين الواحدة، ثم رافع الغطاء وتحقق فيما إذا كان المريض قادراً على رؤيتهما بوقت واحد. إذا رآهما المريض مرة واحدة بعين واحدة ولم يستطع رؤيتهما بوقت واحد عندما كانت العينان مكشوفتين فإن رؤيته المشتركة ناقصة أو غائبة.

في الحالات التي يظهر فيها قضيب مادوكس عدم توازن هام في عضلات العين الخارجية، ولا سيما الشاقولية، يجب التحقق فيما إذا أدت إضافة الموشور الملائم إلى تحسين حدة بصر المريض وارتياحه بالنظر المشترك بالعينين.

نادراً ما توجد حاجة لاستخدام كامل قوة الموشور التي اكتشفت باختبار قضيب مادوكس. إذا كان المريض مصاباً بقصو البصر، يجب حساب قيمة الإضافة القريبة وإضافتها إلى عدسات البعد في إطار التجربة. تقدر قيمة الإضافة القريبة في الممارسة تقريبياً وفقاً لعمر المريض:

$$٥٠-٤٥ = \text{إضافة } ١,٠٠ \text{ كسيرة}$$

$$٥٥-٥٠ = \text{إضافة } ١,٥٠ \text{ كسيرة}$$

$$٥٥-٦٠ = \text{إضافة } ٢,٠٠ \text{ كسيرة}$$

$$\text{أكثر من } ٦٠ \text{ سنة} = \text{إضافة } ٢,٥٠ \text{ كسيرة}$$

توخى الحذر وصف عدسات قوية جداً للقرب

السبب الأشيع لمراجعة المريض من أجل إعادة الفحص هو وصف عدسات قرب قوية جداً. يجب عدم إعطاء إضافة تفوق $٢,٥٠$ كسيرة للقرب

في الظروف العادية، لكن المرضى ذوي البلورة الكاذبة يفضلون الإضافة + ٣,٠٠ كسيرة عادةً.

استعمل جناح مادوكس للتحقق من التوازن العضلي للقرب. يدل وجود سواء بصر للبعد مع شطور وحشي كبير للقرب على عدم كفاية التقارب. قد يسبب ذلك أعراضاً مثل صداع أو إجهاد عيني بعد العمل القريب، أو قد يكون لا عرضياً. إذا شك المريض من أعراض، يجب تقوية التقارب باستعمال تمارين التقارب.

إذا تم وصف مواشير قاعدتها للداخل فإن التقارب سيصبح أضعف، وسيستلزم إضافة مواشير ذات قوة مترقية.

قد يتطلب عدم التوازن العضلي الشاقولي للقرب تصحيحاً موشورياً، ولكن هنا أيضاً نادراً ما يلزم وصف كامل قيمة الموشور.

قياس المسافة بين الحدقتين

من المفيد في بعض الأحيان قياس المسافة بين الحدقتين، بالرغم من أن ذلك يجري عادة من قبل أخصائي البصريات المصنع للعدسات. إن قياس المسافة بين الحدقتين هام لدى الرضع والأطفال الصغار، ولا سيما عند وصف عدسات قوية لأن عدم التمرکز الناتج عن الإطار غير المناسب يؤدي لتأثير موشوري غير مرغوب.

يؤدي سوء تمرکز عدسات النظارات في حالات اللا بلورة أيضاً لتأثير موشوري غير مرغوب، وهذا سبب شائع لعدم تحمل نظارات اللا بلورة.

يمكن قياس المسافة التشريحية بين الحدقتين بالطرق التالية: توضع مسطرة ميليمترية فوق جذر أنف المريض ويطلب من المريض النظر نحو العين اليسرى للفاحص، يوضع صفر المسطرة موازياً للأنسي للعين

اليمنى للمريض. ثم يطلب من المريض النظر نحو العين اليمنى للفاحص ويلاحظ موقع اللم الصدغي للعين اليسرى للمريض نسبة للمسطرة، حيث يعطي المسافة التشريحية بين الحدقتين. (تجري القياسات من اللم إلى اللم لتجنب عدم الدقة الناتج عن الاختلاف أو التبدل في الحجم الحدقي).

يمكن -كطريقة بديلة - وضع ضوء تثبيت إلى الإمام من كل من عيني الفاحص بالتناوب وتتبع طريقة مشابهة، حيث يقاس البعد بين المنعكسين الضوئيين القرنيين في عيني المريض.

القياس المهم في صنع النظارات هو المسافة بين المحورين البصريين للرؤية البعيدة التي تكون أقل بـ ١ مم تقريباً من المسافة التشريحية بين الحدقتين.

توجيهات مفيدة لتجنب عدم التحمل

- لا تغير محور الاسطوانة، خاصة عند الحسирين، ما لم توجد أسباب قاهرة لإجراء ذلك.

- لا تغير شكل العدسة التي يرتديها الحسير.

- لا تصف اسطوانة كبيرة لأي مريض لم يسبق له ارتداء تصحيح اسطواني من قبل. قم بوصفها بالتدرج. الاستثناء لذلك هو لدى مرضى البلورة الكاذبة الذين يتحملون كامل التصحيح الاسطواني بشكل جيد.

- لا تصحح المرضى المديدين بشكل مفرط. من الأفضل إبقاءهم مديدين بمقدار ٠,٢٥ كسيرة للسماح لهم بقراءة أرقام الباص من على مسافة بعيدة.

- لا تصحح المرضى الحسيرين بشكل كامل. من الأفضل إبقاءهم حسيرين بمقدار ٠,٢٥ كسيرة لئلا يستعملوا مطابقتهم للبعد.

- لا تعط إضافة قوية جداً للقرب، لأنه بذلك لا يستطيع المريض قراءة الصحيفة على طول ذراعيه.

- لا توص بالعدسات ثنائية المحرق أو المتدرجة من دون أخذ احتياجات المريض بعين الاعتبار، وكذلك مهنته ومواطن الضعف لديه في الرؤية.
- ناقش النقاط الشخصية والعملية المتعلقة بالوصفة الجديدة مع المريض.
مثال: على مرتدي العدسات ثنائية المحرق الجدد أن يحذروا عند صعود السلالم.

- لا تعدل وصفة مرضية للمريض ما لم يكن هناك سبب واضح جداً لذلك.
- لا تتصح المرضى بشراء نظارات جديدة من أجل التبدلات الطفيفة في الوصفة والتي لا يستطيعون تمييزها شخصياً.

ملاحظات حول تدبير أسوء الانكسار لدى الأطفال

قد يكون إجراء الانكسار للأطفال وتدبير أسوء الانكسار لديهم الجزء الأكثر أهمية وقيمة في عمل الانكساري. تتعلق المناقشة التالية بالتدبير لدى المجموعة العمرية المؤهلة أكثر من غيرها لتطور الحول والغشش. مثال: من الولادة حتى عمر ٨ سنوات تقريباً.

كما هو مذكور أعلاه، فإن الانكسار مع شل المطابقة ضروري للحصول على تنظير شبكية دقيق عند الرضع والأطفال. ستكتشف لدى إجراء ذلك، درجة من سوء الانكسار في معظم الحالات، وهنا تفيد المحاكمة لمعرفة هل يتوجب وصف النظارات أم لا. (يأمل الوالدان غالباً ألا يحتاج ابنهما لارتداء نظارة، ويتحمل الأطفال النظارات بشكل أفضل إذا أدركوا أنهم يرون بشكل أفضل باستعمالها).

مد البصر شائع جداً عند الأطفال والرضع، ويتطلب تصحيحاً كاملاً عند وجود شطور أو حول أنسي. من الحكمة أيضاً إعطاء التصحيح عند وجود قصة عائلية للحول الأنسي. تتطلب الدرجات المعتدلة أو العالية من مد البصر تصحيحاً لتحقيق حدة بصرية جيدة، كما يجب تصحيح تفاوت سوء

الانكسار المدي الذي يتجاوز كسيرة واحدة للوقاية من الغطش الانكساري في العين الأكثر مداً.

يسيطر الطفل المديد غير المصحح على جزء من مد البصر لديه أو عليه كله ببذل جهد تطابقي أكثر. قد لا تسترخي المطابقة عند استعمال النظارات للمرة الأولى، وعندما تكون الرؤية مشوشة. تسترخي المطابقة عادةً بعد بضعة أيام مع المثابرة على ارتداء النظارة، لكن من الحكمة تنبه الوالدين لذلك عند وصف النظارة. قد تفشل المطابقة بالاسترخاء في بعض الأحيان وعندها قد يكون من الضروري تخفيف الوصفة لبرهة أو استعمال شوط قصير من قطرات شالة للمطابقة.

يجب تصحيح الحسر ذو الشدة الكافية لمنع الطفل من رؤية الكلام المكتوب على السبورة قبل دخول الطفل للمدرسة الرسمية. كذلك يجب تصحيح الحسر عند وجود شطور أو حَوْلٌ وحشي من أجل تحريض المطابقة والتقارب.

من الحكمة الشرح للوالدين بأن النظارات ستصبح أكثر قوة مع نمو الطفل، لأن العين أيضاً تنمو، ويجب ألا يكون هذا الترقى للحسر سبباً للقلق وسيتوقف عند توقف النمو.

يجب تصحيح الحسر العالي حال اكتشافه لأنه يعيق إدراك الطفل لمحيطه وقد يؤخر تطوره في مجالات عديدة. مثال: حركية الطفل، علاقته مع الناس الآخرين، تعرفه على الأشكال والأجسام، وتعلمه لكيفية استعمال يديه إلخ.

تبين الخبرة أنه لا يمكن تحمل التصحيح الكامل للحسر سواء عند الأطفال أو البالغين.

يجب إبقاء هؤلاء المرضى حسيّين بمقدار ١-٢ كسيرة. يسبب الحسر المعتدل أو العالي بعين واحدة غطشاً غالباً، وتجب محاولة تصحيحه. يمكن، وبشكل مثير للدهشة، الحصول على نتائج جيدة بالنظارات إذا ما استعملت باكراً، حتى بالدرجات العالية من تفاوت سوء الانكسار، لأنه يبدو أن الدماغ اليافع قادر على التعامل مع درجات أكبر من تفاوت حجم الخيال من الدماغ البالغ.

قد تنجح العدسات اللاصقة في بعض الأحيان في تصحيح الحسر العالي وحيد الجانب الذي فشلت النظارات بتصحيحه، لكن يجب أخذ عمر الطفل وقابلية تلاؤمه بعين الاعتبار لأن ارتداء العدسات اللاصقة يحمل مشاكل عملية ولا سيما عند الأطفال.

يجب تصحيح الحرج إذا ما تدنت حدة البصر في العين المصابة. توجد درجات عالية من الحرج لدى معظم الولدان وبعض الرضع، لكنها تنقص في العديد من الحالات أو تختفي بعمر ٢,٥ أو ٣ سنوات عندما يصبح أول اختبار دقيق لحدة البصر ممكناً. نادراً ما يحتاج الحرج لوحده للتصحيح لدى الرضع، بينما يجب تصحيح الحرج الذي يفوق كسيرة واحدة والكافي لإحداث تدني في الرؤية عند الأطفال بعمر ٣ سنوات فما فوق. تذكر أن تتحقق مما إذا كان الإطار مناسباً أولاً وإذا كان مسبباً لقرحات مؤلمة أو احتكاك يبرر رفض الطفل لارتدائه.

يجب إخبار الأبوين عن ذلك لأن الذين لا يرتدون النظارات لا يفكرون بهذا الأمر كسبب محتمل لرفضها.

حالما ينتظم الطفل على ارتداء النظارة يجري الانكسار بشكل سنوي. إذا كانت حدة البصر جيدة بالنظارة الحالية وكان الطفل متعاوناً فلا حاجة لإجراء شل المطابقة يجري تنظير الشبكية من خلال النظارة الحالية مع

تنشيت الطفل على هدف بعيد، حيث يظهر ذلك فيما إذا كان هناك تغير في قوة النظارة وتوجد حاجة لتغييرها.

الفصل السابع عشر

الجراحة الانكسارية

Refractive Surgery

مقدمة

يجب أن يكون هدف الجراحة التي تجرى لتصحيح سوء الانكسار خلق الحالة الانكسارية المرغوبة والثابتة بأمان ودون تسبب مشاكل بصرية جديدة. يسعى المرضى وراء الجراحة الانكسارية لأن الطرق الأخرى للتصحيح البصري غير ملائمة أو لا يتحملونها وأنها غير مقبولة بصرياً أو جمالياً. قد يرغب البعض القليل بمواصلة القيام بمهنة معينة أو تسليّة معينة غير ممكنة بسوء الانكسار الموجود لديه حالياً. ليس كل أولئك الذين يرغبون بإجراء الجراحة الانكسارية مناسبين لذلك. قد تكون الطرق الأخرى للتصحيح البصري ملائمة لهم أكثر، أو قد تكون توقعات المريض من الجراحة عالية وغير منطقية، أو قد تكون لدى المريض حالة عينية أو جهازية تتطلب المعالجة في البداية أو تعد مضاد استطباب لإجراء الجراحة الانكسارية. يجب لفت نظر المريض للخيارات البديلة والاختلاطات المحتملة للعملية، وكذلك للنتيجة الانكسارية المتوقع حدوثها بعد الجراحة.

إن النتيجة المفضلة لمعظم المرضى بعد الجراحة الانكسارية هي السداد، أي أن تصبح نقطة المدى في اللانهاية، يتطلب تصحيح حسر البصر إنقاص القوة الكاسرة للعين، بينما يتطلب تصحيح مد البصر زيادتها. توجد طرق عديدة لتعديل الحالة الانكسارية للعين: تعديل القوة الكاسرة لأي من الأوساط العينية، أو عمق البيت الأمامي أو الطول المحرق للعين. تنتج معظم القوة الكاسرة للعين عن سطح الفاصل بين الهواء والقرنية وتوجد طرق عديدة

لتغيير شكل سطح القرنية. البلورة هي ثاني عنصر كاسر في العين من حيث الأهمية، وتسمح جراحة الساد الحديثة بنتيجة انكسارية دقيقة لكن تزيل القدرة على المطابقة. يمكن تصحيح كامل سوء الانكسار الكروي غالباً باستبدال البلورة بعدسة مزروعة داخل العين. تنحصر جراحة القرنية عادةً بتصحيح أسوء الانكسار ضمن المدى +٤,٠٠ حتى -١٠,٠٠ كسيرة. ينجم ذلك عن زيادة احتمال تندب القرنية وعدم القدرة على التنبؤ بالنتائج في حالة أسوء الانكسار الكبيرة.

يتم اتخاذ القرار حول الحصييلة الانكسارية المرغوبة بعد الجراحة بعد المناقشة الحذرة للاحتياجات البصرية للمريض وأخذ حدة البصر الكامن بعين الاعتبار.

ويجب أيضاً أخذ سوء الانكسار في العين الثانية وفيما إذا كان من المحتمل أن تخضع لجراحة انكسارية في المستقبل بعين الاعتبار. كما أن توقيت الجراحة هام أيضاً.

تكون الحصييلة المرغوبة بعد الجراحة هي الساد في معظم الحالات، لكن هؤلاء الذين يرغبون بالاستغناء عن نظارة القرب فقد يرغبون بأن يكون الانكسار لديهم بعد الجراحة - ٢,٥ كسيرة. يهدف بعض الجراحين لإبقاء - ١,٠٠ كسيرة بعد الجراحة للسماح بحدة بصرية معقولة للبعد والقرب. تسمح هذه المقاربة بهامش من الخطأ وتجعل احتمال أن تصبح العين مديدة قليلاً.

يجب أن يؤخذ احتمال إحداث تفاوت في سوء الانكسار بعين الاعتبار عند المرضى الذين لديهم حدة بصرية مصححة جيدة في كلتا العينين. من غير المحتمل أن يتحملوا تفاوتاً يفوق ٢,٥ كسيرة في سوء الانكسار ما لم يتحملوا عدسة لاصقة في العين الثانية. بالتالي قد يصبح العمل الذي يتطلب رؤية مجسمة وحدة بصرية جيدة مستحيلًا. تتضمن الحلول البديلة تحمل

تفاوت سوء الانكسار حتى تجري العملية على العين الثانية، أو جعل العين الأولى أقل سوء انكسار والعين الثانية أقل منها أيضاً، أو استعمال الرؤية الوحيدة monovision حيث تكون إحدى العينين سديدة وتستعمل للبعد والأخرى حسيرة وتستعمل للقرب.

لكن ٥٠% من الناس غير قادرين على التكيف مع الرؤية الوحيدة. يمكن جعل المرضى ذوي الرؤية المصححة المتدنية بإحدى العينين سديدين في العين الأخرى من دون تسبب تفاوت سوء انكسار يصعب تحمله. قد يرغب الحسيرون الذين يرتدون نظارات منذ أمد بعيد بالبقاء حسيرين بدرجة معتدلة إذا كانوا معتادين على أداء الواجبات القريبة من دون نظارة قرب، وقد يجدون السداد والحاجة لاستعمال نظارات محدبة للقرب، صعباً.

يمكن لأشكال عديدة من الجراحة أن تؤثر على الانكسار بدرجة ما إحداث واحدة أو أكثر من هذه التغيرات. هذا وقد أدى الفهم الكبير لتأثيرات الشقوق العينية ووضع القطب على الحرج وطبوغرافية القرنية إلى إنقاص الأخطاء الانكسارية بعد الجراحة لحدها الأدنى، لكن من غير الممكن تجنب تأثيرات ثني الصلبة وزيت السيليكون والغاز داخل العين المستعملة في جراحة الشبكية والزجاجي.

يجب أن يكون سوء الانكسار وطبوغرافية القرنية ثابتين قبل إجراء الجراحة لتغيير شكل القرنية. قد لا يثبت حسر الطفولة حتى العقد الثالث، وبالتالي يعتبر سن ٢١ سنة الحد الأدنى المقبول لإجراء الجراحة. تسبب العدسات اللاصقة القاسية المصنوعة من مادة PMMA والعدسات النفوذة للغاز والعدسات اللاصقة الطرية تشوهاً في القرنية . تتبدل طبوغرافية القرنية خلال مدة ١٥، ١٠، ٥ أسابيع على التوالي بعد خلع هذه العدسات،

ويجب عدم إجراء الجراحة قبل ثبات طبوغرافية القرنية. قد يعتبر بعض المرضى هذه المدة طويلة جداً ويرفضون الجراحة.

خزع القرنية الانكساري الضوئي

photorefractive keratotomy (PRK)

يستعمل في هذه التقنية الإكسايمر ليزر لتغيير الانحناء الأمامي للقرنية. تسحج كل نبضة ليزرية النسيج من سطح القرنية لعمق ٠,٠٤-٠,٥ مم. قد يتراوح قطر حزمة الليزر بين جزء من المليمتر وحتى ٧ مليمترات ويتم التحكم به بواسطة ثقب. لتصحيح الحسر، تجرى تطبيقات متراكزة متعاقبة ذات قطر متزايد بحيث يتم تسحج مقدار أكبر من الأنسجة في المركز منه في المحيط وينقص الانحناء السطحي بذلك. إذا كان قطر المنطقة المعالجة ٣,٥-٤ مم، فإن الحافة قد تكون مسؤولة عن رؤية هالات حول الضوء عندما تكون الحدقة موسعة. تجعل المنطقة المعرض، مثال: ٦-٧ مم، هذا التأثير أقل احتمالاً لكنها تتطلب نسيجاً أعمق لتحقيق نفس النتيجة الانكسارية.

يمكن اللجوء لاستراتيجية خاصة لتصحيح درجات عالية من الحسر باستعمال منطقة معالجة عريضة مع التقليل من العمق، وذلك بتطبيق معالجات متراكزة متعددة مع جعل المنطقة الانتقالية بينها ملساء. تحقق المنطقة المركزية فقط تصحيحاً انكسارياً كاملاً. يصعب التنبؤ بالنتيجة الانكسارية النهائية في العيون شديدة الحسر ويكون معدل النكوص المتأخر فيها أكبر، وكذلك خطر التندب تحت الابتليالي والذي قد يسبب وهيجاً وينقص من أفضل حدة بصرية مصححة.

من الخيارات البديلة لاستعمال حزمة عريضة من الإكسايمر ليزر استعمال شق ماسح أو نقطة طائفة ذات نتاج طاقي أقل لكن زمن معالجة مطول، وبالتالي تتطلب جهازاً للحفاظ على وضعية العين.

أن تصحيح الحرج أكثر صعوبة من تصحيح سوء الانكسار الكروي. يتم تصحيح الحرج المنتظم بإنقاص الانحناء السطحي في المحور الأكثر انحناء أكثر منه في أي محور آخر. يمكن القيام بذلك باستعمال الحزمة الشقية أو منطقة تصحيح إهليلجية أو الحزمة الماسحة أو القناع القابل للتصحيح.

يحدث تصحيح عميق متجانس في المحور الطويل للشق مع زيادة عرض الحزمة الشقية في التطبيقات المتعاقبة، وينقص الانحناء السطحي فقط في المحور الذي زاد فيه عرض الشق. القناع القابل للتصحيح عبارة عن صفيحة من PMMA توضع في مسار حزمة الليزر كدرع أمام القرنية. تتسحج المناطق الرقيقة من القناع في البداية وتسمح بالتالي بحدوث تصحيح أعمق للمناطق الموافقة من القرنية. تصحيح مد البصر بالإكسايمر ليزر صعب وغير مستعمل بشكل واسع مثل الحسر.

يجب تصحيح مقدار أكبر من الأنسجة في المحيط منه في المركز لجعل القرنية أكثر انحناء يمكن تحقيق ذلك باستعمال قناع قابل للتصحيح ملائم.

التصحيح داخل لحمة القرنية بالليزر

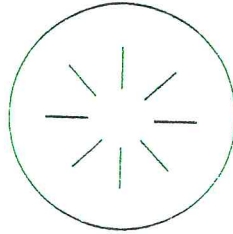
laser intrastromal keratomileusis (LASIK)

يستعمل مبضع قرنية دقيق لتسليخ لحمة القرنية السطحية وتشكيل شريحة دائرية الشكل ذات ثخانة متجانسة. لا يجري التسليخ بشكل كامل وإنما

تبقى الشريحة معلقة في جزء واحد يمكن من خلاله رفع الشريحة وإعادتها من جديد. يعاد تشكيل شكل لحمة القرنية باستعمال الإكسايمر ليزر ثم تعاد الشريحة لمكانها. إذا كان التصحيح غير كامل أو حدث نكوص لسوء الانكسار يمكن رفع الشريحة لتطبيق المعالجة من جديد. يكون التئدب تحت الابلتالي والنكوص الحسري أقل هنا منه في PRK ، كما يحدث ثبات باكر في الانكسار، وتكون النتائج في الحسر العالي قابلة للتنبؤ بشكل أفضل منه في PRK.

خزق القرنية الشعاعي (RK) Radial Keratotomy

هو طريقة لتسطيح القرنية المركزية بشكل غير قابل للعكس لإنقاص قوتها الكاسرة وتصحيح الحسر. تجرى شقوق شعاعية جزئية السماكة بشكل متناظر في القرنية المحيطية ومنتصف المحيطية مع إبقاء القرنية المركزية سليمة (شكل ١٧-١) يؤدي ذلك لإضعاف القرنية بشكل كافٍ للسماح للتوتر داخل العين بدفع الجروح، وبذلك تنقبب القرنية المحيطية ومنتصف المحيطية. لا تتمدد القرنية البالغة وبذلك فإن هذا التبدل في الشكل يسبب تسطح القرنية المركزية.



شكل ١٧-١: خزق القرنية الشعاعي لتصحيح الحسر.

تقاس ثخانة القرنية في البداية باستعمال مقياس الثخانة فوق الصوتي. يجب أن يبلغ عمق الشقوق ٨٠-٩٠% من ثخانة القرنية لتحقيق التأثير.

يستعمل مشرط ألماس مدرج بالميكرومتر لمعرفة العمق الذي ينفذ إليه خلف الصفائح القدمية.

تتوضع الصفائح القدمية على القرنية لتمنع المشرط من النفاذ بعمق كبير يزداد التأثير بزيادة طول أو عمق الشقوق أو عددها أو يجعل المنطقة المركزية أصغر. يجب أن يكون قطر المنطقة المركزية بين ٣-٥ مم، أي قطر أقل من ذلك يزيد خطر حدوث الوهيج، وأي قطر أكبر ينقص من التأثير على الانكسار. يمكن الحصول على نتائج جيدة باستعمال ٤-٨ شقوق. يسمح عدد الشقوق الأربعة بإجراء شقوق أخرى إذا كان التصحيح أقل من اللازم، وتنقص هذه الاستراتيجية من عدد المرضى المعرضين لفرط التصحيح.

يتم الحصول على أفضل النتائج لدى المرضى الحسيين بمقدار أقل من ٥- كسيرات، حيث يصل ثلاثة أرباع هؤلاء إلى مدى كسيرة واحدة من السداد، يصل الانكسار إلى الثبات بعد ستة أشهر عند معظم المرضى، لكن قد يحدث انزياحاً مدياً عند ربع المرضى أو أكثر بمقدار قد يصل إلى كسيرة واحدة ويستمر بضعة سنوات.

قد يكون من الصعب أو المستحيل وصف العدسات اللاصقة للمرضى الذين يحتاجون تصحيحاً بصرياً إضافياً بعد RK بسبب تعذر شكل القرنية.

التصحيح الجراحي للخرج

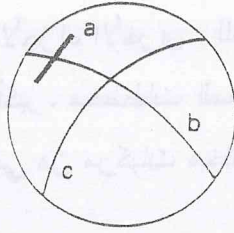
قد ينشأ الخرج من القرنية أو من البلورة قد يكون فيزيولوجياً أو تالياً للجراحة أو الرضوض الأخرى. لا تصح النظارات بشكل ملائم الخرج المنتظم، بينما يتم تصحيحها بشكل أفضل بالعدسات اللاصقة القاسية أو بالجراحة. لا يمكن التنبؤ غالباً بنتائج التصحيح الجراحي للخرج، ويقاس

مدى النجاح في بعض الأحيان بتحمل النظارات أو العدسات اللاصقة المصححة لسوء الانكسار المتبقي بعد الجراحة وليس بالاستغناء عنها كلياً. يكون الحرج التالي لتصنيع القرنية غير منتظم غالباً ويشكل تصحيحه تحدياً كبيراً، فقد لا يكون محورا الانحناء الأعظمي والأصغري متعامدين مع بعضهما. كما أن مناطق الانحناء الأعظمي والأصغري قد تكون متوزعة عشوائياً حول محيط الطعم القرني لكل من القطب المتواصلة أو المتفرقة أو المشتركة بينهما أو المضاعفة المتواصلة فوائد كامنّة في تخفيف حرج الطعم. يسمح تنظير القرنية بمقدار معين من الضبط أثناء الجراحة للمحافظة على القرنية كروية نوعاً ما. يمكن إجراء الضبط فيما بعد بإعادة توزيع الشد على طول القطبة المتواصلة أو بإزالة بعض القطب المتفرقة المختارة بعناية في المحاور شديدة الانحناء. تصبح هذه المناورات أكثر دقة إذا اقترنت بالتحليل المحوسب لطبوغرافية القرنية. عندما لا يستجيب الحرج لمناورات أخرى على القطب، يمكن استعمال تقنيات أخرى جراحية أو ليزيرية.

شقوق الإرخاء - خزع القرنية المعترض والمقوس

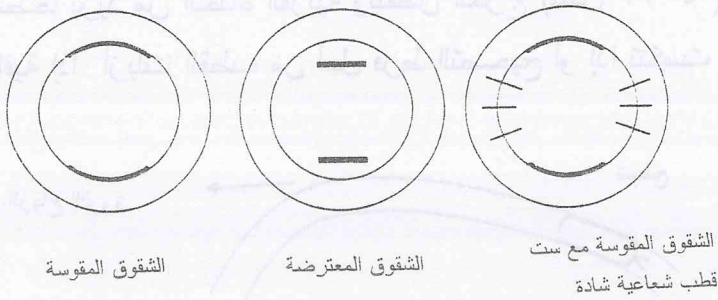
تسبب شقوق القرنية تقببها في تلك المواقع وهذا ينقص من الانحناء السطحي للقرنية المركزية في المحور الذي أجري فيه الشق ويزيد الانحناء في المحور المعامد له (شكل ١٧-٢).

يستعمل ذلك غالباً بعد تطعيم القرنية وكذلك في السيطرة على الحرج في القرنية السليمة أثناء جراحة الساد، على سبيل المثال: يمكن استخدام موقع الشق في جراحة الساد من خلال شق صغير لإنقاص الحرج الموجود قبل الجراحة وذلك بوضع الشق في المحور الأكثر انحناء في القرنية.



شكل ١٧-٢: شق قرني (a) يسبب تسطحاً في الانحناء في نفس محور الشق
(c) وزيادة في انحناء المحور المعامد له (b).

يمكن تصحيح الجرح المتبقي بعد إزالة كل القطب بعد عملية تطعيم القرنية بشق الوصل بين الطعم والمضيف على مسافة ٦٠-٩٠ في المنطقة التي يقطعها المحور ذو الانحناء الأكبر. أدخل تحسين على هذه الطريقة بوضع الشقوق بكاملها ضمن الطعم. يساعد ذلك على الحفاظ على سلامة الجرح ويعطي نتائجاً أكثر دقة تجري الشقوق بشكلٍ خطيٍّ منحنٍ أو مماسٍ للمنطقة المركزية (شكل ١٧-٣).



شكل ١٧-٣: أشكال الشقوق القرنية لإتقاص الجرح، لوحدها (الأيسر والأوسط)
أو بالاشتراك مع القطب الشعاعية (الأيمن).

للشق المقوس فائدة نظرية بأنه قطع متجانس السماكة في القرنية ومراكز مع المحور البصري أيضاً وقد يعطي تأثيراً أكثر دقة وانتظاماً. تمر

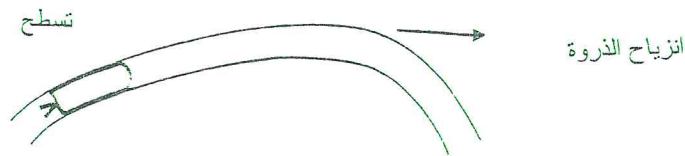
الشقوق الخطية عبر القرنية بثخانة متفاوتة، وتكون بعض أجزاء الشق أقرب للمحور البصري من الأجزاء الأخرى . للشقوق الطويلة أو القريبة من المحور البصري تأثير أكبر. مخططات المعادلة Monograms متوفرة، وهي تنسب التصحيح الحرجي من مركبات مختلفة مع قطر المنطقة الشفافة، قوس الشق وعدد الشقوق.

التقنيات الانضغاطية - استئصال إسفين

يمكن تصحيح الدرجات العالية من الحرج (أكثر من ١٠ اكسيرات) بعد تصنيع القرنية الثاقب بإزالة إسفين مقوس عميق يقيس ٦٠-٩٠ من الوصل بين الطعم والمضيف في المحور الأكثر تسطحاً. يكون التأثير معاكساً له في خزع القرنية الإرخائي. يخاط الجرح بالميرسلين غير القابل للامتصاص لتقصير القرنية وزيادة الانحناء في ذلك المحور.

القطب الضاغطة

إن وضع قطبة متينة في الوصل بين الطعم والمضيف على المحور الأكثر تسطحاً يزيد من انحناء القرنية وينقص الحرج (شكل ١٧-٤). تتغير الطبوغرافية إذا أزيلت القطب من أجل فرط التصحيح أو إذا تنكست .



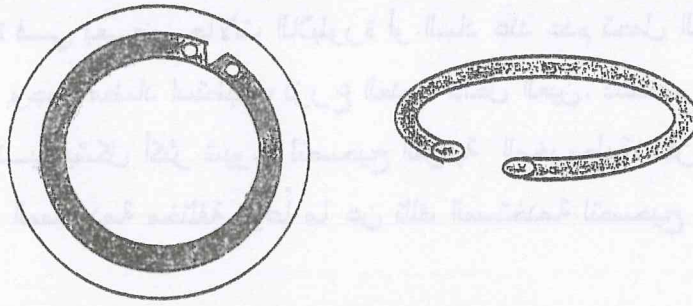
شكل ١٧-٤: قطبة قرنية مشدودة كثيراً تسطح القرنية بالقرب منها وتريح ذروة القرنية بعيداً عنها مسببة تقبب القرنية بعيداً.

يمكن إشراك شقوق الإرخاء مع قطب ضاغطة موضوعية على المحور المعامد لتخفيف الدرجات العالية من الحرج القرني (شكل ١٧-٣).

تقنيات الجراحة الانكسارية الأخرى

الحلقة داخل القرنية (ICR): Intrastromal corneal ring

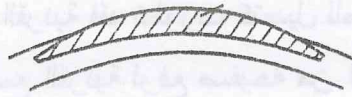
تستلزم هذه العملية وضع حلقة مشطورة من الـ PMMA (شكل ١٧-٥) في نفق ضمن لحمة القرنية الوسط محيطية بشكل متراكز مع اللم. إنها تسبب تسطح القرنية المركزية لمعالجة حتى ٤ كسيرات من الحسر. يتم عكس العملية بإزالة الحلقة.



شكل ١٧-٥ حلقة داخل لحمة القرنية.

العدسة فوق القرنية Epikeratophakia

تحدث هذه التقنية الجراحية غير الشائعة سطحاً قرنياً جديداً ذا انحناء سطحي مختلف بوصل عدسة مصنوعة من لحمة مأخوذة من متبرع إلى سطح قرنية المضيف (شكل ١٧-٦). لا يتم الدخول إلى العين، ويتم عكس العملية بسهولة بنزع العدسة.



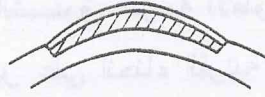
شكل ١٧-٦: العدسة فوق القرنية.

يمكن تصحيح درجات عالية من المد والحسر بعدسات ذات قوة كاسرة مختلفة. يتطابق السطح الخلفي للعدسة مع جغرافية سطح القرنية المضيفة. يجب توخي الحذر بالألا تغير الجراحة من شكل القرنية المتلقية لأن ذلك يسبب سوء انكسار غير مرغوب. لم تعد تستعمل هذه العملية لتصحيح الحسر لأن النتائج الانكسارية كانت متباينة بشدة كما أن معظم حالات اللابلاورة تعالج حالياً بزرع عدسة داخل العين. لكن هذه الطريقة قد تبقى ذات فائدة في بعض حالات اللابلاورة أو الساد عند عدم تحمل العدسات اللاصقة أو وجود مضاد استطباب لزرع العدسة داخل العين. تستخدم العدسة فوق القرنية بشكل أكثر شيوعاً لتصحيح القرنية المخروطية، لكن التقنية الجراحية المستخدمة مختلفة نوعاً ما عن تلك المستخدمة لتصحيح المد أو الحسر.

لتصحيح القرنية المخروطية، تخاط عدسة ذات ثخانة متجانسة على مخروط القرنية المضيفة لضغطه وإعادة شكل القرنية للشكل الطبيعي مخففة بذلك من الحسر.

تصحيح القرنية والعدسة القرنية

تصحيح القرنية هو استعمال مبضع قرني دقيق لإزالة صفيحة من اللحمية القرنية الأمامية ومن ثم تشكل باستعمال جهاز تبريد خاص قبل إعادتها من جديد. يمكن تصحيح درجات عالية من الحسر وليس المد بهذه الطريقة. أما العدسة القرنية فقد تطورت كتعديل للطريقة السابقة لتصحيح اللابلاورة. يستعمل مبضع القرنية لرفع صفيحة من اللحمية الأمامية ثم تعاد فوق عدسة من لحمية قرنية مأخوذة من قرنية متبرع لتغيير شكل القرنية (شكل ١٧-٧). لم تعتمد أي من هاتين الطريقتين على نطاق واسع لأنهما صعبتان تقنياً ولا يمكن التنبؤ بالنتائج الانكسارية لهما.



شكل ١٧-٧: العدسة القرنية.

تصنيع القرنية الحراري thermokeratoplasty

هذه العملية تجريبية إلى مدى بعيد. تحدث الحروق البؤرية بحرارة منخفضة تقلصاً في الكولاجين في القرنية المحيطة، وتزيد من الانحناء القرني في نفس المحور. حل الليزر Holmium : YAG مكان المخثر الحراري في هذه العملية حالياً.

استخراج البلورة الشفافة

إن سلامة ودقة عملية استخراج الساد من خلال شق صغير قد أعطت الدافع نحو إزالة البلورة غير المصابة بالساد مع إدخال عدسة داخل العين لتصحيح سوء الانكسار الكروي. تجرى هذه العملية في حالات الحسر العالي والمد المترافق مع قصو البصر.

زرع العدسات داخل العين للمرضى الذين يملكون بلورة طبيعية

توضع العدسات داخل العين أيضاً في البيت الأمامي أو الخلفي للعيون الحاوية على بلورة طبيعية وذلك لتصحيح سوء الانكسار. يقال بأنها تصحح أسوء الانكسار العالية بشكل أكثر دقة من العمليات القرنية مع الحفاظ على المطابقة. التأثيرات طويلة الأمد لهذه العدسات على إندوتليوم القرنية والبلورة وزاوية البيت الأمامي غير معروفة.

الشقوق القرنية

يكون تأثير الشقوق القرنية الأطول أو الأعرق أو الأقرب إلى المحور البصري أكبر على انحناء القرنية المركزية. بينما تلك الأصغر والأبعد عن المحور البصري فإنها تعدل الحرج بشكل أكبر. الشقوق القرنية الأطول أقل ثباتاً وبالتالي فإن سرعة اندمالها أبطأ. كما أن سرعة الاندمال القرني تكون أقل بشكل هام عند المسنين منها عند الشباب.

يعني تأخر الاندمال أن أي سوء انكسار يحتاج وقتاً أطول ليصل إلى الثبات، ومن الصعب التنبؤ بالنتائج. تمت مناقشة تأثيرات الشقوق الشعاعية أو الموازية للم سابقاً.

يجب إغلاق الشقوق القرنية الكبيرة المجراة لاستخراج الساد خارج أو داخل محفظته بوساطة القطب. يمكن إحداث تراكب حواف الجرح بالخياطة المتفرقة أو المتواصلة. تسبب القطبة الشعاعية المتينة في حالة الخياطة المتفرقة حرجاً قرنيّاً في ذلك المحور بسبب زيادة الانحناء القرني فيه. قد يكون من الضروري إزالة القطبة حالما يتحقق الاندمال. القطبة التي تكون أضعف من البقية تنقص الانحناء القرني في محورها. قد تسبب القطب المتواصلة حرجاً أقل بتوزيع الشد بشكل أكثر تجانساً على طول الجرح. ينقص انحلال مادة القطب من قوة الشد وقد يسبب تبديلاً تدريجياً في سوء الانكسار لمدة قد تصل إلى سنة بعد الجراحة. يميل الشق ذو الشفاء الذاتي والمستخدم في جراحة الساد بطريقة استحلاب البلورة لأن يسطح القرنية في نفس المحور بعد الجراحة. اللم الصدغي أبعد عن المحور البصري، وبالتالي فإن الشقوق هنا قد تعدل الحرج بدرجة أكبر من تلك المتوضعة في أي مكان آخر. يمكن استخدام الحرج المحدث بالجراحة لتعديل الحرج القرني الموجود قبل الجراحة بوضع الشق في المحور الأكثر انحناء يجري بعض الجراحين

شقاً صدغياً بشكل دائم لكنهم يسيطرون على الحرج بإجراء خزع قرني حرجي في المحور الأكثر انحناء.

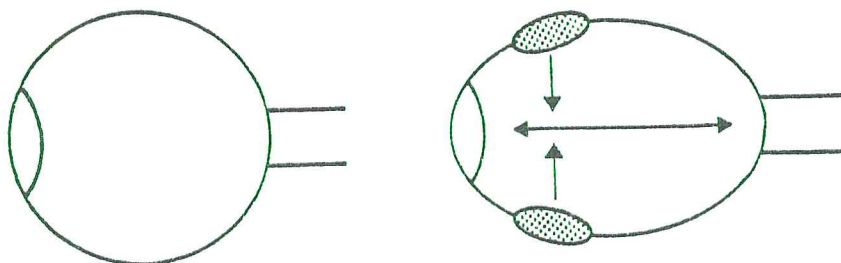
تصنيع القرنية الثاقب (PK) penetrating keratoplasty

تتحدد النتائج الانكسارية لتصنيع القرنية الثاقب جزئياً بأبعاد النسيج المعطي. عندما يتجاوز قطر الطعم ذلك الخاص بالنسيج المزال من المضيف يزداد احتمال حدوث الحسر. يكون الانحناء السطحي في القرنيات المأخوذة من الأطفال أكبر وكذلك القوة الكاسرة ويمكن استعمالها في العيون اللابلورية التي تحتاج لتصنيع القرنية الثاقب.

جراحة الشبكية والزجاجي

كثيراً ما يتطلب إصلاح انفصال الشبكية وصل شريط من السيليكون على الصلبة لتفريغ جدار العين. يؤدي ذلك لزيادة الطول المحوري للعين ويسبب الحسر، ولا سيما إذا أحاط الشريط بالعين (شكل ١٧-٨). كما أنه من المحتمل أن تسبب هذه الأشرطة حرجاً إذا ما ضغطت على العين بشكل غير متناظر، على سبيل المثال: التنيات الشعاعية أو القطاعية الدائرية. ينعكس هذا التأثير بعد إزالة الشريط. قرينة انكسار زيت السيليكون في القسم الخلفي من العين أعلى مما هي عليه في البلورة، وتحول السطح الخلفي للبلورة من سطح فاصل مقرب إلى سطح فاصل مبعد. يؤدي ذلك لانزياح مدي في الانكسار بمقدار $+5,00$ حتى $+7,00$ كسيرة. أما في العيون اللابلورية فإن السطح الأمامي المنحني وقرينة الانكسار الأكبر لزيت السيليكون مقارنة مع البلورة تجعله مقرباً قوياً وبالتالي فإنه يسبب انزعاجاً حسرياً. بالتالي فإن مد البصر الناتج عن البلورة يكون حوالي $+4,00$ إلى $+6,00$ كسيرة فقط. يزيد الغاز في القسم الخلفي من العين، بوجود البلورة، بشكل كبير من القوة الكاسرة للسطح الخلفي للبلورة ويسبب انزعاجاً حسرياً كبيراً. قد يسمح ذلك

بإجراء تنظيف قعر العين اللامباشر من دون الحاجة لعدسة مكثفة. أما الغاز الذي يملأ العين الابلورية فإنه يجعل السطح الخلفي للبلورة مبعداً بشدة ويعيدل معظم القوة الكاسرة للقرنية مما يسمح برؤية قعر العين من دون أي مساعدة.



شكل ١٨-٨ : شريط صلبى محيط بالعين يضغطها ويزيد من طولها المحوري.

الباب الرابع

الملاحق

الملحق الأول : تعاريف رياضية

الملحق الثاني : خصائص العدسات

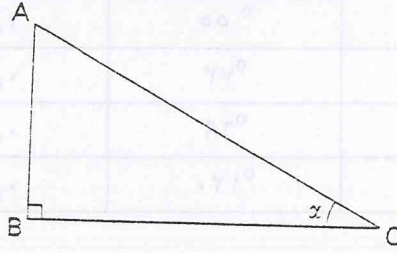
الملحق الثالث : نقاط سريرية مفيدة في الممارسة العملية

الملحق الأول

تعارف رياضية

١- الجيب، التجيب، الظل Sin , Cosine, tangent

الزاوية	الجيب (Sin)	التجيب (Cos)	الظل (Tan)
٠°	٠,٠	١,٠	٠,٠
١٥°	٠,٢٥٩٨	٠,٩٦٥٩	٠,٢٦١٨
٣٠°	٠,٥٠٠٠	٠,٨٦٦٠	٠,٥٧٧٤
٤٥°	٠,٧٠٧١	٠,٧٠٧١	١,٠٠٠٠
٦٠°	٠,٨٦٦٠	٠,٥٠٠٠	١,٧٣٢١
٧٥°	٠,٩٦٥٩	٠,٢٥٩٨	٣,٧٦٤٣
٩٠°	١,٠٠٠٠	٠,٠	لا يوجد

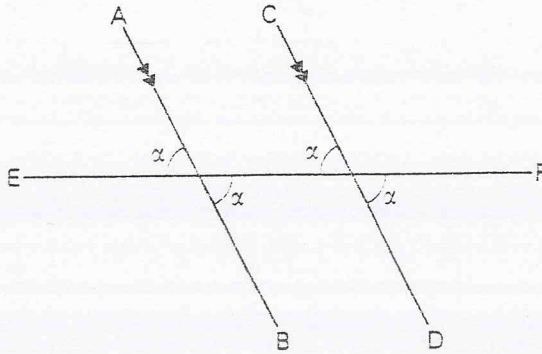


$$\sin \alpha = \frac{AB}{AC}$$

$$\cos \alpha = \frac{BC}{AC}$$

$$\tan \alpha = \frac{AB}{BC}$$

٢- الزوايا المتشكلة بالخطوط المتوازية :



إن الزوايا α المتشكلة بواسطة الخطين المتوازيين AB ، CD والذان يقطعهما الخط EF متساوية.

الملحق الثاني

خصائص العدسات المتنوعة المستعملة بمنظار قعر العين اللامباشر:

العدسة	التكبير الزواي	ساحة الرؤية	تكبير بقعة الليزر
٢٠ كسيرة	٢,٩٧	$^{\circ} ٤٦$	٠,٣٤
٢٨ كسيرة	٢,١٦	$^{\circ} ٥٥$	٠,٤٦
٧٨ كسيرة	٠,٨٧	$^{\circ} ٧٣$	١,١٥
٩٠ كسيرة	٠,٧٢	$^{\circ} ٦٩$	١,٣٩
Superfield	٠,٧٢	$^{\circ} ١٢٠$	١,٣٩

تعطي العدسات ذات القطر الأكبر ساحة أكبر من الرؤية.

الملحق الثالث

نقاط سريرية مفيدة في الممارسة العملية

- استعمال مروحة الحرج Astigmatic dial في الانكسار الشخصي :

يلجأ للخطوات التالية عند استعمال مروحة الحرج:

- ١- الحصول على أفضل حدة بصرية باستخدام العدسات الكروية.
- ٢- تشويش العين بعدسات كروية موجبة حتى تصل الحدة إلى $(١٠/٤)$.

٣- سؤال المريض عن الخط الأوضح في المروحة.

٤- نحصل على محور الحرج بضرب رقم الخط الأوضح بالنسبة للمريض بـ ٣٠.

٥- إضافة عدسات اسطوانية سالبة على المحور المحدد في الخطوة السابقة حتى تصبح كل الخطوط بنفس درجة الوضوح.

٦- إعادة ضبط القوة الكروية حتى الحصول على أفضل حدة بصرية.

تحقيق التوازن بين العينين Binocular balance

يمكن تحقيقه بطريقتين :

١- التشويش Fogging:

-نضع عدسة DS +2.00 أمام كل من العينين $\Leftarrow$ تنخفض القدرة البصرية إلى $١٠/٢ - ١٠/١$.

-نضع عدسة DS -0.25 أمام إحدى العينين ونجري تغطية متناوبة سريعة .
تكون القدرة البصرية أفضل من هذه العين ويشعر المريض بذلك.

-إذا لم يشعر المريض بالتحسن نغير القيمة الكروية زيادةً أو نقصاناً
بفواصل 0.25 DS حتى حدوث التوازن.

٢- الفصل بين العينين بالمواشير Prism dissociation

-نضع عدسة +1.00 DS أمام كل من العينين.

-نضع موشوراً شاقولياً قوته ٤-٥ كسيرات موشورية أمام إحدى العينين.

توضع عدسة +0.25 DS أمام إحدى العينين، فيلاحظ المريض حدوث تشويش في الرؤية في تلك العين في حال وجود التوازن، أما إذا لم يلاحظ ذلك فإن القوة الكروية تكون بحاجة للضبط من جديد بفواصل 0.25 DS القطرات المستعملة في شل المطابقة:

الدواء	التركيز %	الجرعة	التأثير الأعظمي	مدة التأثير
سلفات الأثروبين	٠,٠٥ ، ١ ، ٢	٢-٣ مرات باليوم لمدة ٣ أيام	٦-٢٤ ساعة	١٠-١٥ يوم
سكو بولامين	٠,٢٥	مرتان بفاصل ٥ دقائق	٣٠-٦٠ دقيقة	٣-٤ أيام
هوما تروبين	٠,٢		١ ساعة	١-٢ يوم
سيكلو بنتولات	٠,٠٥ ، ١ ، ٢	٣ مرات بفاصل ١٠ دقائق	٢٠-٤٥ دقيقة	١٢-٢٤ ساعة
تروبكاميد	٠,٠٥ ، ١ ، ٢	٣ مرات بفاصل ١٠ دقائق	٢٠-٣٠ دقيقة	٤-١٠ ساعات

كيفية قياس الـ PD عند المريض ذو العين الوحيدة

إذا كان لدى المريض عين وحيدة فإنه من المهم قياس الـ PD لتلك العين، وهو المسافة بين مركز الحدقة والخط المتوسط للأنف. يؤخذ هذا بقياس المسافة بين الخط المتوسط واللحم الصدغي، ثم المسافة بين الخط المتوسط واللحم الأنفي، ثم يؤخذ الوسطي لهذين القياسين فيكون هو الـ PD. يستعمل PD الخاص بعين واحدة أيضاً في حال وجود عدم تناظر بالوجه.

جدول يبين مساوئ ومحاسن الأنماط المختلفة من العدسات اللاصقة

نمط العدسة	المحاسن	المساوئ
عدسات قرنية كتيمة (PMMA)	- رخيصة الثمن - متينة	- تحتاج لأن يكون انطباقها ضعيفاً لتعزيز التبادل الدمعي للملائم. - في البداية تكون غير مريحة. - نقص زمن ارتدائها.
العدسات الصلبة	- ملائمة في حالات عديدة تكون مستحيلة التلاؤم مع العدسات الأخرى - يمكنها إخفاء المنظر السيئ للعين. - إمكانية دعم الانسداد. - فعلياً ملائمة لأي سوء انكسار (بما فيه القرنية المخروطية المتقدمة).	- نقص زمن الارتداء نظراً لنقص تزويد القرنية بالأوكسجين. - غالية الثمن وتستهلك وقتاً طويلاً للتلاؤم معها.

نمط العدسة	المحاسن	المساوئ
العدسات القاسية النفوذة للغاز	- تزود القرنية بشكل كافٍ بالأكسجين. - من الممكن ارتداؤها لفترة طويلة. - المشاكل بعد العناية بها قليلة.	- غالية الثمن أكثر من العدسة الكتيمة. - تستلزم محاليل عناية غالية الثمن.
العدسات الطرية (العدسات المائية)	- انزعاج بدئي خفيف أو معدوم. - يمكن ارتداؤها لفترات مطولة . - يستطيع الأطفال تحمل هذه العدسات عادةً.	- يساء استخدامها غالباً من قبل المرضى. - العناية التالية بها غالية الثمن. - زيادة خطر الخمج.
العدسات السيليكونية المطاطية	- نفوذية ممتازة للغاز . - من الممكن ارتداؤها لفترات طويلة - العدسة الأمثل لدى مرضى اللابلورة.	- تعني زاوية الترتيب العالية أن العدسة ملتصقة بالعين ومن الصعب إزالتها. - قد تكون غير مريحة. - غالية الثمن .

كيف تختار العدسة اللاصقة المناسبة

١- العدسة الصلبة أكثر صعوبة من ملاءمتها واختيار معاييرها وتكيف المريض معها، ولكنها أفضل من الناحية البصرية، ولا سيما في تصحيح الحرج، كما أنها أكثر أماناً بالنسبة لصحة القرنية، (العدسات الصلبة النفوذة للغاز).

- ٢- تفضل العدسات الطرية بصورة عامة عندما يكون الحرج أقل من كسيرة واحدة. أما إذا كان الحرج أكبر من ذلك فيجب المفاضلة بين العدسات الطرية الحديدية والعدسات الصلبة.
- ٣- تفضل العدسات الصلبة في حالات الحرج غير المنتظم (القرنية المخروطية).
- ٤- تفضل العدسات الطرية عند المرضى القلقين من الإحساس بجسم أجنبي في العين.
- ٥- العدسات الطرية أكثر أماناً عند الرياضيين لأنها أكثر ثباتية.
- ٦- تفضل العدسات الصلبة في البيئة المعرضة للملوثات، لأن العدسات الطرية تميل لالتقاط المواد من الجو.
- ٧- تفضل العدسات الصلبة عند الأشخاص المصابين بنقص الإفراز الدمعي تجنباً لالتصاق المواد المخاطية على العدسات الطرية.
- وإذا استعملت عدسة طرية لديهم فتستعمل عدسة ذات محتوى مائي منخفض، لأن العدسة ذات المحتوى المائي العالي تسحب الماء من فيلم الدمع للحفاظ على نسبة الماء فيها مما يزيد الجفاف سوءاً.
- يجب ملائمة العدسة اللاصقة بتوضع مرتفع لأن الحافة العلوية للعدسة تكون بذلك مغطاة بالجفن العلوي وتتحرك معه أثناء الرفيف.
- بينما في التوضع السفلي تصطدم حافة الجفن مع حافة العدسة أثناء الرفيف مما يؤدي لعدم اكتمال منعكس الرفيف، وهذا بدوره يؤدي إلى جفاف سطح العدسة والقرنية، وظهور نموذج التلون بالفلورسئين (عند سا ٩،٣)، لكون الدمع يفشل بالوصول إلى المناطق الجانبية من القرنية.
- توضع العدسة التجريبية بعد تقطير مخدر موضعي ويراقب تمركزها ومقدار انزياحها مع حركات العين، ثم يقطر الفلورسئين ويتم الفحص على

المصباح الشقي باستعمال مرشحة الكوبالت الزرقاء. النموذج المثالي للتلون بالفلورسئين هو تلون خفيف في ذروة القرنية مع تلون آخر في المحيط بشكل دائري. يدل غياب الفلورسئين من المنطقة المركزية على تماس القرنية مع العدسة في هذه المنطقة، ويعني ذلك أن الانحناء الخلفي للعدسة أكبر من قطر القرنية، وهذا ما يدعى بالتلاؤم المسطح.

أما زيادة التلوث في المنطقة المركزية فتدل على أن الانحناء الخلفي للعدسة أصغر من قطر القرنية، وقد يسمح ذلك بانزياح العدسة وتجمع فقاعات هواء خلفها.

في حالات الحرج القرني يظهر شريط ناقص التلون على المحور الأكثر تسطحاً.

يترافق ارتداء العدسة اللاصقة في البداية مع انزعاج وحس جسم أجنبي، لذلك يتم ارتداؤها لفترات قصيرة في البداية ثم تزداد تدريجياً من أجل التكيف معها.

المصطلحات العلمية

Astigmatic Lenses	العدسات الحرجية
Against movement	الحركة العكسية
Aniseikonia	تفاوت حجم الخيال
Anisometropia	تفاوت سوء الانكسار
Anti-reflective coatings	الأغلفة المضادة للانعكاس
Aplanatic	اللامسطحة
Applanation tonometer	مقياس التوتر بالتسطح
Astigmatism	حرج البصر
Back vertex distance	البعد القمي الخلفي
Bandage Contact lenses	العدسات اللاصقة الضمادية
Base curve	المنحني القاعدي
Bifocal Lenses	العدسات ثنائية المحرق
Birefringence	الانكسار المزدوج
Blending	الامتزاج
Catoptric images	الأخيلة الانعكاسية
Chromatic aberration	الزوغان اللوني
Coherent	التماسك
Coma	الدوابة
Compound microscope	المجهر المركب

Contact lenses	العدسات اللاصقة
Contrast sensitivity	حساسية التباين
Corneal warpage	تشوه القرنية
Corridor	رواق القوة المتبقية
Cover /uncover	التغطية /إزالة التغطية
Critical Angle	الزاوية الحرجة
Crown glass	الزجاج التاجي
Cylindrical lenses	العدسات الاسطوانية
Deuteranomaly	غمش الأخضر
Deuteranopia	عمى الأخضر
Dichroism	التلون الثنائي
Diffraction	الانعراج
Diffractive Bifocal lenses	العدسات ثنائية المحرق الانعراجية
Diode laser	ليزر ثنائي القطب
Direct ophthalmoscope	منظار قعر العين المباشر
Dispersion of Light	تبعثر الضوء
Dispersive power	قوة البعثرة
Duochrome test	الاختبار ثنائي الألوان
Epikeratophakia	العدسة فوق القرنية
Facultative accommodation	المطابقة الاختيارية
Far point	نقطة المدى
Filters	المراشح

Flint glass	الزجاج الصواني
Fluorescence	الفلورة
Glare tests	اختبارات الوهيج
Hruby lens	عدسة روبي
Hyperacuity	حدة البصر الفائقة
Hypermetropia	مد البصر
Illuminance	التنوير
Instruments	أدوات
Interference	التداخل
Interferometer	مقياس التداخل
Intrastromal corneal ring	الحلقة داخل القرنية
Ishihara test	اختبار إيشهارا
Keratoconus	القرنية المخروطية
Keratometer or ophthalmometer	مقياس القرنية أو مقياس العين
laser intrastromal keratomileusis (LASIK)	التسحيح داخل لحمة القرنية بالليزر
Latent hypermetropia	مد بصر كامن
Low vision Aids	وسائل دعم الرؤية الضعيفة
Luminous flux	التدفق الضوئي
Manifest Hypermetropia	مد بصر ظاهري
microtropia	حول صغير الزاوية
Monograms	مخططات المعادلة
Monovision	الرؤية الوحيدة

Monovision	الرؤية الوحيدة
Multifocal lenses	العدسات متعددة المحارق
Myopia	حسر البصر
Non-contact tonometer	مقياس التوتر غير المماس
Objective refraction	الانكسار الموضوعي
Oblique astigmatism	الحرج المائل
Optical coherence tomography (OCT)	التصوير المقطعي التماسك البصري
(PRK)photo refractive keratotomy	خزع القرنية الانكساري الضوئي
optometer	مقياس بصري
Pachymeter (Pachometer)	مقياس الشخانة
Panfundoscope contact lens	العدسة اللاصقة لتنظير كامل قعر العين
Panum	منطقة الدمج
paper weight	المحدبة المستوية
penetrating keratoplasty	تصنيع القرنية الثاقب
perfect diffuser	الناشر المثالي
perimetry	قياس الساحة البصرية
photo chromic Lenses	العدسات المتلونة بالضوء
Photometry	الشدة الضوئية
Photoscreening	المسح الضوئي
Pin cushion	وسادة الدبابيس
pin-hole test	اختبار الثقب الدقيق
Polarization of Light	استقطاب الضوء

Potential Acuitymeter	مقياس حدة البصر الكامنة
progressive addition Lenses	العدسات ذات الإضافة المترقية
Protanomaly	غمش الأحمر
Protanopia	عمى الأحمر
Radial Keratotomy (RK)	خزاع القرنية الشعاعي
Radiometry	الطاقة الشعاعية
Refractive surgery	الجراحة الانكسارية
Refracto meter	مقياس الانكسار
Retinoscope	منظار الشبكية
Sclerotic scatter	التبعثر الصلي
Segment	الشدفة
Slitlamp	المصباح الشقي
Spatial Frequency	تواترها الفضائي
Specular microscope	المنظار المجهرى أو العاكس
Specular microscopy	الفحص بالتنظير المجهرى
Specular reflection	الانعكاس المرآوي
Spherical aberration	الزوغان الكروي
Spherical Equivalent	المكافئ الكروي
Stenopaeic slit	الشق الضيق
Stereopsis	الرؤية المجسمة
The Cross cylinder	الاسطوانة المتصالبة
The Focimeter	المقياس المحرقى

The Galilean System	جهاز غاليليو
The Loupe	النظارات البسيطة المكبرة
The Loupe	النظارات البسيطة المكبرة
The reduced eye	العين المختصرة
The Schematic eye	العين الترسيمية
thermo keratoplasty	تصنيع القرنية الحراري
Tinted Lenses	العدسات الملونة
Toric	تأثير حيدي
Toric surface	السطح الحيدي
Total internal reflection	الانعكاس الداخلي الكلي
Trifocal Lenses	العدسات ثلاثية المحرق
Tritanomaly	غمش الأزرق
Tritanopia	عمى الأزرق
Ultra Violets Filters	مرشحات الضوء فوق البنفسجي
Vergence	الجنوح
Vernier Acuity	حدة البصر لـ (قرنية)
Virtual	الوهمية
with movement	الحركة الموافقة

المراجع

- Clinical optics ; Elkington .
- Optics and refraction ; Duke Elder.
- Optics for clinicians ; Ruben .
- Optics and refraction module course ; Institute of ophthalmology .
- System of ophthalmology ; Duke Elder .

- التلخيص في أمراض العين، أ. د. أكرم العنبري.

