الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة دمشق
كلّيّة الطب البشري
مستشفى المواساة الجامعي – قسم أمراض العين وجراحتها

العلاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب و أسواء الانكسار

بحث علمي أعد لنيل شهادة الدراسات العليا في أمراض العين وجراحتها

أعد في قسم أمراض العين وجراحتها–مستشفى المواساة الجامعي–دمشق

إعداد طالب الدراسات العليا

د. محمد يزن زهير السراقبي

برئاسة وإشراف

أ.م.د. معتز سعد الدين

العام الدراسي

1443 هـ / 2022 م

تصريح خطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي وقبولي:

١. أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).

٢. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أي جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية.

الاسم والتوقيع

شكر وتقدير

أتوجه بالشكر والامتنان للأستاذ الدكتور معتز سعد الدين صاحب الفضل الكبير و الذي لم يبخل بأي معلومة أو ملاحظة وكان سنداً وعوناً طيلة فترة اختصاصي، لك مني كل الاحترام و التقدير، مع تمنياتي بدوام الصحة والعافية والتألق.

كما أتوجه بالشكر لكافة أساتذتي ومشرفي وطلاب الدراسات العليا في مشفى المواساة الجامعي، وإلى مشفى المواساة الجامعي و كلّيّة الطب في جامعة دمشق.

إهداء

إلى من زرع في قلبي أسمى معاني الصبر والتفاؤل...

إلى من كلّت أنامله ليقدم لي لحظة سعادة...

إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهّد لي الطريق...

إلى الظل الذي آوي إليه في كل حين...

أبي الغالي أدامه الله ذخراً لي

إلى من جعل الله تعالى الجنة تحت قدميها...

إلى من غمرتني بالحب والحنان...

إلى التي رأتني بقلبها قبل أن تراني بعينيها...

إلى العين الساهرة والعطاء المتواصل بلا مقابل...

إلى رمز الحب وبلسم الشفاء...

أمي الحبيبة حفظها الله

إلى الجسد الواحد...

إلى سندي وملاذي في حياتي...

إلى الكواكب المشرقة والنجوم المتألقة...

إلى أصحاب الفضل الكبير في تحقيق نجاحي...

إخوتي ياسر وعامر ورنا ويمان وعبادة

إلى صاحب القلب الكبير والفضل الجزيل...

إلى من كان عوناً وسنداً لي في كل خطوة أخطوها...

إلى من أعانني على اجتياز كل ضيق...

إلى أخي وصهري ومسند ظهري...

صهري الغالي صفوان

إلى من منّوا عليّ بفرح وأُنس منقطعَي النظير...

إلى البيت الدافئ و نهر الحب الفياض...

إلى من أحمد الله تعالى على وجودهم في حياتي...

إلى عائلي الثانية بكل ما تعنيه الكلمة من معنى...

عمي غسان وزوجة عمي دانيا

إلى أجمل مافي الكون...

إلى ضحكة قلبي ونور عيوني...

إلى أطيب قلب وأحنّ فؤاد...

إلى الماسة التي أنارت حياتي ببريقها الأخّاذ...

إلى أعظم نعمةٍ أنعم الله بها عليّ وأحلى قدر...

إلى ملاكي الحارس وتوءم روحي...

حبيبة قلبي روى

إلى أخي الغالي الذي أفتخر به...

إلى مستودع أسراري وسندي في شدّتي...

إلى رفيق الدرب وحبيب القلب...

أخي الغالي محمد نادر المزيك

إلى صديق الطفولة الصّدوق...

إلى من كان خير عونٍ وسندٍ لي...

إلى أخي الغالي صاحب القلب الكبير...

أخي العزيز هاني الحلو

إلى صاحب أنقى وأطيب قلب...

إلى من قضيت معه أياماً لا تنسى...

إلى أخي الغالي الذي لم تلده أمي...

أخي الغالي محمد السقال

إلى من تحلو معهم الحياة...

إلى زملاء الدراسة ورفاق الدرب...

إلى من شاركوني رحلة العلم بحلوها ومرّها...

إلى الذين هوّنوا عليّ مشقّة الطريق...

أصدقائي الأعزاء

فهرس المحتويات

متن البحث: الإطار العام للبحث.....(1)

الجزء الأول: الدراسة النظرية:

الفصل الأول: القرنية.....(8)

- **أولاً: لمحة جنينية.....(9)**
- **ثانياً: التشريح العياني.....(10)**
- **ثالثاً: التشريح المجهري.....(11)**

الفصل الثاني: العدسة.....(15)

- **أولاً: لمحة جنينية.....(16)**
- **ثانياً: التشريح العياني.....(18)**
- **ثالثاً: التشريح المجهري.....(19)**

الفصل الثالث: أسواء الانكسار.....(22)

- **أولاً: حسر البصر.....(23)**
- **ثانياً: مد البصر.....(26)**
- **ثالثاً: حرج البصر.....(29)**
- **رابعاً: الجراحة الانكسارية.....(32)**

الفصل الرابع: الزوغانات البصرية.....(38)

- **أولاً: جودة الرؤية.....(39)**
- **ثانياً: تعريف الزوغانات.....(40)**
- **ثالثاً: أسباب الزوغانات.....(41)**
- **رابعاً: تصنيف الزوغانات.....(49)**
- **خامساً: أهم الزوغانات عالية الترتيب.....(57)**
- **سادساً: مقاييس الوظيفة البصرية.....(62)**
- **سابعاً: أجهزة قياس الزوغانات.....(64)**
- **ثامناً: التطبيقات السريرية.....(68)**

<u>الجزء الثاني: الدراسة العملية:</u>

الفصل الأول: المواد والطرائق.....(82)

الفصل الثاني: النتائج الإحصائية.....(88)

الفصل الثالث: مناقشة نتائج البحث.....(107)

الفصل الرابع: المقارنة مع الدراسات العالمية.....(111)

الفصل الخامس: محددات الدراسة والتوصيات.....(114)

- **المراجع.....(115)**
- **الملاحق.....(133)**

قائمة الرسوم والأشكال التوضيحية

الشكل	الصفحة
الشكل (1) طبقات القرنية	14
الشكل (2) التطور الجنيني للعدسة	17
الشكل (3) دروز العدسة	17
الشكل (4) سماكة محفظة العدسة	19
الشكل (5) أقسام العدسة	21
الشكل (6) آلية حسر البصر	23
الشكل (7) انتشار حسر البصر	25
الشكل (8) آلية مد البصر	26
الشكل (9) أنواع مد البصر	27
الشكل (10) آلية حرج البصر	29
الشكل (11) أنواع حرج البصر	30
الشكل (12) تطور الجراحة الانكسارية	33
الشكل (13) أداة Epithelial Spatula وأداة Epikeratome	35
الشكل (14) أهم الجراحات الانكسارية	37
الشكل (15) العدسة المثالية الخالية من الزوغانات والعدسة مع زوغانات	40
الشكل (16) جهاز توماس يونغ لقياس أسواء الانكسار	42
الشكل (17) الزوغانات القرنية والداخلية والعينية	43
الشكل (18) العوامل المؤثرة بالزوغانات	44
الشكل (19) كثيرات الحدود لزيرنكه لتصنيف الزوغانات	50
الشكل (20) أسماء أهم الزوغانات	52
الشكل (21) تمثيل الزوغان الكروي وفق تصنيف زيرنكه	54
الشكل (22) حساب الزوغانات وفق تصنيف زيرنكه وتصنيف (LD/HD)	55
الشكل (23) شكل الزوغان الكروي وفق تصنيف زيرنكه وتصنيف (LD/HD)	56
الشكل (24) آلية زوغان الفاصلة	57

الشكل (25) تأثير زوغان الفاصلة على الرؤية	58
الشكل (26) تأثير الزوغان ثلاثي الوريقات على الرؤية	59
الشكل (27) الزوغان ثلاثي الوريقات ورباعي الوريقات وخماسي الوريقات	59
الشكل (28) آلية الزوغان الكروي الموجب والسالب	61
الشكل (29) اختبار قرص شاينر	65
الشكل (30) مبدأ أجهزة قياس الزوغانات العينية	67
الشكل (31) تطور جراحة ال LASIK	70
الشكل (32) تقنية Topography-Guided LASIK	72
الشكل (33) أنواع العدسات المزروعة داخل العين حسب الزوغان الكروي	74
الشكل (34) تأثير عدم التمركز (Decentration) على العدسات المزروعة داخل العين	76
الشكل (35) طريقة أخذ الطبعة لعدسة EyePrintPRO	80
الشكل (36) طريقة صنع عدسة EyePrintPRO وشكل العدسة المصنوعة	80
الشكل (37) توزع المرضى حسب مجموعات الدراسة	89
الشكل (38) توزع المرضى حسب أسواء الانكسار	91
الشكل (39) توزع المرضى حسب الجنس	92
الشكل (40) توزع المرضى حسب العمر	94
الشكل (41) توزع المرضى حسب الجهة	95
الشكل (42) توزع المرضى حسب الطول الأمامي الخلفي للمقلة	97

قائمة الجداول

الجدول	الصفحة
الجدول (1) توزع قيم الزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة في مجموعات الدراسة	98
الجدول (2) توزع قيم زوغان الفاصلة القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	99
الجدول (3) توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	100
الجدول (4) توزع قيم الزوغان الكروي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	101
الجدول (5) توزع قيم زوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	102
الجدول (6) توزع قيم الزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	103
الجدول (7) توزع قيم زوغان الفاصلة الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	104
الجدول (8) توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	105
الجدول (9) توزع قيم الزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة	106

-الملخص-

خلفيــة البحــث: إن العلاقـة بـين الزوغانـات عاليـة الترتيـب وأسـواء الانكسـار لاتـزال مثـاراً للجـدل فـي الدراسات الحالية.

هدف البحث: يهدف البحث لاكتشاف التبدلات بقيم متوسط الجذر التربيعي (RMS) Root Mean Square الخاصـة بالزوغانـات القرنيـة عاليـة الترتيـب حتـى الترتيـب الخـامس عند البـالغين السـوريين فـي حالات السواء البصري والحسر والمد.

مواد البحث وطرائقه: دراسة مقطعية مستعرضة شملت 217 عيناً من 217 مريضاً بأعمار تتراوح بين 20–40 عاماً من المراجعين للعيادات العينية في مشفى المواساة الجامعي بدمشق في المدة من نيسان 2021 حتى آذار 2022 فأُجري فحص عيني شامل، وأُجريت طبوغرافيا القرنية باستخدام جهاز Sirius لدراسة الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند قطر حدقة 5 ملم، ثم جُمعت البيانات وحُللت إحصائياً.

النتائج: كانت قيمة الجذر التربيعي RMS للزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة أعلى لدى مجموعة المـد (0.89±0.28)، وكانـت قـيم زوغـان الفاصـلة والزوغـان الكـروي أعلـى لـدى مجموعـة المـد (0.49±0.17, 0.33±0.14) بالترتيب. بينما كانت قيم الزوغان ثلاثي الوريقات وزوغان الحرج الثانوي أعلى لدى مجموعة الحسر المتوسط والشديد (0.45±0.14, 0.07±0.04) بالترتيب.

الاسـتنتاجات: وجـدنا زيـادة مهمـة فـي الزوغانـات القرنيـة عاليـة الترتيـب الكلّيّـة وفـي الزوغـان الكـروي وزوغان الفاصلة عند المد، وزيادة مهمة في الزوغان ثلاثي الوريقات وزوغان الحرج الثانوي عند الحسر المتوسط والشديد، ولم نجد زيادة مهمة في باقي الزوغانات عالية الترتيب.

الكلمات المفتاحية: الزوغانات القرنية عالية الترتيب، زوغان الفاصلة، الزوغان الكروي، الزوغان ثلاثي الوريقات، أسواء الانكسار.

متن البحث

الإطار العام للبحث

1.المقدمة:

ظهر مفهوم أسواء الانكسار بعد فهم العلاقة بين القوة الكاسرة للعدسة والقرنية (الجهاز البصري الكاسر) والطول المحوري الأمامي الخلفي للمقلة، وتم التمييز بين سداد البصر ولاسداد البصر.

سداد البصر: تكون العلاقة بين الطول المحوري الأمامي الخلفي للمقلة والجهاز البصري الكاسر متوازنة، وبذلك تتجمع الأشعة المتوازية الواردة من اللانهاية إلى العين من دونَ تدخل المطابقة في نقطة محرقية واحدة تقع على الشبكية تماماً.

لاسداد البصر: تضطرب العلاقة هنا بين الطول المحوري الأمامي الخلفي للمقلة والجهاز البصري الكاسر، ويكون السبب محورياً أو انكسارياً.

وتُعدّ نسبة سديدي البصر قليلة جداً في حين أن ٥٥% من الأشخاص بعمر ٢٠ – ٣٠ سنة تكون قيمة أسواء الانكسار لديهم بين +١ و–١ كسيرة.[1-4]

قبل ظهور علم سطح الموجة (Wavefront) وتحليل الزوغانات البصرية كانت لوحة سنلن هي الوسيلة الوحيدة لفحص أداء النظام البصري للعين، وبمعنى آخر كانت أسواء الانكسار الكروية الأسطوانية تمثل الوصف الوحيد لعيوب النظام البصري،[5] ومع التطورات الكبيرة التي طرأت في مجال علم سطح الموجة، توسع مفهوم أسواء الانكسار الذي كان مقتصراً على المد و الحسر و اللابؤرية، وظهر مفهوم الزوغانات ليشمل أي شذوذ في شكل سطح الموجة مهما كان بسيطاً، وأصبحت العين البشرية تُعدّ نظاماً بصرياً معقداً مع زوغانات مختلفة،[6-9] وشكّل التحليل المنهجي للزوغانات الذي قام به الفيزيائي الهولندي زيرنكه (1888–1966) Frits Zernike، الحائز على جائزة نوبل للفيزياء (1953) ، لحظة فارقة في فهمنا للزوغانات العينية.[5]

تنتج الزوغانات البصرية بسبب اضطراب أو عدم انتظام واحد أو أكثر من مكونات العين الانكسارية بما فيها: فلم الدمع، القرنية، الخلط المائي، العدسة، الخلط الزجاجي،[10] وتنشأ غالبية الزوغانات من سطح القرنية الأمامي والعدسة، و تنشأ كمية قليلة من الزوغانات من سطح القرنية الخلفي. [11]

يُعبّر عن الزوغانات البصرية باستخدام كثيرات الحدود لزيرنكه؛ وتُقسم الزوغانات لعدة ترتيبات وجمعها ضمن هرم، ووفقاً لهذا الهرم تُصنَّف الزوغانات لمنخفضة الترتيب (الصف صفر والصف الأول والصف الثاني)، وعالية الترتيب (من الصف الثالث فأكثر)، وتُقاس الزوغانات بطريقة القيم المتوسطة للجذر التربيعي (RMS) Root Mean Square ووحدة القياس مكرومتر (μ). [12]

تشكل الزوغانات عالية الترتيب نسبة قليلة من مجمل الزوغانات البصرية (١٠%) بينما تشكل الزوغانات منخفضة الترتيب (المد والحسر وحرج البصر) معظم الزوغانات البصرية (٩٠%)،[13,14] ولكن تكمن أهمية الزوغانات عالية الترتيب أنها تسبب هالات وتوهج للخيال الشبكي دونَ أن نستطيع تصحيحها بالعدسات الكروية والأسطوانية.[15]

لقد أصبحت الزوغانات عالية الترتيب تشكل عاملاً مهماً في تقييم جودة الرؤية التالية للجراحة الانكسارية،[16,17] ويُعدّ ظهور الجراحة الانكسارية الموجَّهة حسب سطح الموجة،[18,19] والعدسات اللاصقة المصححة للزوغانات،[20] والعدسات المزروعة ضمن العين المصمَّمة لتصحيح الزوغانات،[21] من العوامل التي أدت لتسليط الضوء أكثر على مفهوم الزوغانات عالية الترتيب وأهميتها بتحسين جودة الرؤية.

بحثت كثيرٌ من الدراسات عن علاقة الزوغانات عالية الترتيب مع العمر،[22,23] والطول المحوري للعين،[24] وأسواء الانكسار،[25-27] والمطابقة،[28] والعِرق،[27,29] وبينما أثبتت كثيرٌ من الدراسات أن الزوغانات عالية الترتيب تزداد مع تقدم العمر،[30,31] لكن لا تزال علاقتها مع أسواء الانكسار غير واضحة.[32] لذلك الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الزوغانات عالية الترتيب الموجودة عند البالغين السوريين وعلاقتها مع أسواء الانكسار لديهم.

2.بعض الدراسات السابقة:

يوجد بعض الدراسات العالمية المشابهة لدراستنا مثل دراسة **<عنبر وزملائه>**[25] في سوهاج بمصر عام 2019 التي أجريت على 750 عيناً باستخدام جهاز طبوغرافيا القرنية Sirius (CSO, Italy) واستخدام قطر حدقة 5 ملم، وقُسّمت العيّنة ل 5 مجموعات (الحسر الخفيف والمتوسط، الحسر الشديد، المد، الحرج الحسري البسيط، والحرج المدي البسيط)، وتراوحت أعمار العينة بين 18–41 سنة، ودُرست بعض زوغانات السطح الأمامي والسطح الخلفي للقرنية حتى الترتيب الرابع فقط؛ بعد شلّ المطابقة، ووجدت هذه الدراسة أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات الكلّيّة.

وأجرى **<فيليب وزملاؤه>**[26] دراسة في مركز Brien Holden في أستراليا عام 2012 على 675 عيناً باستخدام جهاز COAS aberrometer (Wavefront Sciences, Inc., Albuquerque, NM, USA, version 1.41.05) واستخدام قطر حدقة 5 ملم، وقُسّمت العيّنة ل 7 مجموعات (السواء، الحسر الخفيف، الحسر المتوسط، الحسر الشديد، المد الخفيف، المد المتوسط، المد الشديد)، وتراوحت أعمار العينة بين 16–19 سنة، ودُرست زوغانات السطح الأمامي للقرنية والزوغانات الداخلية والزوغانات العينية الكلّيّة حتى الترتيب السادس؛ بعد شلّ المطابقة، ولم تجد هذه الدراسة علاقة مهمّة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة وأسواء الانكسار.

وأيضاً أجرى **<هاشمي وزملاؤه>**[31] دراسة في مركز Noor في طهران بإيران عام 2015 على 904 عيون باستخدام جهاز (Zywave aberrometer (The Bausch & Lomb, Rochester, NY واستخدام قطر حدقة 5 ملم، وقُسّمت العيّنة ل 3 مجموعات (السواء، الحسر، المد)، وتراوحت أعمار العينة بين 40–64 سنة، ودُرست الزوغانات العينية الكلّيّة حتى الترتيب الخامس؛ قبل إجراء شلّ المطابقة، ووجدت هذه الدراسة أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات الكلّيّة.

كما قام **<كيروان وزملاؤه>**[32] بإجراء دراسة في دوبلن بإيرلندا عام 2005 على 162 عيناً باستخدام جهاز (Zywave II Aberrometer (Bausch & Lomb UK Ltd, Surrey, United Kingdom واستخدام قطر حدقة 6 ملم، وقُسّمت العيّنة لمجموعتين (الحسر، المد)، وتراوحت أعمار العينة بين 4–14 سنة، ودُرست الزوغانات العينية الكلّيّة حتى الترتيب الخامس؛ بعد شلّ المطابقة، ووجدت هذه الدراسة أن حسر البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات الكلّيّة.

وأيضاً أجرى **<كاركيت وزملاؤه>**[30] دراسة في المركز الوطني العيني في سنغافورة عام 2002 على 546 عيناً باستخدام جهاز (Zywave aberrometer (The Bausch & Lomb, Rochester, NY واستخدام قطر حدقة 6 ملم، وقُسّمت العيّنة ل 4 مجموعات (السواء، الحسر الخفيف، الحسر الشديد، المد)، وتراوحت أعمار العينة بين 7.9-12.7 سنة، ودُرست الزوغانات العينية الكلّيّة حتى الترتيب الخامس؛ بعد شلّ المطابقة، ولم تجد هذه الدراسة علاقة مهمّة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة وأسواء الانكسار.

ونجد تناقضاً في نتائج الدراسات السابقة؛ قد يكون بسبب استخدام مقاييس زوغانات مختلفة، واختلاف قطر الحدقة، واختلاف الفئات العمرية، والمجموعات الانكسارية المختلفة بين الدراسات، واختلاف الأعراق؛ لذلك كان من الضروري إجراء هذه الدراسة عند البالغين السوريين.

3. مشكلة البحث:

نسعى في هذا البحث للإجابة على عدة تساؤلات وعلى رأسها هل هناك علاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب و أسواء الانكسار؛ لأن نتائج الدراسات السابقة متضاربة في هذا الصدد، ولا يوجد دراسة محلية عن انتشار الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند البالغين السوريين.

4.هدف البحث:

تقييم الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند البالغين السوريين بمختلف الحالات الانكسارية (سواء البصر، حسر البصر، مد البصر).

5.أهمية البحث:

أولاً إنشاء قاعدة بيانات للقيم الطبيعية للزوغانات عالية الترتيب عند المجتمع السوري في مختلف الحالات الانكسارية، وثانياً المعرفة المسبقة للقيم الطبيعية ضرورية عند إجراء دراسات لاحقة عن تبدل الزوغانات

عالية الترتيب في الأمراض العينية، وثالثاً المعرفة المسبقة لانتشار الزوغانات عالية الترتيب ضرورية قبل الجراحات الانكسارية الحديثة الموجهة حسب سطح الموجة.

6.مسوغات البحث:

تقييم الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند البالغين السوريين بمختلف الحالات الانكسارية لأن نتائج الدراسات السابقة كانت متضاربة في هذا الصدد، ولا يوجد دراسة محلية عن انتشار الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند البالغين السوريين.

7.محددات البحث:

يوجد بعض المحددات في هذا البحث ومنها: صغر العينة المدروسة، وعدم تغطية الفئات العمرية كلها، عدم دراسة الزوغانات العينية الكلّيّة وزوغانات الوجه الأمامي والخلفي للقرنية بالتفصيل، وعدم دراسة الزوغانات مع أقطار حدقة مختلفة، وكذلك صعوبة مقارنة نتائج الدراسات الأخرى مع دراستنا (بسبب استخدام مقاييس زوغانات مختلفة، واختلاف قطر الحدقة في العيون المدروسة، واختلاف الفئات العمرية، واختلاف الأعراق، والمجموعات الانكسارية المختلفة بين الدراسات).

8.حدود البحث:

- صغر العينة المدروسة.
- عدم تغطية الفئات العمرية كلها.
- عدم دراسة الزوغانات العينية الكلّيّة وزوغانات الوجه الأمامي والخلفي للقرنية بالتفصيل.
- عدم دراسة الزوغانات مع أقطار حدقة مختلفة.

9.منهج البحث وأدواته:

استخدمنا في هذا البحث أجهزة موجودة في العيادات العينية في مشفى المواساة الجامعي بدمشق، وهي:

- مصباح شقي TOPCON Slit Lamp IS_600 أو Topcon Slit Lamp SL -3C.
- جهاز قياس أسواء الانكسار و تحدب القرنية الأوتوماتيكي TOPCON KR_8100P.
- جهاز إسقاط ضوئي مزود بلوحة سنلن Snellen من النموذج E.
- مجهر تعداد خلايا البطانة Topcon Specular Microscope SP 2000P.
- جهاز طبوغرافيا القرنية SIRIUS CSO S.r.l. 50010 scandicci.
- جهاز الإيكو Quantel Medical Cinescan V:2.04.

يمكن تقسيم الجزء النظري إلى عدة فصول:

- ❖ الفصل الأول: يتحدث عن التطور للجنيني للقرنية، وعن تشريحها عيانياً، وطبقاتها بالتفصيل.
- ❖ الفصل الثاني: يتحدث عن التطور للجنيني للعدسة، وعن تشريحها عيانياً، وأقسامها بالتفصيل.
- ❖ الفصل الثالث: يتحدث عن أسواء الانكسار (حسر البصر ومد البصر وحرج البصر) من حيث: الآلية، والأنواع، والانتشار، والأسباب، ويتحدث أيضاً عن الجراحة الانكسارية.
- ❖ الفصل الرابع: يتحدث عن الزوغانات العينية من حيث: مفهوم جودة الرؤية، وتعريف الزوغانات، وأسبابها، وتصنيفها، وأهم الزوغانات عالية الترتيب، ومقاييس الوظيفة البصرية، وأجهزة قياس الزوغانات، ثم يتطرق لأهم التطبيقات السريرية للزوغانات عالية الترتيب.

بينما بالنسبة للجزء العملي من الدراسة قمنا بدراسة الزوغانات القرنية عالية الترتيب حتى الترتيب الخامس عند البالغين السوريين بمختلف الحالات الانكسارية (سواء البصر، حسر البصر، مد البصر) ثم مناقشة النتائج ومقارنتها مع الدراسات العالمية ووضع الاستنتاجات والتوصيات المناسبة.

الجزء الأول

الدراسة النظرية

الفصل الأول

القرنية

أولاً: لمحة جنينية:

تُشتق ظهارة القرنية من الأديم الظاهر (Ectoderm)، وتُشتق لحمة القرنية وغشاء ديسميه وبطانة القرنية من العرف العصبي (Neural Crest).

يتشكل حويصل العدسة (Lens Vesicle) في الأسبوع الحملي ٤-٥، ثم تقوم خلايا الأديم الظاهر بتغطية العيب التالي لانغلاف حويصل العدسة، وتتشكل ظهارة القرنية البدئية المكونة من طبقتين من الخلايا. تصبح الظهارة البدئية مؤلفة من ٤-٥ طبقات بين الأسبوعين ٨-٢٦، وهذه الظهارة مسؤولة أيضاً عن تشكيل طبقة بومان، التي تصبح قابلة للكشف في الأسبوع ٢٠.

تبدأ الهجرة الأولى لخلايا الأديم المتوسط (Mesoderm) المشتقة من العرف العصبي لتنتشر تحت خلايا ظهارة القرنية حوالي الأسبوع الحملي ٥، وتشكل هذه الخلايا البطانة البدئية، التي تتألف من طبقتين من الخلايا، وخلال الأسبوع الحملي ٨ تصبح البطانة البدئية طبقة واحدة، وتبقى الظهارة والبطانة متقابلتين حتى الأسبوع الحملي ٧؛ حيث تحدث هجرة ذاتية من خلايا الأديم المتوسط لتشكل لحمة القرنية الخلوية الثانوية. يبدأ تشكيل غشاء ديسميه من قبل الخلايا البطانية في الشهر الثالث، وفي الشهر السابع تشبه قرنية الرضيع قرنية البالغ في معظم الخصائص البنيوية ما عدا الحجم.

عند الولادة يكون القطر الأفقي للقرنية وسطياً ٩,٨ ملم، وتستمر القرنية بالنمو خلال فترة الطفولة لتصل لحجم قرنية البالغ بعمر السنتين مع قطر أفقي ١١,٧ ملم، والبنية الوحيدة التي تستمر بزيادة السماكة هي غشاء ديسميه؛ مع زيادة ٦-١١ مكرون منذ الولادة وحتى البلوغ.[35-33]

ثانياً: التشريح العياني:

تشكل القرنية والصلبة الجدار الخارجي لكرة العين، وتُعدّ القرنية نسيجاً شفافاً وغير موعّى، وتُغذّى بواسطة الانتشار عبر الخلط المائي من الخلف وعبر الدمع من الأمام، وهي مسؤولة مع فلم الدمع عن السطح الأمامي الكاسر للعين؛ حيث تسهم القرنية بثلثي القوة الكاسرة للعين بحوالي ٤٠-٤٤ كسيرة، وهي قوة ثابتة الشدة ولا تتأثر بعملية المطابقة على عكس العدسة، وتبلغ قرينة انكسار القرنية (١,٣٧٦).

تأخذ القرنية لدى البالغ شكلاً بيضوياً حيث يكون القطر الأفقي ١١,٧ ملم وأكبر من القطر العمودي ١٠,٦ ملم؛ وينتج هذا الشكل البيضوي عن الامتداد الأمامي للصلبة في الأعلى والأسفل.

يكون المحور العمودي للقرنية أكثر تحدباً من المحور الأفقي عند الشباب، وهذا ما يسبب حرجاً موافقاً للقاعدة؛ أما مع تقدم العمر يتغير هذا الحرج ليصبح حرجاً مخالفاً للقاعدة حيث يصبح المحور الأفقي للقرنية أكثر تحدباً من المحور العمودي.

يبلغ نصف قطر انحناء الوجه الأمامي ٧,٨ ملم، وهو أقل من نصف قطر انحناء الصلبة البالغ ١١,٥ ملم، مما يترك منطقة انتقالية بينهما يبلغ عرضها ١,٥-٢ ملم وتدعى الحوف، ويبلغ نصف قطر انحناء الوجه الخلفي ٦,٥ ملم.

تُعدّ المنطقة المركزية أرق منطقة بالقرنية بسماكة تبلغ ٥٢٠ مكرون، وتزداد سماكتها تدريجياً نحو المحيط لتصل إلى أكثر من ٧٠٠ مكرون، وتبلغ مساحة القرنية ١,٣٨ سم٢.[33-36]

ثالثاً: التشريح المجهري:

تتألف القرنية من خمس طبقات، وهي بالترتيب من الخارج إلى الداخل:

١. **ظهارة القرنية (Corneal Epithelium):**

هي ظهارة مطبّقة حرشفية غير متقرنة، تبلغ سماكتها حوالي ٥٠ مكرون، وتتألف من ٥-٧ طبقات تشمل ٣ أنواع من الخلايا: الخلايا السطحية، والمجنّحة، والقاعدية.

الخلايا السطحية: مكوّنة من ٢-٣ طبقات من خلايا مسطحة مضلعة الشكل، وتمتلك زغابات مجهرية على سطحها لتزيد مساحة السطح، ويوجد اتصالات قوية بين الخلايا السطحية.

الخلايا الجناحية: مكوّنة من ٢-٣ طبقات من الخلايا وسميت جناحية لأن شكلها يشبه الجناح.

الخلايا القاعدية: طبقة وحيدة من الخلايا مكعبة أو أسطوانية الشكل، وتحوي عدداً كبيراً من العضيات داخل الخلوية، وهي الخلايا القرنية الظهارية الوحيدة الفعالة من ناحية الانقسام، وهي التي تشكل الخلايا المجنحة والسطحية، وتتصل مع الغشاء القاعدي بأنصاف الجسيمات الواصلة.

تبلغ سماكة الغشاء القاعدي للخلايا الظهارية ٤٠-٦٠ مكروناً، ويتالف بشكل أساسي من الكولاجين من النمط الرابع، ويقسم إلى Lamina Lucida و Lamina Densa، ويمتلك الغشاء القاعدي القدرة على الترميم خلال مدة تصل حتى ٦ أسابيع.

ويوجد عدة اختلافات بين الظهارة بالقرنية المركزية والقرنية المحيطية؛ حيث ظهارة القرنية المركزية تتألف من ٥-٧ طبقات، وتكون الخلايا القاعدية أسطوانية الشكل، ولا يوجد خلايا لانغرهانس أو خلايا ميلانينية؛ بينما ظهارة القرنية المحيطية تتألف من ٧-١٠ طبقات، وتكون الخلايا القاعدية مكعبة الشكل، ويوجد خلايا لانغرهانس وخلايا ميلانينية.[37]

٢. **طبقة بومان (Bowman's Layer):**

تتألف من ألياف الكولاجين من النمط الأول والخامس والبروتيوغليكانات، وتبلغ سماكتها حوالي ١٢ مكروناً، وهي ليست غشاءً حقيقياً فهي تُعدّ تكثّفاً للمنطقة الأمامية من اللحمة، وعلى خلاف غشاء ديسميه فإن طبقة بومان لا تتجدد بعد الأذيات وإنما تستبدل بنسيج ليفي.[36]

٣. **لحمة القرنية (Corneal Stroma):**

تشكل ٨٠-٨٥% من سماكة القرنية، وتتألف من خلايا قرنية Keratocytes تشبه مولّدات الليف، إضافة إلى وجود الكولاجين من الأنماط التالية: الأول، والثالث، والخامس، والسادس، وكذلك توجد المادة خارج الخلوية التي تتألف بشكل أساسي من الغلوكوز أمينوغليكانات خاصة Dermatan Sulfate و Keratan Sulfate. [38]

تُعدّ الخلايا القرنية (Keratocytes) هي الخلايا الرئيسية باللحمة، وتتركز بشكل أكبر في القسم الأمامي من اللحمة، وتقوم بصنع ألياف الكولاجين والغلوكوز أمينوغليكانات التي تُعدّ أساس المادة خارج الخلوية وضرورية للحفاظ على خواص اللحمة.

تتوزع ألياف الكولاجين في اللحمة ضمن حزم متوازية وتسمى لييفات؛ وهذه اللييفات تتجمع ضمن طبقات أو صفائح (Lamellae)، وتحوي اللحمة عند البشر حوالي ٢٠٠-٢٥٠ صفيحة، وتكون هذه الصفائح متوازية، وتكون كثافة اللحمة بالقسم الأمامي أعلى من القسم الخلفي.[39]

يُعدّ القسم الأمامي من اللحمة (١٠٠-١٢٠ مكروناً) مقاوماً لتغير الشكل؛ وحتى مع وذمة القرنية الشديدة يبقى محافظاً على شكله،[40] بينما تحدث زيادة السماكة بالقسم الخلفي وتؤثّر بشكل كبير على

غشاء ديسميه مسببة تموجات فيه، والمسؤول عن ذلك هو التوزع الكثيف لصفائح ليفات الكولاجين بالقسم الأمامي، وكذلك نوع البروتيوغليكان السائد بالقسم الأمامي Dermatan Sulfate وهو مادة محبّة للماء بشكل أقل من البروتيوغليكان المنتشر بالقسم الخلفي Keratan Sulfate.

حالياً يعدّ بعض الباحثين أن القسم الخلفي من الستروما يشكل طبقة مستقلة وتدعى طبقة دوا (Dua's Layer)[41]؛ نسبة للطبيب الهندي Harminder Dua الذي وصفها لأول مرة مع مجموعة من الباحثين البريطانيين في جامعة Nottingham ببريطانيا عام ٢٠١٣. وتخلو هذه الطبقة من الخلايا القرنية (Keratocytes) وهي طبقة شديدة المقاومة وغير نفوذة للهواء. [41]

٤. غشاء ديسميه(Descemet's Membrane):

يشكل الطبقة القاعدية للبطانة القرنية، ويتألف بشكل أساسي من الكولاجين من النمط الرابع، ويقسم غشاء ديسميه لقسمين: قسم جنيني مخطط (٣ مكرون) يتشكّل قبل الولادة، وقسم آخر غير مخطط يتشكّل عبر خلايا البطانة مدى العمر، حيث تبلغ سماكة غشاء ديسميه عند الولادة ٣-٤ مكرون، وتصل حتى ١٠-١٢ مكروناً عند الكهول.[36]

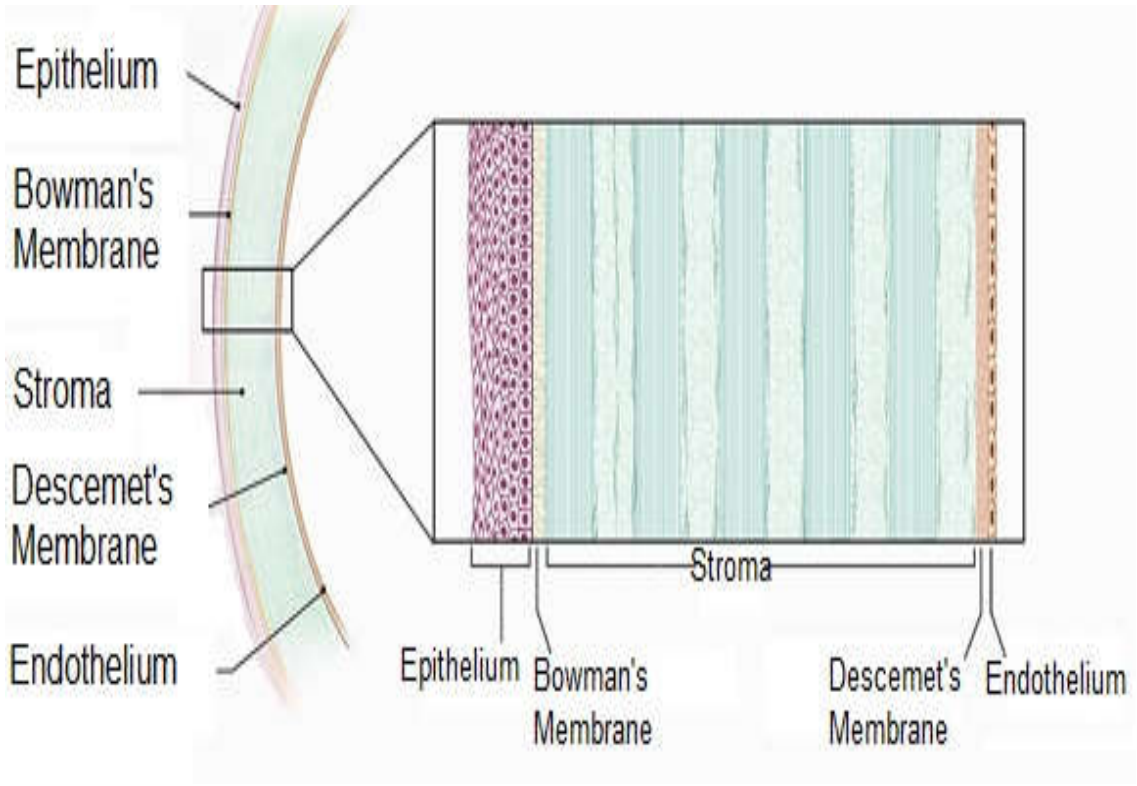
٥. بطانة القرنية (Corneal Endothelium):

تبلغ سماكتها 5 مكرون، وتتألف من طبقة واحدة من الخلايا سداسية الأضلاع، وعند رؤيتها من الوجه الخلفي تأخذ هذه الطبقة الوحيدة شكلاً يشبه عش النحل.

تُعدّ الخلايا البطانية نشيطة استقلابياً، وتحوي مضخة صوديوم/بوتاسيوم (Na+/K+/ATPase) وأنزيم كاربونيك أنهيدراز Carbonic Anhydrase، وكلاهما ضروري لحركة الشوارد بين اللحمة والخلط المائي، وكذلك لتنظيم محتوى الماء ضمن القرنية.

يبلغ عددها عند الوليد حوالي ٤٠٠ ألف–٥٠٠ ألف خلية، وعلى الرغم من عدم قدرة الخلايا البطانية على التكاثر في الأحياء؛ فقد لوحظ أن الخلايا البطانية تمتلك القدرة على التكاثر، ولكن هذه القدرة غائبة في الحالات الطبيعية نتيجة إيقاف المرحلة G1 من الدورة الخلوية، ويبدو أن التماس بين الخلايا البطانية يؤثّر بشكل مهمّ في تثبيط تكاثر الخلايا البطانية.

تبلغ كثافة الخلايا البطانية لدى الولادة حوالي ٣٥٠٠ خلية/ملم٢، وبسبب عدم التجدد عند الأحياء يحدث تناقص تدريجي مع التقدم بالعمر، حيث تتناقص سنوياً بمعدل 0.6% كل سنة.[42,43]



الشكل (1) طبقات القرنية[37]

الفصل الثاني

العدسة

أولاً: لمحة جنينية:

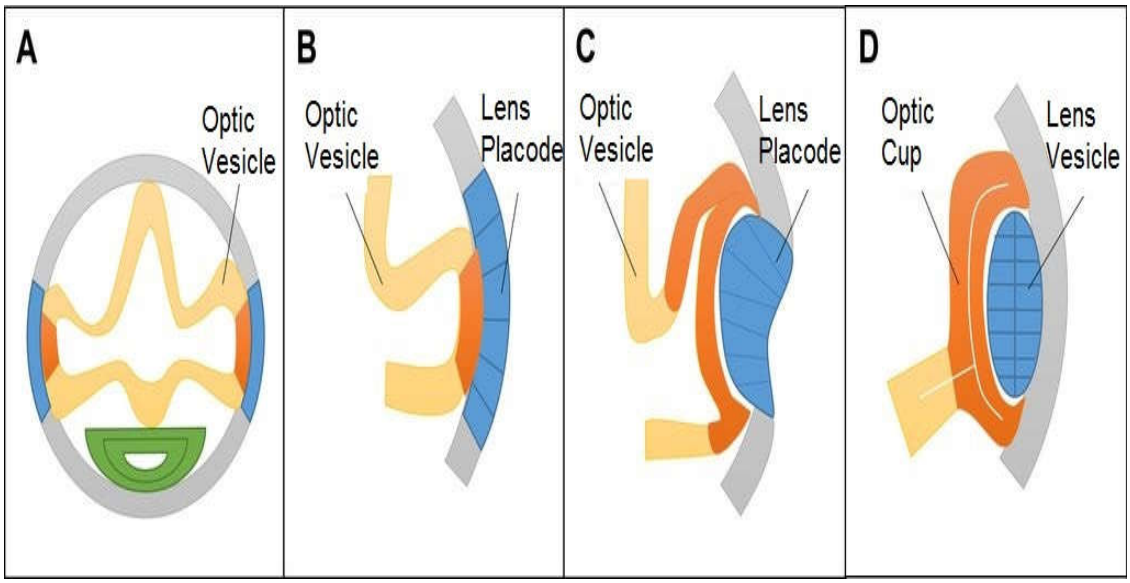
يمكن تقسيم التطور الجنيني للعدسة إلى مرحلتين: تشكيل حويصل العدسة (Lens Vesicle) وتشكيل ألياف العدسة (Lens Fibers).

إن الأنبوب العصبي (Neural Tube) باليوم ال٢٢ للجنين يشكل من الجانبين الطيات العصبية (Neural Folds)، التي تشكل بدورها الثلم البصري (Optic Groove)، والذي يتطور بدوره ليشكل الحويصل البصري (Optic Vesicle).

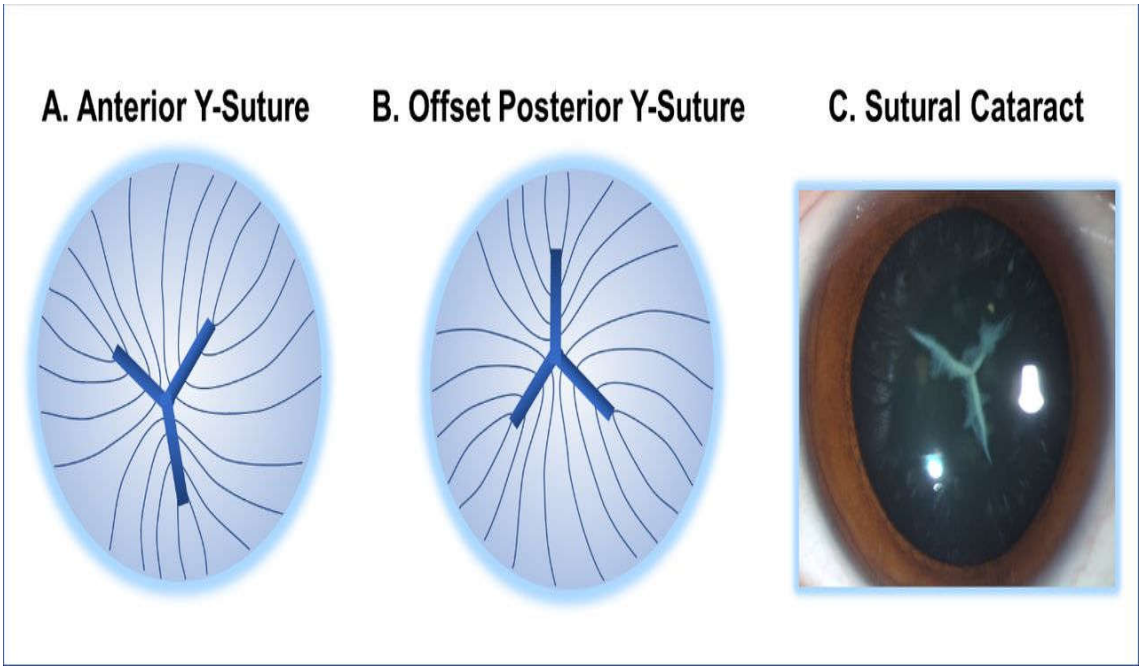
عندما يلامس الحويصل البصري الأديم الظاهر (Ectoderm) فإنه يحرض زيادة سماكته بالمنطقة الملامسة له، و تسمى هذه الزيادة بالسماكة طليعة العدسة (Lens Placode)؛ حيث تنفصل لاحقاً طليعة العدسة عن الأديم الظاهر لتشكل حويصل العدسة (Lens Vesicle)، وتستمر النهاية البعيدة للحويصل البصري بالنمو لتشكل بنية لها طبقة مزدوجة من الخلايا وتسمى القرص البصري (Optic Cup).

تتطور الخلايا الأمامية من حويصل العدسة لتشكل الخلايا الظهارية للعدسة (Lens Epithelium) ؛ بينما تتطاول الخلايا الخلفية تدريجياً لتشكل ألياف العدسة البدئية.

تستمر الخلايا الظهارية الموجودة بالمنطقة الاستوائية للعدسة بالتكاثر مدى الحياة لتشكل ألياف العدسة الثانوية، وتحيط الألياف المتشكلة حديثاً بالألياف القديمة وتدفعها للمركز، وتتحد النهايات المحيطية لألياف العدسة من الأمام ومن الخلف لتشكل دروز العدسة (Lens Sutures)، وتأخذ الدروز الأمامية شكل حرف Y بينما تأخذ الدروز الخلفية شكل حرف Y مقلوب.[44-46]



الشكل (2) التطور الجنيني للعدسة[44]



الشكل (3) دروز العدسة[44]

ثانياً: التشريح العياني:

العدسة أو البلّورة (Crystalline Lens) هي عبارة عن عدسة شفافة محدبة الوجهين، مسؤولة عن ١٥ –٢٠ كسيرة من القوة الكاسرة للعين. يلتقي القطب الأمامي والخلفي في خط تخيّلي يسمى محور العدسة (Axis)، بينما يطلق على المحيط الأكبر للعدسة اسم خط استواء العدسة (Equator)، وتدعى الخطوط السطحية التي تمر من قطب لآخر (Meridians).

تتوضع العدسة في القسم الأمامي للعين خلف القزحية والحدقة، ويلامس السطح الأمامي لها الخلط المائي بينما يلامس السطح الخلفي الخلط الزجاجي، وتقيس المسافة بين القطب الأمامي للعدسة ومركز القرنية حوالي 3.5 سم.

تتألف العدسة من المحفظة (التي تحيط بالقشر والنواة)، وظهارة العدسة، وألياف العدسة (التي تشكل القشر والنواة)، وتتثبت العدسة في مكانها داخل العين بواسطة حلقة من الأربطة المعلقة أو ما يدعى أيضاً ألياف المنيطقة (Zonular Fibers)، التي تنشأ من ظهارة الجسم الهدبي وترتكز على محفظة العدسة الأمامية والخلفية.

تستمر العدسة بالنمو مع العمر، فعند الولادة يبلغ قطرها عند خط الاستواء ٦,٤ ملم، وطولها الأمامي الخلفي ٣,٥ ملم، ويبلغ وزنها ٦٥ ملغ، أما عند البالغين فيصبح قطرها عند خط الاستواء ٩ ملم، و وطولها الأمامي الخلفي ٥ ملم، ويبلغ وزنها ٢٥٥ ملغ.

إن السماكة النسبية للقشر تزداد مع العمر وبالوقت نفسه يزداد انحناء الوجه الأمامي والخلفي للعدسة، وتزداد معه القوة الكاسرة للعدسة، وكذلك تزداد قرينة الانكسار مع العمر بسبب زيادة نسبة البروتينات غير المنحلة بالماء.[47,48]

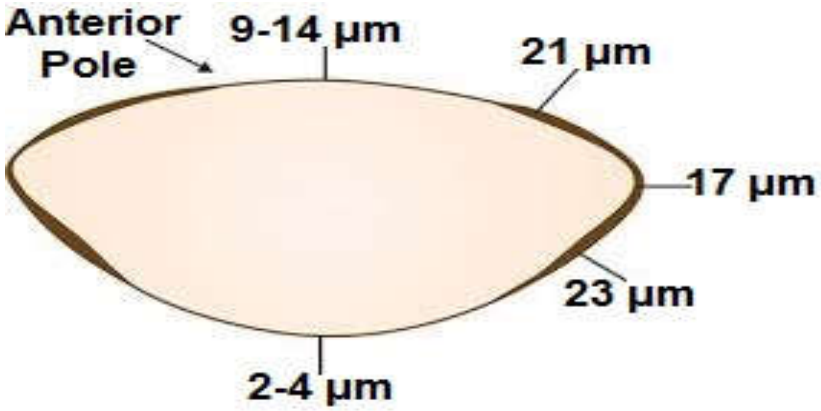
ثالثاً: التشريح المجهري:

إن العدسة الطبيعية غير موعّاة ولا تحوي أقنية لمفية، وهي خالية من الأعصاب والنسج الضامة، وتُعدّ البروتينات مسؤولة عن ٦٠% من كتلة العدسة؛ وهي من أعلى النسب في أنسجة الجسم، وتتألف العدسة من المناطق التالية:

المحفظة (Capsule):

هي غشاء شفاف مرن يتألف أساساً من ألياف الكولاجين من النمط الرابع. وتشكل المحفظة الغشاء القاعدي لظهارة العدسة، كما تغلّف طبقات العدسة المختلفة، وتسهم بشكل رئيسي في تغيّرات المطابقة.

بالنسبة لثخانة المحفظة فهي أكبر ما تكون في المنطقة قبيل الاستواء الخلفية (٢٣ مكرومتر) والأمامية (٢١ مكرومتر)، وأرق ما تكون في القطب الخلفي (٢-٤ مكرومتر)، بينما تكون بالقطب الأمامي (٩-١٤ مكرومتر)، وبشكل عام فإن المحفظة الأمامية أثخن من الخلفية منذ الولادة وتزداد ثخانتها مع العمر، حيث تُفرَز باستمرار من ظهارة العدسة.[47,48]



الشكل (4) سماكة محفظة العدسة[44]

ظهارة العدسة (Lens Epithelium):

تتوضع ظهارة العدسة تحت المحفظة الأمامية، وهي طبقة وحيدة من الخلايا مكعّبة الشكل ومسؤولة عن الفعاليات الاستقلابية الخلوية وصنع ATP الذي يُعدّ مصدراً مهماً لطاقة العدسة.

إن الخلايا الظهارية لها فعالية انقسامية تختلف حسب التوضع، فمعظم الخلايا الظهارية المتوضعة بالمنطقة المركزية خالية من ظاهرة الانقسام؛ بينما تزداد الفعالية الانقسامية بالاقتراب من خط الاستواء، ونصل للمنطقة المولّدة (Germinative Zone) المسؤولة عن تشكيل الألياف الحديثة باستمرار طيلة حياة الإنسان وبالتالي زيادة حجم العدسة ووزنها.

تتبع الخلايا الظهارية نمطاً انقسامياً محدداً بتشكيلها للألياف، حيث تهاجر الخلايا الظهارية الموجودة بالمنطقة المولدة وتنضغط داخل المنطقة الانتقالية، فتتطاول وتتمايز لتشكل كتلة ألياف العدسة، ويرافق هذا التغير في الشكل زيادة كبيرة في البروتينات الخلوية في غشائها، وفقدان النواة والمتقدرات والجسميات الحالة، كما يعتقد أن وجود عوامل النمو في الخلط المائي والزجاجي يحرض الانقسام والتمايز وهذا مايزال قيد الدراسة.

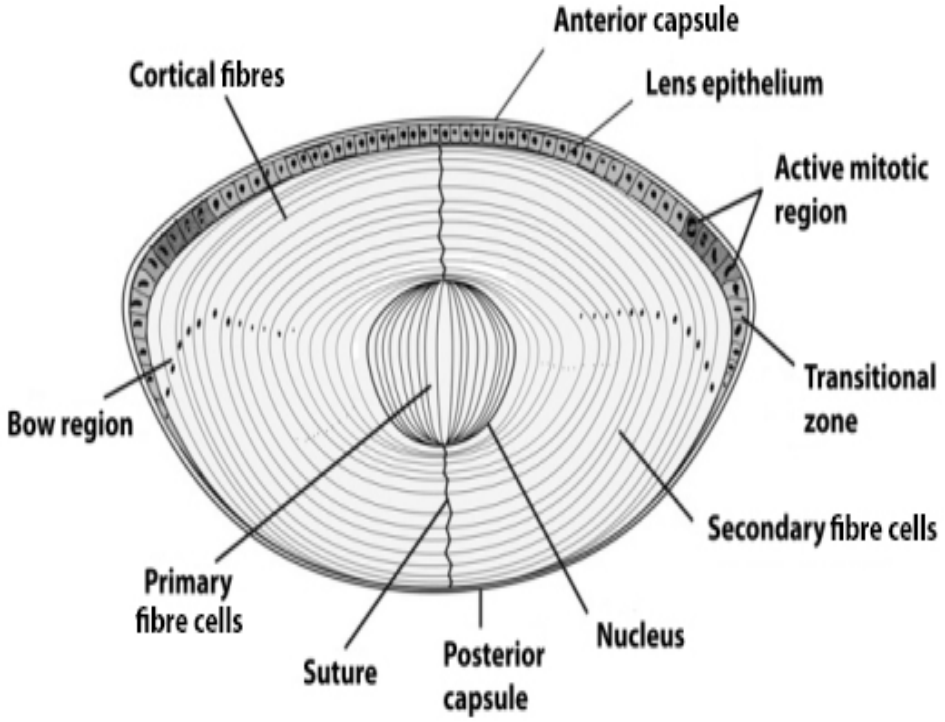
تحوي الخلايا الظهارية والألياف بالعدسة كميات كبيرة من البروتينات خاصة بروتين الكريستالين (Crystalline) الذي يشكل ٩٠% من البروتينات المنحلة بالماء فيها.[47,48]

ألياف العدسة (Lens Fibers):

إن محتوى العدسة يشكل كتلتها الرئيسية، وهو عبارة عن كتلة كثيفة من الألياف تفصل بينها فراغات خارج خلوية صغيرة، ويُعدّ صغر المسافات بينها ضرورياً للحفاظ على شفافية العدسة.

تتألف العدسة من جزأين رئيسيين: النواة المركزية والقشر المحيطي، ويختلف حجم هذين الجزأين حسب العمر، وفي عمر الستين تشكل النواة ٨٤% من حجم البلورة، بينما يشكل القشر ١٦% من البلورة.

تتألف النواة من ثلاثة أجزاء رئيسية هي النواة الجنينية، والنواة الطفلية، والنواة البالغة. تتألف النواة الأولى من الألياف البدئية التي تشكلت خلال الحياة الجنينية، بينما تتألف النواتان الباقيتان من الألياف الثانوية التي تتشكل خلال الحياة، فتضاف الألياف حديثة التشكل للألياف القديمة وتحيط بها بشكل دائري، وتمثّل دروز العدسة (Lens Sutures) مكان اتصال الألياف المحيطية من الأمام ومن الخلف، ويتألف القشر من الألياف المتشكلة بعد البلوغ.[47,48]



الشكل (5) أقسام العدسة[45]

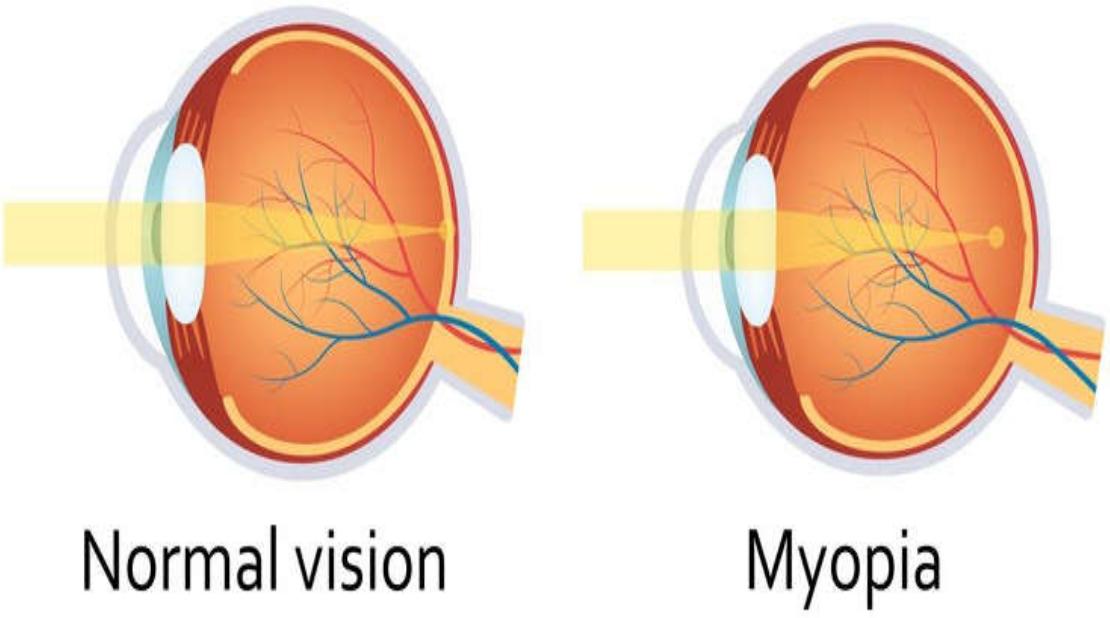
الفصل الثالث

أسواء الانكسار

أولاً: حسر البصر (Myopia):

١-١-تعريف الحسر:

يتشكل حسر البصر عندما تكون القوة الكاسرة للعين قوية بما لا يتناسب مع الطول المحوري للعين؛ حيث تتقارب الأشعة الواردة من الجسم الواقع باللانهاية بشكل أكثر من اللازم في العين الحسيرة وتتجمع بنقطة أمام الشبكية. وتقع نقطة المدى (Far Point) عند الحسير أمام العين، وتكون الرؤية واضحة عندما يقع الجسم بين نقطة المدى ونقطة الكثب (Near Point).[49]



الشكل (6) آلية حسر البصر[50]

١-٢-تصنيف الحسر:

يمكن تصنيف الحسر حسب السبب لحسر انكساري سببه زيادة القوة الكاسرة للقرنية أو العدسة، وحسر محوري سببه زيادة الطول المحوري للعين.

ويمكن أيضاً تصنيف الحسر إلى حسر بسيط وحسر مرضي:

- ينتج الحسر البسيط عن نمو طبيعي لأقسام العين لكن مع قوة كاسرة غير متناسبة مع الطول المحوري للعين، ودرجته غالباً خفيفة أو متوسطة (أقل من ٦ كسيرات)، وغالباً يبدأ بالظهور خلال الطفولة أو المراهقة ويستمر بالتطور خلال فترة المراهقة ليصبح مستقراً بعد العقد الثاني من العمر، وقد يتطور الحسر ثانوياً ببداية العقد الثالث من العمر.
- الحسر المرضي هو حسر عالي الدرجة مع مكافئ كروي أكثر من ٦ كسيرات أو طول محوري للعين أكثر من ٢٦,٥ ملم، ويبدأ بالظهور منذ الطفولة الباكرة، ويترافق مع خطر أعلى لحدوث تنكسات الشبكية وأمراض أخرى مهددة للرؤية.[50,51]

١-٣-انتشار الحسر:

يختلف انتشار الحسر بين المجموعات العرقية المختلفة؛ حيث يتراوح معدل انتشاره بالولايات المتحدة الأميركية بين ٢٠-٥٠%، ويصل في بعض مناطق آسيا مثل تايوان ل ٨٠-٩٠%، وفي دراسة أجراها **حمورغان وزملاؤه>**[52] كانت نسبته عند الأطفال الآسيويين هي الأعلى بنسبة ١٨,٥%، بينما عند الأطفال القوقازيين هي الأخفض بنسبة ٤,٤%، وحوالي ٦٦% من الحسيرين أقل من كسيرتين، و٩٥% من الحسيرين أقل من ٦ كسيرات.[52-54]

الشكل (7) انتشار حسر البصر[51]

١ – ٤ –أسباب الحسر:

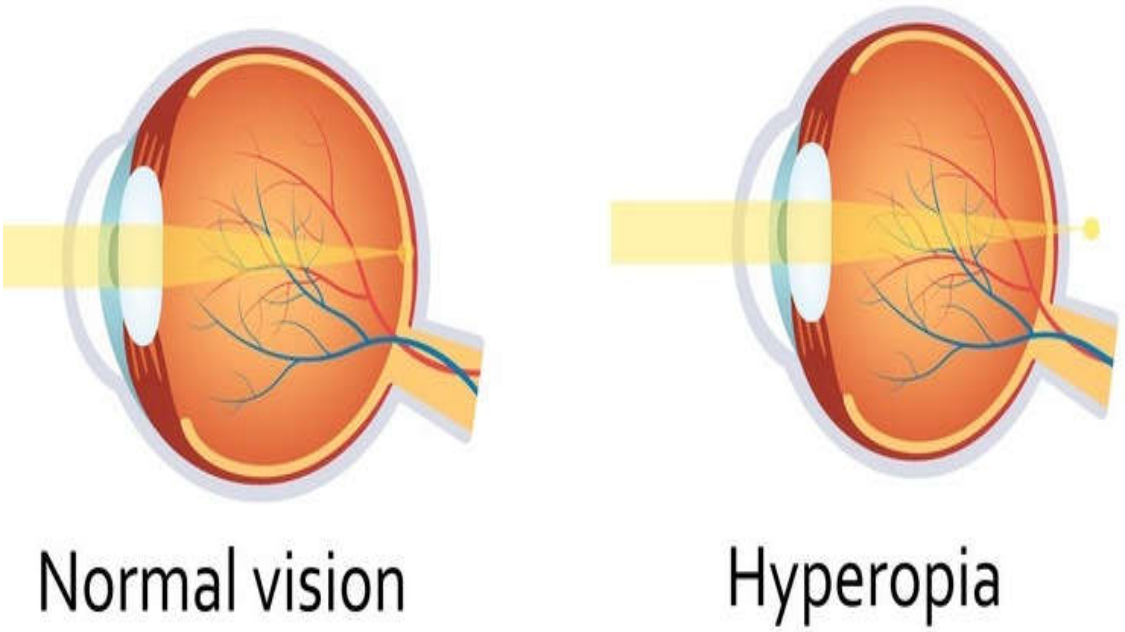
إن الآلية الدقيقة لتشكل الحسر لا تزال غير واضحة؛ حيث تُعدّ متعددة العوامل، ويوجد عوامل عائلية مؤهبة له، و قد يكون للحسر عالي الدرجة غير المرضي وراثة جسمية سائدة، ولكن حتى اليوم لم تُحدَّد مورثة واضحة للحسر غير المرضي، وكذلك يوجد عوامل بيئية تسهم بتطور الحسر خاصة العمل القريب لمدة متواصلة.

ويوجد حالات مسببة للحسر عبر زيادة القوة الكاسرة للعدسة مثل التبدلات الحلولية (السكري، الغالاكتوزيميا، اليوريميا) والساد النووي المصلب، وتغير مكان العدسة (خلع أمامي) وتشنّج المطابقة. وكذلك يوجد حالات مسببة للحسر عبر زيادة القوة الكاسرة للقرنية مثل القرنية المخروطية، أو زيادة الطول المحوري للعين مثل الزرق الخلقي، وطوق الصلبة.[52,55]

ثانياً: مد البصر (Hyperopia):

٢-١-تعريف المد:

يتشكل مد البصر عندما تكون القوة الكاسرة للعين ضعيفة بما لا يتناسب مع الطول المحوري للعين؛ حيث تتقارب الأشعة الواردة من الجسم الواقع باللانهاية أقل من اللازم في العين المديدة وتتجمع بنقطة خلف الشبكية، وتكون الرؤية للبعيد أفضل من القريب.[56]



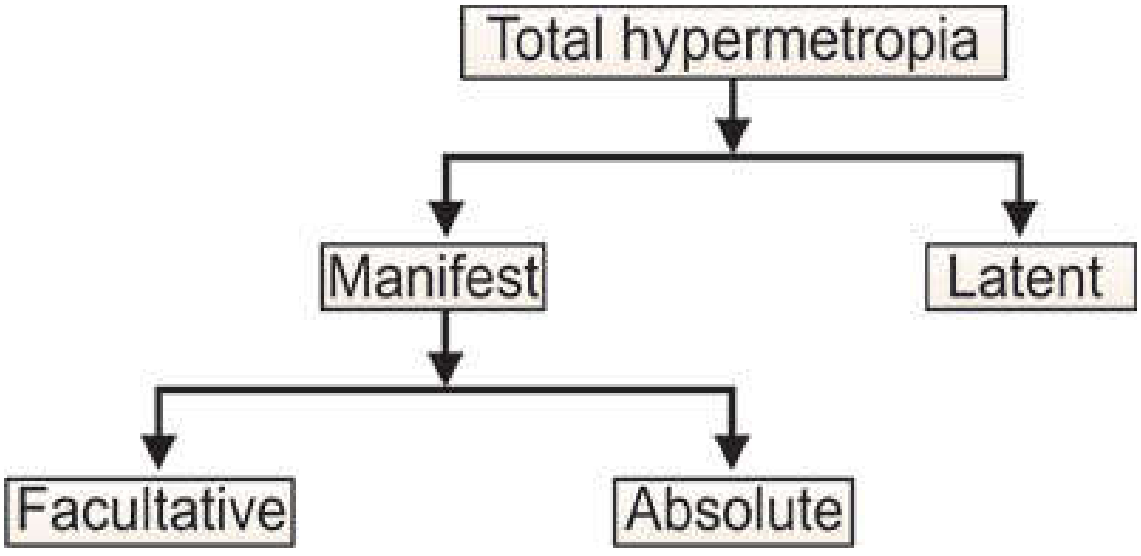
الشكل (8) آلية مد البصر[50]

٢-٢-تصنيف المد:

يمكن تصنيف مد البصر حسب السبب لمد انكساري سببه نقصان القوة الكاسرة للقرنية أو العدسة، ومد محوري سببه نقصان الطول المحوري للعين.

ويمكن كذلك تصنيف المد حسب تأثير المطابقة عليه:

- فالمد الظاهر (Manifest Hyperopia) هو المد دونَ شلّ المطابقة، والمد الكلّيّ (Total Hyperopia) هو المد بعد شلّ المطابقة، بينما المد الكامن (Latent Hyperopia) هو المد الكلّيّ ناقصاً منه المد الظاهر.
- ويُقسَم المد الظاهر (Manifest Hyperopia) إلى نوعين: المد الاختياري (Facultative Hyperopia) الذي يمكن التغلب عليه باستخدام المطابقة والمد المطلق (Absolute Hyperopia) الذي لا يمكن التغلب عليه بالمطابقة.[56]



الشكل (9) أنواع مد البصر[51]

٢-٣-انتشار المد:

يختلف انتشار المد حسب العمر؛ فمعظم الولدان بتمام الحمل لديهم مد خفيف الدرجة، وبعمر ال٦ أشهر تصبح النسبة ٤-٩%، وبعمر السنة تنخفض إلى ٣,٦%.[56] ويزداد ظهور المد مع تقدم العمر، وحسب دراسة أجراها **<كيمبن وزملاؤه>**[57] كانت نسبة الأشخاص المديدين بثلاث كسيرات فأكثر بعمر ال ٤٠ سنة فما فوق في أميركا ٩,٩%، وفي أستراليا ٥,٨%.

وكذلك يختلف انتشار المد بين المجموعات العرقية المختلفة؛ حيث وجدت الدارسات عند الأطفال الأميركيين أن أعلى نسبة للمد كانت عند الأطفال من أصول لاتينية وتبلغ ٢٦,٩%، بينما أقل نسبة له عند العرق الآسيوي وتبلغ ١٣%.[58,59]

٢-٤-أسباب المد:

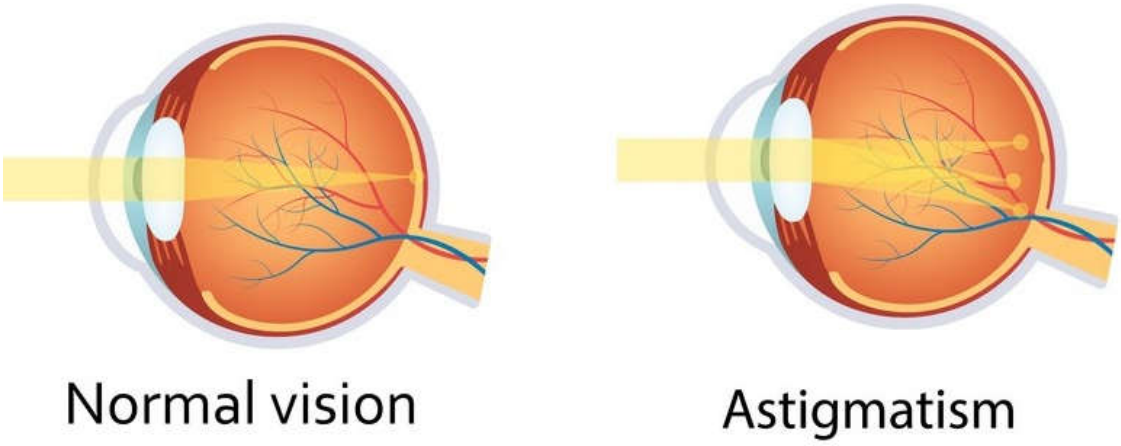
إن الآلية الدقيقة لتطور المد لا تزال غير واضحة؛ وتُعدّ متعددة العوامل، ويوجد عوامل عائلية مؤهبة له، دونَ أن تُحدّد مورثة واضحة له. وكذلك يوجد عوامل بيئية تسهم بتطور المد، وربما يكون للخداج ونقصان وزن الوليد دور في تطور المد.

ويوجد مد وظيفي سببه شلل المطابقة، وكذلك يوجد مد سببه الأمراض المختلفة التي تصيب العين مثل صغر المقلة (Microphthalmia) وغياب القزحية (Aniridia).[56,60]

ثالثاً: حرج البصر (Astigmatism):

٣-١-تعريف الحرج:

يتشكل الحرج عندما تكون القوة الكاسرة للعين غير منتظمة وغير متساوية على كامل المحاور، فلا يلتقي الخطان المحرقيان المتشكلان للجسم بنقطة واحدة؛ مما يسبب تشوشاً بالرؤية على كل المسافات. ويُعدّ توماس يونغ Thomas Young أول من وصف الحرج عام ١٨٠١.[61]



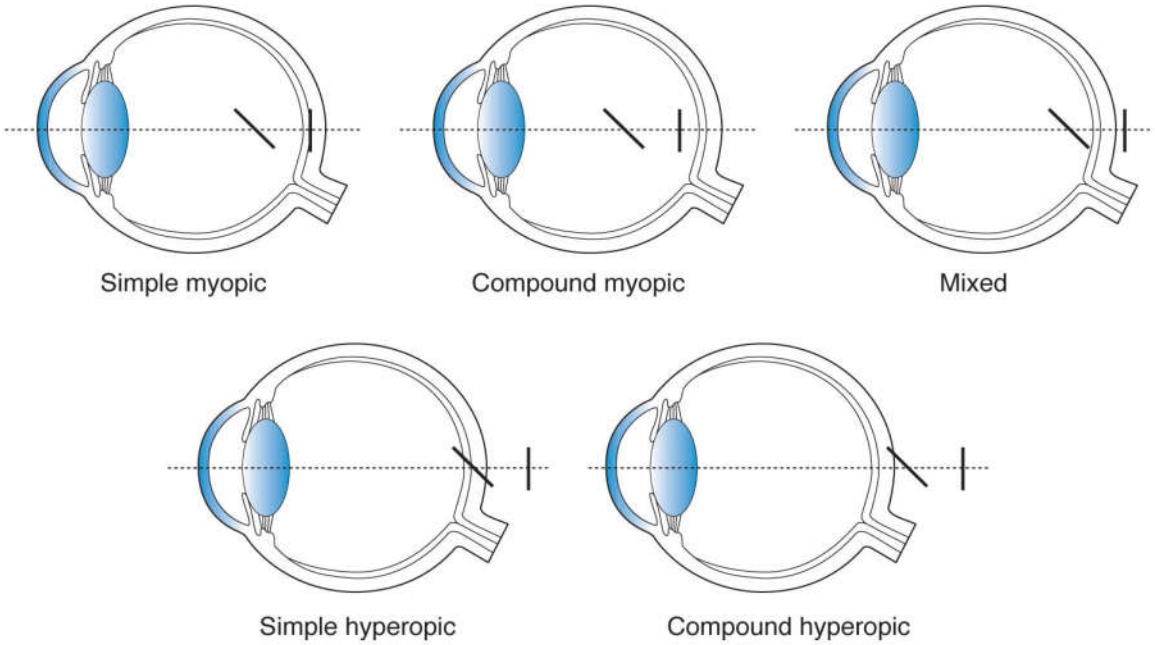
الشكل (10) آلية حرج البصر[50]

٣-١-تصنيف الحرج:

يمكن تصنيف الحرج حسب العلاقة بين المحورين الرئيسيين (Principle Meridians) (المحوران الرئيسيان هما أكثر محور تحدباً وأكثر محور تسطحاً)؛ حيث الحرج المنتظم (Regular Astigmatism) يكون المحوران الرئيسيان فيه متعامدين وتبقى القوة الكاسرة نفسها على كامل المحور الواحد، وللحرج المنتظم ٣ أنواع: الحرج الموافق للقاعدة (With-The-Rule) يكون المحور العمودي هو

الأكثر تحدباً، والحرج المخالف للقاعدة (Against–The–Rule) يكون المحور الأفقي هو الأكثر تحدباً، والحرج المائل حيث يكون المحور الأكثر تحدباً مائلاً. بينما الحرج غير المنتظم (Irregular Astigmatism) يكون المحوران الرئيسيان غير متعامدين (Nonorthogonal)، أو تختلف القوة الكاسرة على المحور الواحد نفسه (Asymmetric).

وكذلك يمكن تصنيف الحرج حسب القوة الكاسرة لكل من المحورين الرئيسيين، حيث الحرج البسيط (Simple Astigmatism) يقع الخط المحرقي الأول على الشبكية؛ بينما الخط المحرقي الثاني يقع إما أمام الشبكية (حرج بسيط حسري) أو خلف الشبكية (حرج بسيط مدي)، بينما الحرج المركب (Compound Astigmatism) يقع كلا الخطين المحرقيين إما أمام الشبكية (حرج مركب حسري) أو يقع كلاهما خلف الشبكية (حرج مركب مدي)، والحرج المختلط (Mixed Astigmatism) يقع أحد الخطين المحرقيين أمام الشبكية والخط المحرقي الآخر خلفها.[62,63]



الشكل (11) أنواع حرج البصر[63]

ويمكن أيضاً تصنيف الحرج حسب السبب، فالحرج القرني (Corneal Astigmatism) سببه عدم انتظام بسطح القرنية الأمامي، ويمكن قياسه بجهاز قياس تحدب القرنية وجهاز طبوغرافيا القرنية، بينما الحرج العدسي (Lenticular Astigmatism) سببه عدم انتظام بالعدسة، ويكون الحرج الكلّيّ (Total Astigmatism) هو مجموع الحرج القرني والحرج العدسي.[62,63]

٣-٣-انتشار الحرج:

يختلف انتشار الحرج بين المجموعات العرقية المختلفة، ففي دراسة أجراها **<كلاينشتاين وزملاؤه>**[53] كانت نسبة انتشاره بين الأميركيين ٢٨,٤%، وفي دراسة **<غارسيا وزملائه>**[64] كانت نسبة انتشاره بين البرازيليين ٣٤%، ويختلف انتشار الحرج كذلك حسب العمر.[65]

٣-٤-أسباب الحرج:

إن الآلية الدقيقة لتشكل الحرج لا تزال غير واضحة؛ وتُعدّ متعددة العوامل، ويوجد عوامل عائلية مؤهبة له، دونَ أن تُحدّد مورثة واضحة له، وربما يكون لمورثة PDGFRA دور بالحرج القرني دونَ أن يُثبَت ذلك بشكل أكيد، وكذلك يوجد عوامل بيئية تسهم بتطور الحرج.[66-68]

رابعاً: الجراحة الانكسارية (Refractive Surgery):

٤-١-لمحة تاريخية:

إن أول بحث نظري عن إمكانية إجراء الجراحة لتصحيح أسواء الانكسار كان للطبيب النرويجي شيوتز (August Schiøtz) عام ١٨٨٥. وفي عام ١٩٣٠ كان الطبيب الياباني ساتو (Tsutomu Sato) أول من أجرى جراحة انكسارية وذلك عند الطياريين العسكريين، حيث أجرى شقوقاً شعاعيّةً للقرنية كاملة السماكة، ورغم أنه استطاع بذلك تصحيح حتى ٦ كسيرات حسر؛ ولكن لسوء الحظ سببت هذه الشقوق انكساراً لمعاوضة بطانة القرنية؛ مما أدى لإيقاف جراحة ساتو.

ويُعدّ الطبيب الإسباني خوسيه باراكيه (Jose Barraquer) الأب الروحي للجراحة الانكسارية الحديثة؛ فهو أول من استطاع إجراء جراحة انكسارية ناجحة على المدى الطويل، وأجراها لأول مرة عام ١٩٦٣، وأسماها Keratomileusis؛ حيث اشتقها من اللغة الإغريقية (κέρας (kéras:horn and σμίλευσις (smileusis: carving))، وتضمنت إزالة جزء من لحمة القرنية ثم تجميده وتُعدّ يله يدوياً ليأخذ الشكل المطلوب وبعدها إعادته للقرنية. وقام الطبيب سوينغر (Casimir Swinger) عام ١٩٨٥ بتطوير هذه التقنية لإجرائها دونَ تجميد.

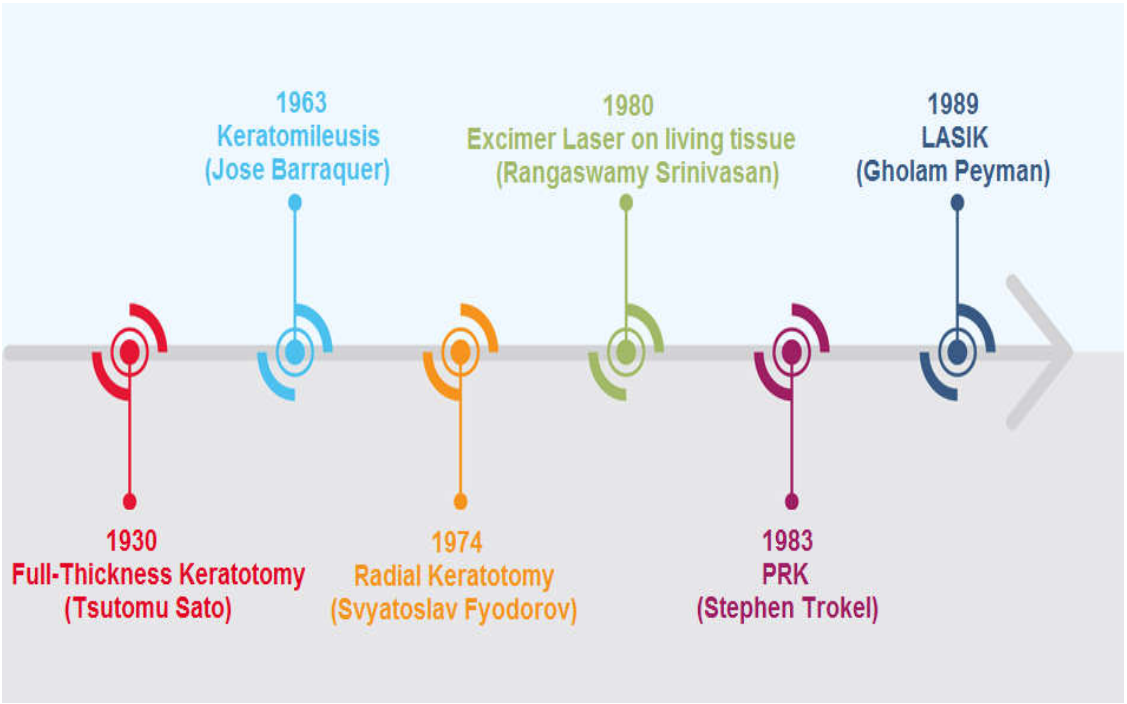
وفي عام ١٩٧٤ ابتكر الطبيب الروسي فيودوروف (Svyatoslav Fyodorov) تقنية خزع القرنية الشعاعي (Radial Keratotomy)، وتضمنت إجراء شقوق شعاعية بمحيط القرنية، وميزتها عن طريقة ساتو أن هذه الشقوق كانت جزئية السماكة ولم تؤثر على بطانة القرنية.

وكان العالم الهندي سرينيفاسان (Rangaswamy Srinivasan) أول من طبّق الاكزايمر ليزر على النسج الحية عام ١٩٨٠. حيث كان هذا العالم يصنع شرائحَ لتخزين المعلومات بشركة IBM

للتقنيات بالولايات المتحدة؛ عندما لاحظ أنه يمكن تطبيق الاكزايمر ليزر على النسج الحية لجعلها تأخذ الشكل المطلوب دونَ حرقها، ممهداً بذلك للجراحة الانكسارية المعتمدة على الليزر.

وفي عام ١٩٨٣ استطاع الطبيب الأمريكي تروكل (Stephen Trokel) بجامعة كولومبيا بالتعاون مع سرينيفاسان إجراء أول عملية من نمط قطع القرنية الانكساري الضوئي PRK (Photorefractive Keratectomy).

وكان الطبيب الإيراني غلام بيمان (Gholam Peyman) عام ١٩٨٩ أول من أجرى فكرة صنع Flab بالقرنية وإعادتها بعد حرق اللحمة؛ وأخذ عليها براءة اختراع في الولايات المتحدة الأمريكية تحت اسم: "Method for modifying corneal curvature," U.S. Patent #4,840,175، والتي قام الطبيب اليوناني باليكاريس (Ioannis Pallikaris) في جامعة كريت (Crete) بتسميتها LASIK (Laser-Assisted In Situ Keratomileusis) عام ١٩٩١.[69,70]



الشكل (12) تطور الجراحة الانكسارية[69]

٤-٢-أنواع الجراحة الانكسارية:

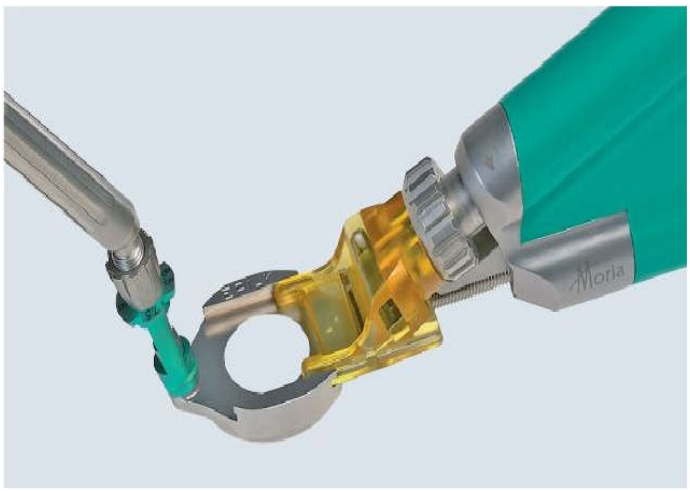
يمكن تقسيم الجراحات الانكسارية حسب مبدئها إلى ٥ أنواع:

١) صنع الشريحة (Flab Procedures):

- **LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis)**: نصنع شريحة عبر قاطع القرنية الدقيق (Microkeratome) أو بالفيمتوليزر (Femtosecond)، ثم نطبق الاكزايمر ليزر على اللحمة، وبعدها نعيد الشريحة لموضعها.
- **ALK (Automated Lamellar Keratoplasty)**: بعد صنع الشريحة نستأصل جزءاً من اللحمة ثم نعيد الشريحة لموضعها.[71,72]

٢) تغيير السطح (Surface Procedures):

- **PRK (Photorefractive Keratectomy)**: نزيل الظهارة بال (Epithelial Spatula) بعد تطبيق الكحول عليها، ثم نطبق الاكزايمر ليزر على اللحمة، ولا يوجد هنا شريحة.
- **TransPRK (Transepithelial Photorefractive Keratectomy)**: تعديل عن الPRK التقليدية؛ حيث نزيل الظهارة عبر الليزر.
- **LASEK (Laser Assisted Sub-Epithelial Keratommileusis)**: أيضاً تعديل عن الPRK التقليدية؛ حيث نعيد الظهارة بعد رفعها لتساعد على سرعة الترميم.
- **EPI-LASIK**: تطوير عن الPRK التقليدية؛ فبدلاً من تطبيق الكحول وأداة (Epithelial Spatula)؛ نستخدم فيه أداة خاصة (Epikeratome).[71,73,74]



Epikeratome

Epithelial Spatula

الشكل (13) أداة Epithelial Spatula وأداة Epikeratome [69]

٣) الشقوق الجراحية القرنية (Corneal Incision Procedures):

- **RK (Radial Keratotomy)**: نجري شقوقاً شعاعية محيطية وجزئية السماكة بالقرنية.
- **AK (Arcuate Keratotomy)**: نجري شقوقاً بشكل قوسيّ بمحيط القرنية لعلاج الحرج.
- **LRI (Limbal Relaxing Incisions)**: نجري شقوق الإرخاء عند الحَوف (Limbus) أثناء عملية استحلاب العدسة.[71]

٤) إجراءات قرنية أخرى:

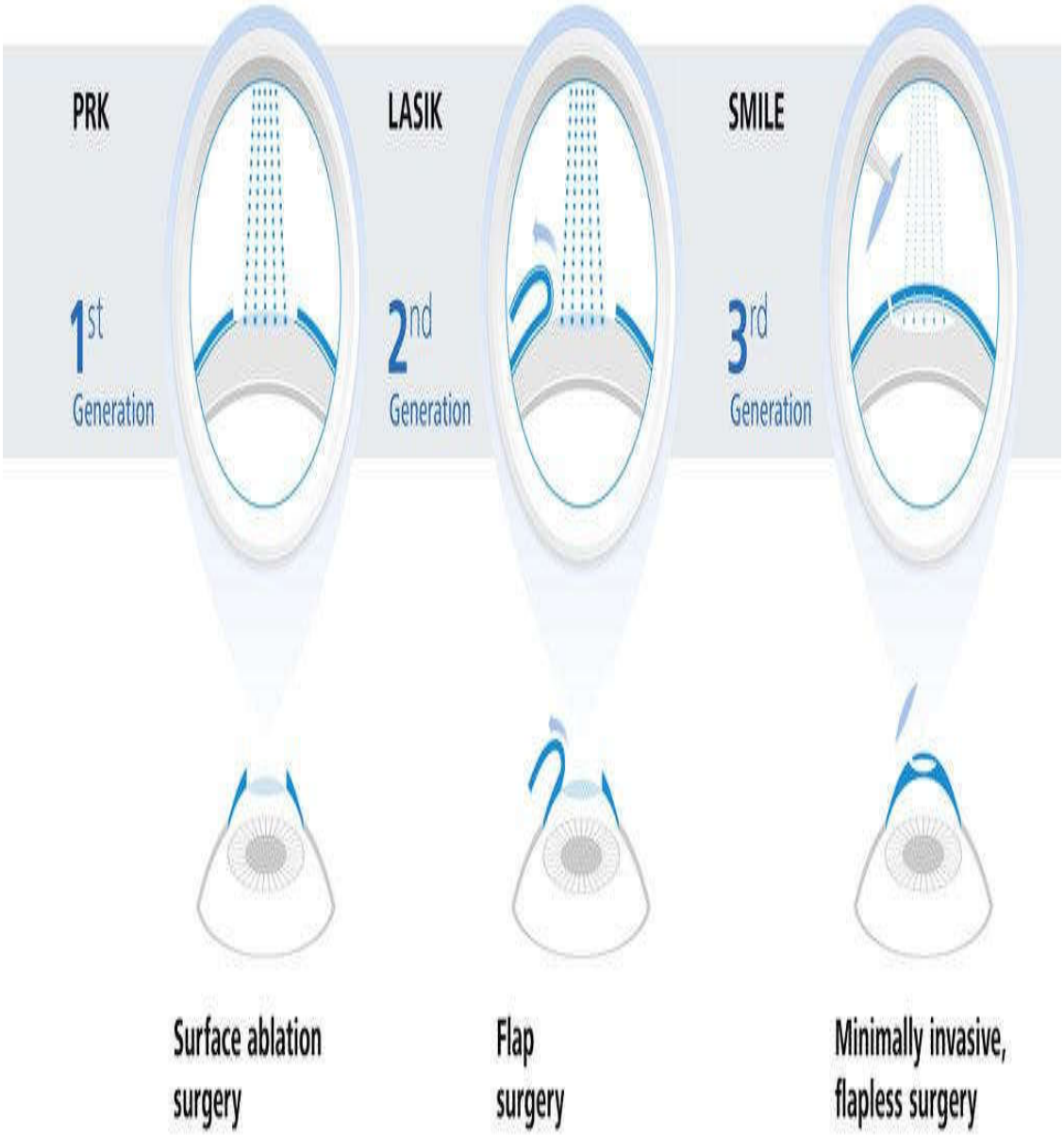
- **Refractive Lenticular Extraction**: نستخدم الفمتوليزر لقطع جزء من اللحمة بشكل عدسيّ، ثم نسحب هذا الجزء إما عبر شق جراحي صغير وتسمى هذه التقنية SMILE

(Small Incision Lenticular Extraction)، أو عبر صنع شريحة فوق هذا الجزء لنستطيع استخراجه (Femtosecond Lenticular Extraction).

- **(Intrastromal Ring Segments)**: نزرع حلقات ضمن لحمة القرنية، وأخذت موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA لعلاج الحسر الخفيف.
- **CK (Conductive Keratoplasty)**: نجري حروقاً باللحمة عبر مسبر كهربائي عالي التردد، وتستخدم سابقاً في علاج المد.[71,75,76]

٥) الجراحات المتعلقة بالعدسة (Lens-Related Procedures):

- **CLE (Clear Lens Extraction)**: نزيل العدسة لنستطيع تصحيح سوء الانكسار العالي.
- **PIOL (Phakic Intraocular Lens)**: نزرع عدسة ثانية أمام العدسة الطبيعية لتصحيح سوء الانكسار العالي، و يسمى النمط الحديث منها ICL .(Implantable Collamer Lens) [77,78]



الشكل (14) أهم الجراحات الانكسارية[69]

الفصل الرابع

الزوغانات البصرية

أولاً: جودة الرؤية (Quality of Vision):

كانت الطريقة التقليدية خلال السنوات الماضية لفحص حدة الإبصار (Visual Acuity) هي عبر استخدام لوحات القدرة البصرية مثل لوحة سنيلن Snellen، ولكن حالياً أصبحت دقة النتائج في هذه الطريقة موضعاً للكثير من التساؤلات؛ حيث كانت حدة الإبصار عند العديد من المرضى ٢٠/٢٠ باستخدام لوحة سنيلن؛ ومع ذلك كانوا يعانون من بعض الصعوبات بالرؤية أثناء أداء وظائفهم اليومية، وأُدخلت بعض التحديثات على لوحة سنيلن التقليدية، فظهرت لوحة ETDRS لتعطي قيماً أدق من لوحة سنيلن؛ ورغم ذلك لم نتمكن من الوصول لمعرفة جودة الرؤية (Quality of Vision) بشكل دقيق.

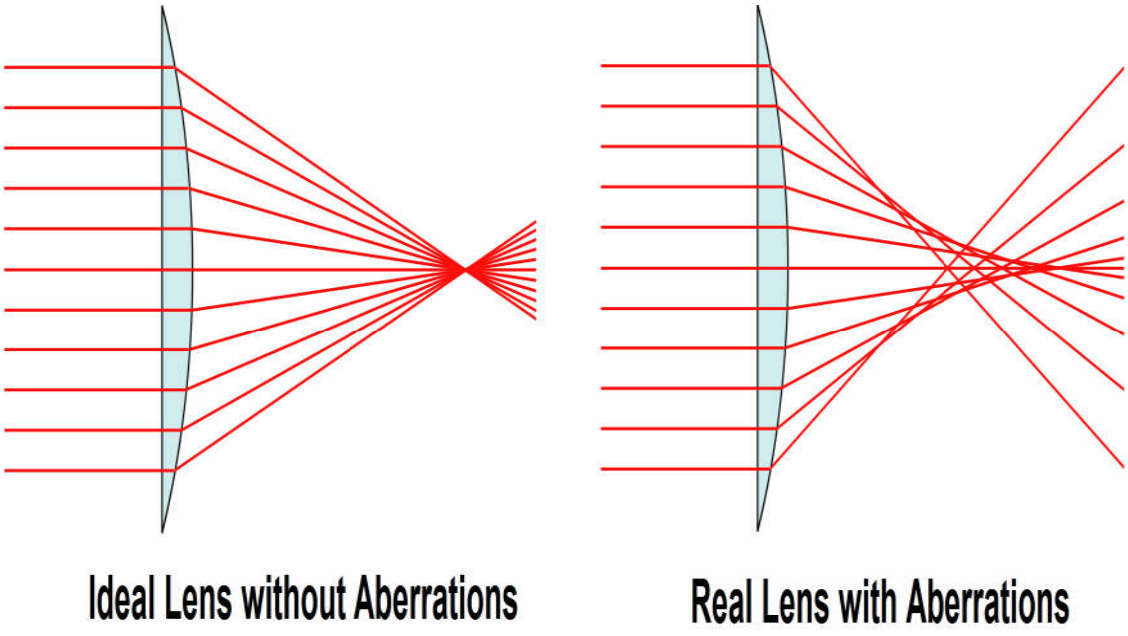
وأُجري كثيرٌ من المحاولات لمعرفة جودة الرؤية (Quality of Vision) بشكل أوسع وأدق من مفهوم حدة الإبصار (Visual Acuity) ولوحاتها التقليدية؛ فصُنعت لوحات لاختبار التباين مثل لوحة Pelli–Robson التي أعطت تقييماً واقعياً أكثر لجودة الرؤية.

ومع ظهور علم سطح الموجة (Wavefront) وتطور مفهوم الزوغانات؛ لم تُعدّ تكفي العيوب الكروية والأسطوانية للتعبير عن جودة الرؤية بشكل دقيق، ولم تُعدّ تمثل أسواء الانكسار الكروية والأسطوانية الوصف الوحيد لعيوب النظام البصري، وظهرت أجهزة قياس الزوغانات لتعطي تقييماً موضوعياً ودقيقاً لجودة الرؤية بما يتجاوز أسواء الانكسار التقليدية، ويسلط الضوء على أهمية الزوغانات عالية الترتيب في مفهوم جودة الرؤية.[79]

ثانياً: تعريف الزوغانات (Definition):

تنكسر الأشعة القادمة للعدسة في النظام البصري المثالي وفقاً لقانون سنيل (Snell's Law)، وتقوم العدسة بتجميع الأشعة الصادرة عن أي منبع ضوئي في نقطة واحدة، ولكن في الواقع مهما كانت العدسة مثاليةً فإنها لا تستطيع تجميع كل الأشعة الواردة عن المنبع الضوئي في نقطة واحدة، ويطلق على الانحرافات بين سطح الموجة المثالية وسطح الموجة المتشكلة من هذه العدسة تسمية الزوغانات (Aberrations).

إن الزوغانات تُعدّ خاصية من خصائص النظام البصري التي تسبب ضعف قدرة النظام البصري على تجميع الأشعة الواردة إليه لتشكيل نقطة واحدة، مما يسبب تشوهاً في شكل الخيال الناتج حسب نوع الزوغانات الموجودة بالنظام البصري.[80,81]



الشكل (15) العدسة المثالية الخالية من الزوغانات والعدسة مع زوغانات[81]

ثالثاً: أسباب الزوغانات (Causes):

٣-١-آلية الزوغانات أحادية اللون والزوغان اللوني:

يمكن تقسيم الزوغانات حسب آلية تشكلها إلى قسمين:

- **الزوغانات أحادية اللون (Monochromatic Aberrations):**

تحدث حتى مع استخدام ضوء يتألف من طول موجي وحيد؛ ولذلك تسمى أحادية اللون، وسببها أن نظرية الأشعة جانب المركزية (Paraxial Theory) لا تنطبق بشكل تام على النظام البصري بالواقع، وهي بدورها تقسم إلى الزوغانات منخفضة الترتيب والزوغانات عالية الترتيب.[82,83]

- **الزوغانات اللونية (Chromatic Aberrations):**

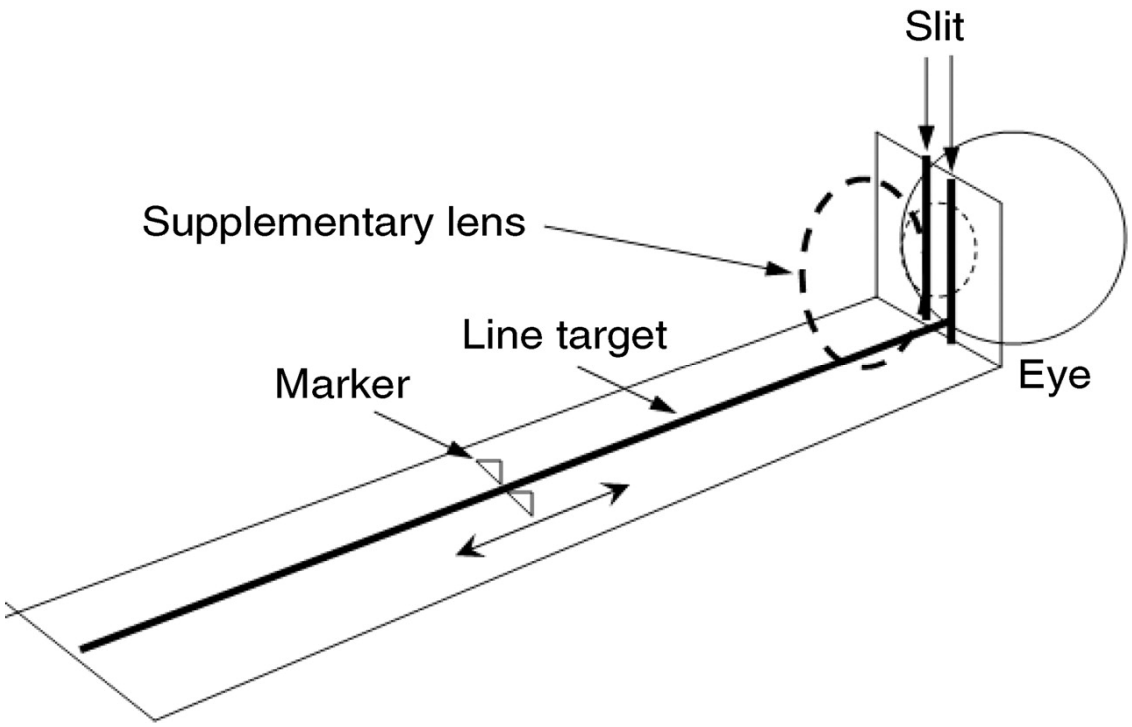
تحدث فقط عند استخدام طيف يحوي عدة أطوال موجية؛ ولذلك تسمى لونية، وسببها ظاهرة التشتت (Dispersion)؛ حيث تختلف قرينة انكسار العدسة حسب الطول الموجي للضوء المار عبرها، مما يؤدي لتجميع الأطوال الموجية المختلفة المارة عبر العدسة في عدة نقط وليس نقطة واحدة.[82,83]

٣-٢-المنشأ العيني للزوغانات:

٣-٢-١-مقدمة تاريخية:

يُعدّ العالم الإنكليزي توماس يونغ Thomas Young (1773-1829) أول من وصف حرج البصر عام 1801، وكذلك يُعدّ من أوائل من أكدوا دور أقسام العين المختلفة في إحداث الزوغانات البصرية؛ ففي

عام 1801 قام بإجراء تجربة على نفسه لتحييد الحرج القرني الموجود لديه باستخدام جهازه الخاص لقياس أسواء الانكسار مع عدسة مملوءة بالماء، ولاحظ بقاء كمية من الحرج بعينه أثناء الرؤية من خلال هذه العدسة المملوءة بالماء؛ مما أكد نظريته أن السطح الأمامي للقرنية ليس المسؤول الوحيد عن الحرج وأن للعدسة دوراً مساهماً في ذلك.[84]



الشكل (16) جهاز توماس يونغ لقياس أسواء الانكسار[84]

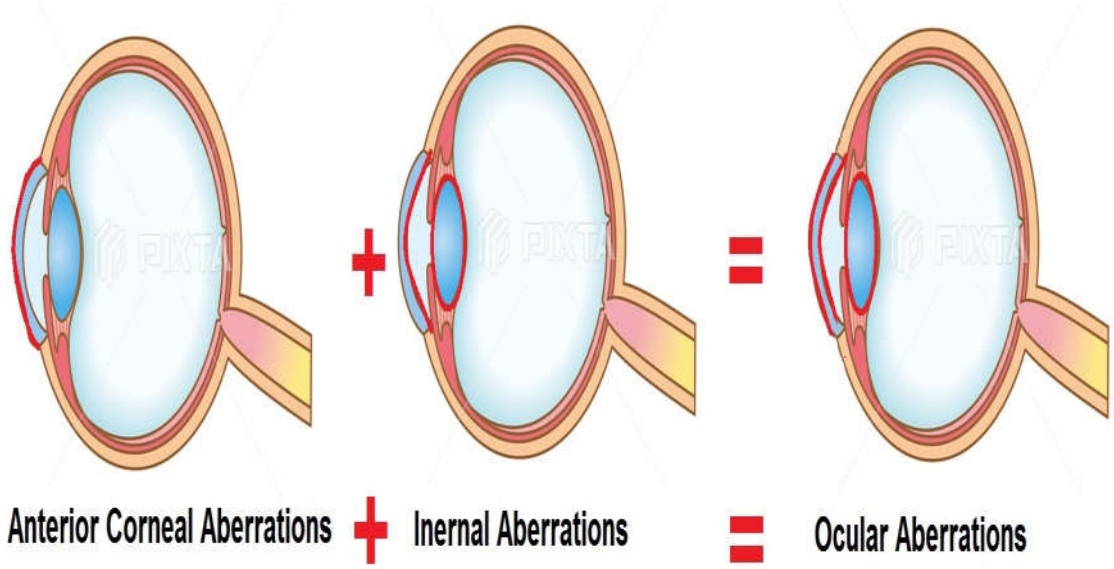
٣-٢-٢-الزوغانات القرنية والداخلية:

مع التطور الكبير بمفهوم سطح الموجة (Wavefront) أُجريت العديد من الدراسات بهدف المعرفة الدقيقة لمساهمة مكونات العين المختلفة بالزوغانات، فقُسِّمت الزوغانات العينية (Ocular

(Anterior Corneal Aberrations) إلى زوغانات السطح الأمامي للقرنية (Aberrations والزوغانات الداخلية (Internal Aberrations) التي تشمل السطح الخلفي للقرنية والعدسة.

وجدت دراسة **<لي وزملائه>**[85] أن الزوغانات الداخلية تعاكس زوغانات السطح الأمامي للقرنية في كل من الزوغان الكروي وزوغان الفاصلة، وكذلك وجدت دراسة **<هاو وزملائه>**[86] هذه المعاوضة بالزوغان الكروي في ظروف الإضاءة المتوسطة.

وتختلف الطريقة التي تقوم بها الزوغانات الداخلية بمعاوضة زوغانات السطح الأمامي للقرنية حسب كل زوغان، فمثلاً بالنسبة للزوغان الكروي وجدت دراسة **<أرتال وزملائه>**[87] أن هذه المعاوضة لها نمط محدد؛ حيث دوماً إشارة الزوغان الكروي الداخلي سالبة ودوماً إشارة الزوغان الكروي الناتج عن السطح الأمامي للقرنية موجبة، بينما في زوغان الفاصلة لا يوجد هذا النمط المحدد للمعاوضة.

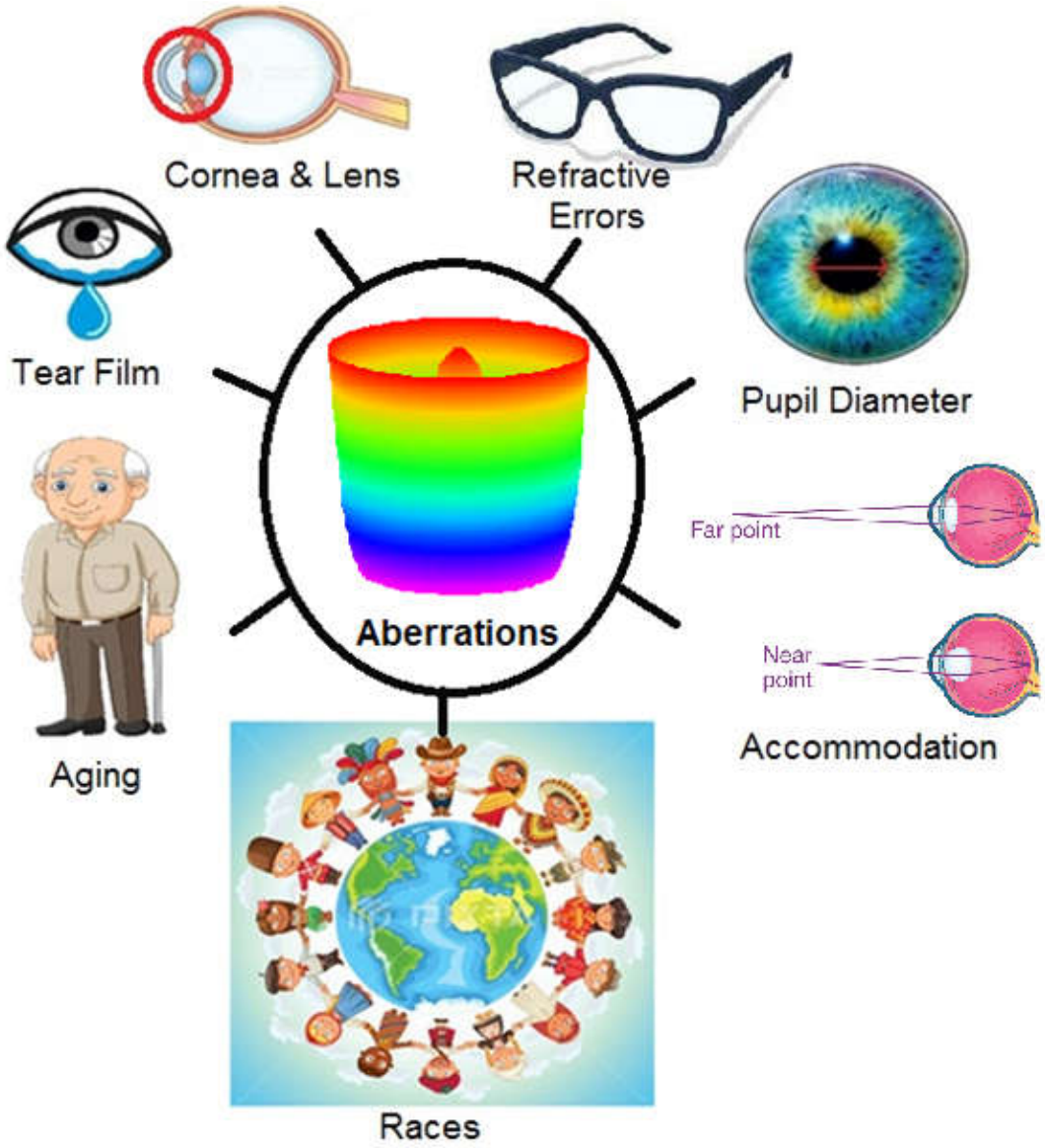


الشكل (17) الزوغانات القرنية والداخلية والعينية[9]

٣-٣-العوامل المؤثرة بالزوغانات:

يوجد عددٌ من العوامل التي تؤثر بالزوغانات[9,25,29,31]، ولعلّ أبرز هذه العوامل:

العوامل التشريحية بالعين (وتشمل: فلم الدمع – قطر الحدقة – القرنية والعدسة)، وأسواء الانكسار، والمطابقة، والعمر، والمجموعة العِرقية.



الشكل (18) العوامل المؤثرة بالزوغانات[81]

٣-٣-١-علاقة الزوغانات مع فلم الدمع:

يُعدّ فلم الدمع ضرورياً للحفاظ على السطح القرني الأمامي بشكل منتظم، وبالتالي يقلل تبعثر الضوء الوارد للعين مما يساعد بالحصول على صورة شبكية جيدة،[88] حيث وجدت دراسة **حمونتيس ميكو وزملائه>**[89] أن الزوغانات القرنية تزداد في العين الجافة مقارنة مع العين الطبيعية، وكذلك وجدت أن استعمال القطرات المرطبة للعين يلغي مؤقتاً الزيادة بالزوغانات الناجمة عن جفاف العين، لذلك يُعدّ الحفاظ على فلم دمع جيد ومنتظم ضرورياً لتقليل التموج بالزوغانات وبالتالي الحفاظ على جودة الصورة الشبكية.

٣-٣-٢-علاقة الزوغانات مع قطر الحدقة:

أجريت العديد من الدراسات التي بحثت عن علاقة الزوغانات القرنية مع قطر الحدقة عبر السنوات الماضية؛ حيث تكون الرؤية بالعين السديدة أفضل ما يمكن مع قطر حدقة يتراوح بين ٢-٥ ملم؛ فعندما يكون قطر الحدقة أقل من ٢ ملم يزداد حدوث ظاهرة انعراج الضوء (Diffraction) مما يؤثر سلباً على جودة الصورة الشبكية، وبالمقابل عندما يكون قطر الحدقة أكثر من ٥ ملم يزداد حدوث الزوغان الكروي (Spherical Aberration)،

وأظهرت دراسة **حتشارمان وزملائه>**[9] أن السبب الرئيسي لنقصان جودة الرؤية مع الحدقات الأقل من ٢ ملم هو ظاهرة الانعراج، بينما مع ازدياد قطر الحدقة يصبح الزوغان الكروي هو المسؤول

بشكل رئيسي عن نقصان جودة الرؤية، ووجدت دراسة **حباكين وزملائه>**[90] أن باقي الزوغانات أيضاً تزداد مع ازدياد قطر الحدقة.

٣-٣-٣-علاقة الزوغانات مع الأوساط الكاسرة بالعين:

رغم مساهمة كل من الوجه الأمامي والخلفي للقرنية والعدسة في الزوغانات؛ إلا أن الوجه الأمامي للقرنية مسؤول عن أكثر من ٩٠% من مجمل الزوغانات عالية الترتيب، حيث تبلغ القوة الكاسرة للوجه الأمامي للقرنية حوالي ٤٨ كسيرة، بينما للوجه الخلفي للقرنية حوالي 6- كسيرات، وللعدسة بين ٢١ و٣٠ كسيرة حسب المطابقة.

ولأن القرنية ليست القوة الكاسرة الوحيدة بالعين؛ لذلك تختلف كمية الزوغان القرني عن الزوغان الكلّيّ للعين، وليس بالضرورة أن يكون تأثير القرنية والعدسة متآزراً في إحداث الزوغانات، لذلك من الضروري معرفة التبدلات التي تصيبهما لفهم الزوغان العيني بشكل كامل.[91-93]

يبقى التغيّر بشكل سطح القرنية الأمامي أصغر ما يمكن مع التقدم بالعمر والمطابقة، على خلاف العدسة حيث يتغير شكلها مع التقدم بالعمر والمطابقة مما يؤدي لتغير الزوغانات الناجمة عنها، وكذلك تتأثر الزوغانات بالأمراض التي تصيب الأوساط الكاسرة للعين خاصة الساد؛ حيث وجدت دراسة **<هاشمي وزملائه>**[31] زيادة بالزوغانات عالية الترتيب عند مرضى الساد النووي.

٣-٣-٤-علاقة الزوغانات مع المطابقة:

إن منعكس المطابقة بالعين يسبب تغير شكل العدسة، مسبباً زيادة تحدب الوجه الأمامي لها، مما يؤثر على الزوغانات عالية الترتيب خاصة الزوغان الكروي، حيث تتغير قيمته من القيمة الموجبة عندما تكون المطابقة مسترخية، ليصبح بقيمة سالبة عندما يتغير شكل العدسة بسبب المطابقة، و تتأثر أيضاً العديد من الزوغانات بالمطابقة، وكذلك أثناء منعكس المطابقة تتقبض الحدقة مما يؤثر بالزوغانات، ويختلف تأثير المطابقة على الزوغانات من عين لأخرى، ولا يمكن التنبؤ به مسبقاً، مما يسبب صعوبة بقياس الزوغانات قبل شلّ المطابقة.[94,95]

٣-٣-٥-علاقة الزوغانات مع العمر:

تحدث العديد من التبدلات بالعدسة مع التقدم بالعمر وتتضمن: تغير انحناء العدسة، وتغير قرينة انكسار النواة، وزيادة سماكة العدسة بسبب التشكيل المستمر للألياف مدى العمر. وهذه التبدلات تؤثر في الزوغانات عالية الترتيب، فوجدت كثيرٌ من الدراسات أن الزوغانات عالية الترتيب تزداد مع تقدم العمر.

أكدت دراسة **حنامبا وزملائه>**[96] حدوث زيادة في الزوغان الكروي الإيجابي العيني مع تقدم العمر، ووجدت دراسات أخرى أكثر تحديداً قام بها **حسميث وزملاؤه>**[97] و **حراور وزملاؤه>**[98] أن الزوغان الكروي القرني مستقر رغم تقدم العمر، ولكن تتغير قيم الزوغان الكروي من القيم السلبية في العدسة الفتية إلى قيم أكثر إيجابية في العدسة مع تقدم العمر، مما يرجح فرضية فقدان التوازن بين زوغانات القرنية والعدسة نتيجة للتغيرات في العدسة التي تحدث مع التقدم بالعمر.

وكذلك وجدت الدراسات التي أجريت حول زوغان الفاصلة مثل دراسة **<أرتال وزملائه>**[99] أنه يوجد أيضاً توازن داخلي في هذا الزوغان في العين الطبيعية؛ ويعوَّض زوغان الفاصلة الأفقية الناجم عن القرنية في الغالب بواسطة العدسة عند الشباب، وهذا التعويض يتناقص مع التقدم بالعمر على نحو غير مفسر حتى الآن مما يسبب زيادة زوغان الفاصلة مع العمر.

٣-٣-٦-علاقة الزوغانات مع المجموعات العِرقية:

وجدت العديد من الدراسات أن انتشار الزوغانات يختلف بين الأعراق، حيث في دراسة **<براكاش وزملائه>**[29] كانت قيمة متوسط الجذر التربيعي RMS للزوغانات عالية الترتيب عند الهنود تقارب القيم عند القوقازيين، وكلاهما أقل من الصينيين بفروقات مهمّة إحصائياً، بينما وجدت دراسة **<سيرفينيو وزملائه>**[100] أنه لا توجد فروقات مهمّة إحصائياً بين قيم متوسط الجذر التربيعي RMS للبيض وللآسيويين البريطانيين. ورغم وجود كثيرٍ من الدراسات لتحديد القيم الطبيعية للزوغانات عالية الترتيب عند معظم الأعراق، إلا أن الدراسات المماثلة عند العرب محدودة للغاية،[25,101] لذلك يجب القيام بعدة دراسات بالأقطار العربية لتحديد القيم الطبيعية للزوغانات عالية الترتيب.

رابعاً: تصنيف الزوغانات (Classification):

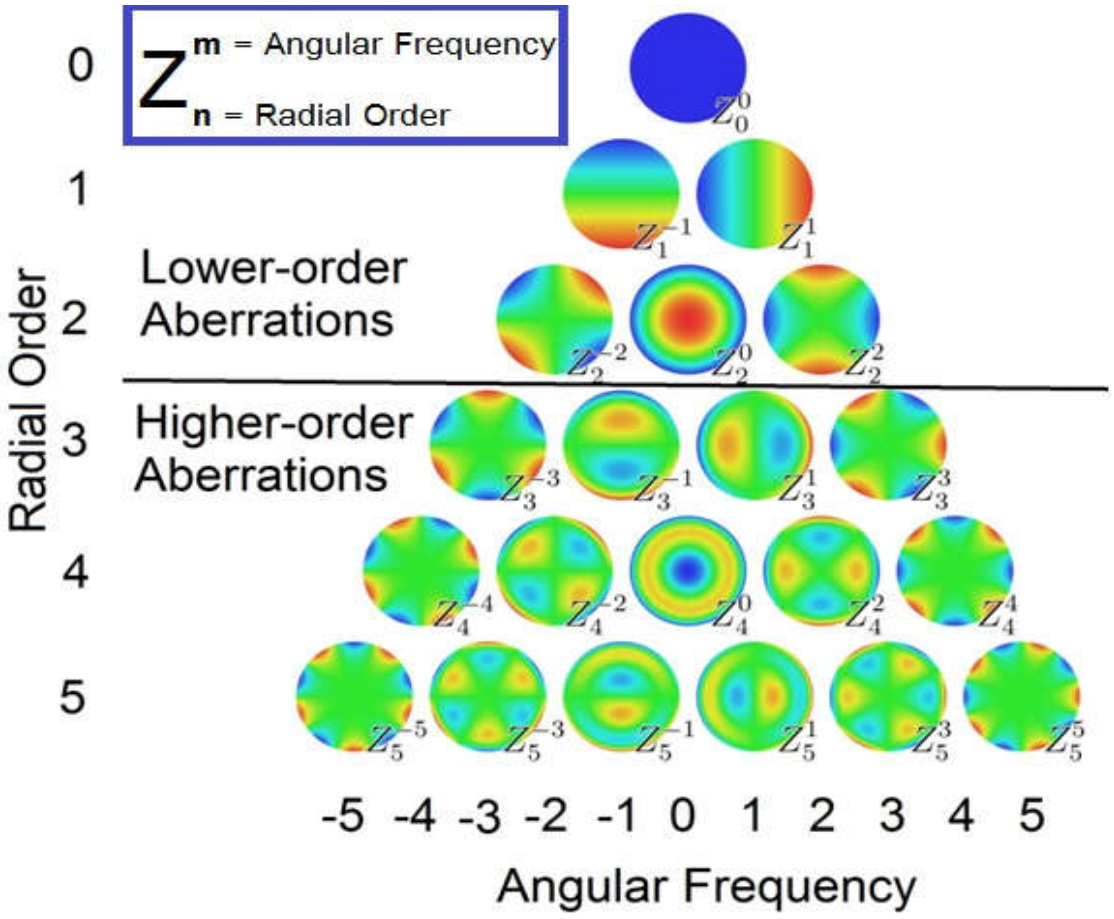
٤-١-تصنيف زيرنكه:

لم تكن هناك طريقة منهجية لوصف الزوغانات حتى أتى الهولندي الحائز على جائزة نوبل للفيزياء فريتس زيرنكه (1888–1966) Fritz Zernike وقدّم تمثيلاً رياضياً منهجياً للزوغانات.

ولأن معظم العيون لا تحوي على زوغان وحيد بل تحوي مزيجاً من الزوغانات التي تسبب أشكالاً معقدة من الأمواج، فهنا يبرز دور تصنيف زيرنكه الذي يحلل واجهة أي موجة إلى الزوغانات المكونة لها؛ وكل زوغان في تصنيف زيرنكه يكتب بشكل Z(n,m)؛ وتسمى n ترتيب الزوغان Order Of (Aberration)، بينما تسمى m التواتر الزاوي Frequency (Angular)، ويتم جمع الزوغانات ضمن هرم مع مراعاة أن الزوغانات التي لها الترتيب نفسه (n = Order Of Aberration) موضوعة في الصف نفسه، ووفقاً لهذا الهرم تُصنّف الزوغانات لمنخفضة الترتيب (الصف صفر والصف الأول والصف الثاني) وعالية الترتيب (من الصف الثالث فأكثر).[102]

ولأنه يوجد عددٌ لا نهائيٌ من كثيرات الحدود لزيرنكه؛ اتُّفِق في مؤتمر العلوم البصرية (VSIA 2000)[103] أن الزوغانات حتى الترتيب الرابع تكفي لتمثيل معظم الزوغانات البصرية الموجودة بالعين البشرية.

واعتُمِد تصنيف زيرنكه طريقةً لتصنيف الزوغانات البصرية من قبل هيئة المعايير الوطنية الأميركية ANSI (American National Standards Institute).[104]



الشكل (19) كثيرات الحدود لزيرنكه لتصنيف الزوغانات[102]

٤-٢-الزوغانات منخفضة الترتيب:

تمثل حوالي ٩٠% من الزوغانات في العين، وتشمل:

- زوغانات الدرجة صفر (زوغان المكبس Piston ولا يُعدّ زوغاناً بصرياً حقيقياً حيث لا يسبب أيّ تشوه بسطح الموجة).
- زوغانات الدرجة الأولى (زوغان الإمالة Tilt وهو أيضاً لا يُعدّ زوغاناً بصرياً حقيقياً حيث لا يسبب أيّ تشوه بسطح الموجة).

- زوغانات الدرجة الثانية (زوغان الحرج Astigmatism وزوغان غياب التركيز Defocus ويُقسَم إلى Positive Defocus يمثل الحسر، و Negative Defocus يمثل المد) وهي أسواء الانكسار التقليدية الكروية والأسطوانية.

ورغم أن الزوغانات منخفضة الترتيب تمثل القسم الأكبر من زوغانات النظام البصري في العين؛ إلا أنه يمكن تصحيحها باستخدام العدسات الكروية والأسطوانية التقليدية.[13,102,103]

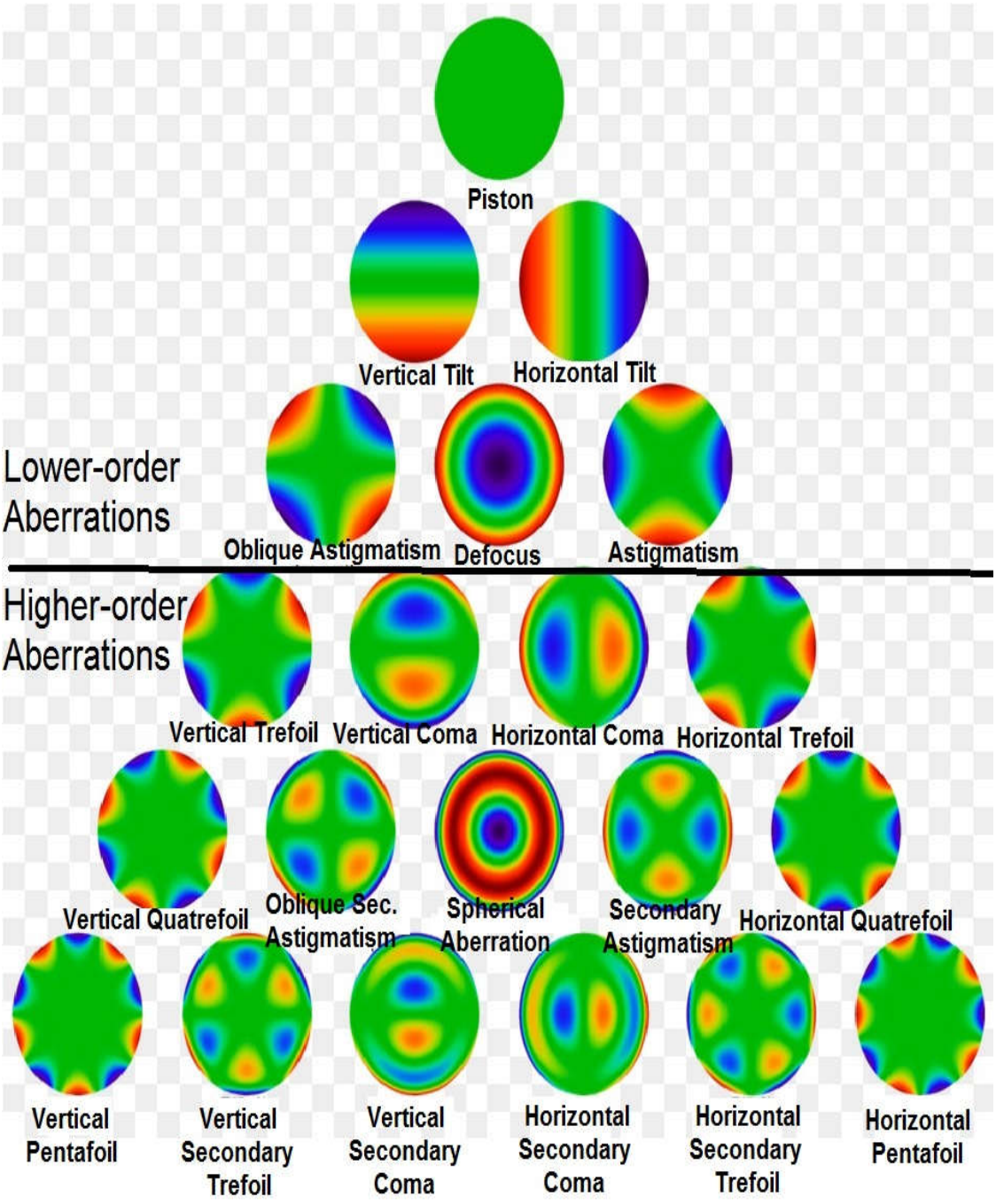
٤-٣-الزوغانات عالية الترتيب:

تشكل هذه الزوغانات 10% من إجمالي الزوغانات، وتبدأ من زوغانات الدرجة الثالثة وفق تصنيف زيرنكه، ومن أهمها:

- زوغانات الدرجة الثالثة (زوغان الفاصلة Coma والزوغان ثلاثي الوريقات Trefoil).
- زوغانات الدرجة الرابعة (الزوغان الكروي Spherical Aberration وزوغان الحرج الثانوي Secondary Astigmatism والزوغان رباعي الوريقات Quatrefoil).
- زوغانات الدرجة الخامسة (كالزوغان خماسي الوريقات Pentafoil)، ويصبح مقدار الزوغانات عالية الترتيب قليلاً بدءاً من زوغانات الدرجة الخامسة، كما أوضح مؤتمر العلوم البصرية (VSIA 2000).

ورغم أن الزوغانات عالية الترتيب تمثل القسم الأصغر من مجمل الزوغانات العينية؛ إلا أن أهميتها تكمن في إضعافها لجودة الخيال الشبكي على شكل هالات ووهيج دونَ أن نستطيع تصحيحها بالوسائل

التقليدية، وتحتاج تصاميم خاصة من العدسات اللاصقة والعدسات المزروعة داخل العين أو حتى من الجراحة الانكسارية.[13,102,103]



الشكل (20) أسماء أهم الزوغانات[13]

٤-٤-تصنيفات أخرى للزوغانات:

٤-٤-١-سلبيات تصنيف زيرنكه:

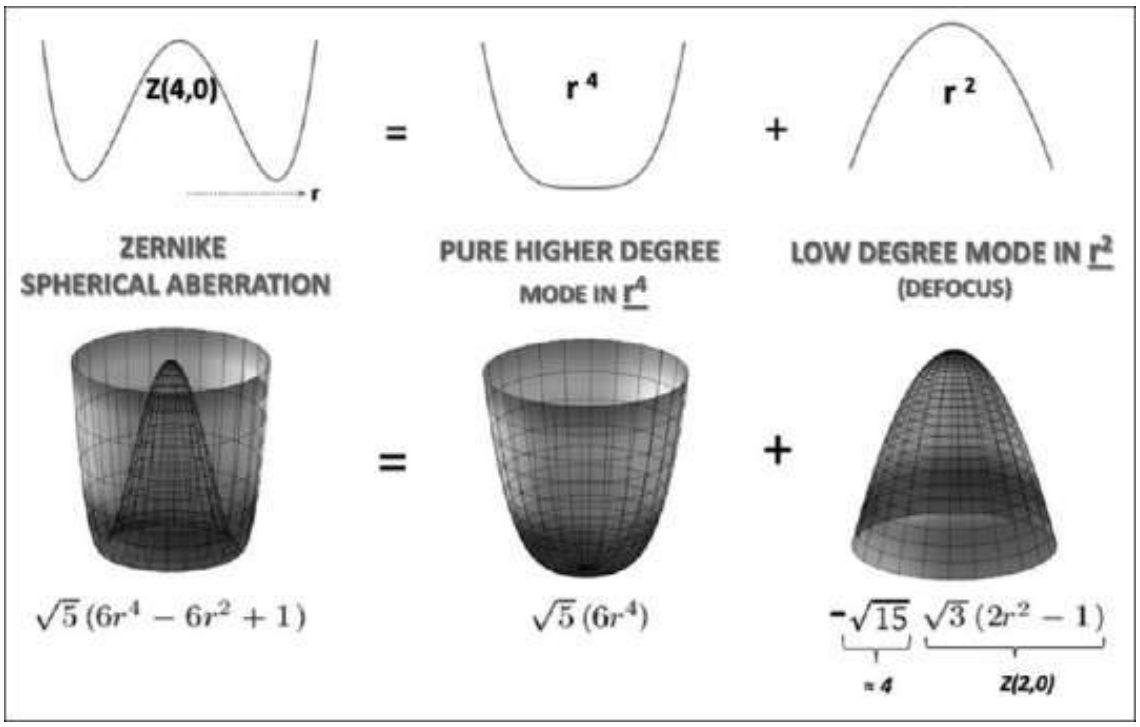
رغم النقلة النوعية التي أحدثها تصنيف زيرنكه (Fritz Zernike) بالتعبير عن الزوغانات بشكل كمّيّ، ورغم أنه التصنيف المعتمد للزوغانات البصرية من قبل هيئة المعايير الوطنية الأميركية (ANSI)؛ إلا أن هذا التصنيف يحوي على عدد من السلبيات، ومنها أنه يتعامل حصراً مع الحدقات الدائرية المنتظمة، وكذلك حدوث تداخلات في بعض الزوغانات منخفضة الترتيب وعالية الترتيب عند محاولة تمثيل الأخيرة بطريقة زيرنكه،[104-106] مما ينقص من دقة النتائج عند التعبير عن هذه الزوغانات عالية الترتيب، ومن الأمثلة على هذا التداخل:

- التداخل بين زوغان غياب التركيز (Defocus) والزوغان الكروي Aberration (Spherical) عند محاولة تمثيل الزوغان الكروي.
- التداخل بين زوغان الحرج الأولي (Primary Astigmatism) والثانوي (Secondary Astigmatism) عند محاولة تمثيل زوغان الحرج الثانوي.
- التداخل بين زوغان الإمالة (Tilt) وزوغان الفاصلة (Coma) عند محاولة تمثيل زوغان الفاصلة.

٤-٥-٢-الزوغان الكروي في تصنيف زيرنكه:

يتأثر القسم المركزي من الزوغان الكروي $Z(4,0)$ (زوغانٌ عالِ الترتيب) في تصنيف زيرنكه بزوغان غياب التركيز Defocus $Z(2,0)$ (زوغانٌ منخفض الترتيب)؛ ويعتبر r^4 هو المميز للزوغان الكروي،

وr^2 هو المميز لزوغان غياب التركيز، وفي تصنيف زيرنكه يدخل كل من r^2 و r^4 في حساب $Z(4,0)$ (الزوغان الكروي) (الشكل 21) ، مما ينقص دقة تمثيل الزوغان الكروي حسب تصنيف زيرنكه. **(107,108)**



الشكل (21) تمثيل الزوغان الكروي وفق تصنيف زيرنكه[108]

٤-٥-٣-زوغان الحرج الثانوي في تصنيف زيرنكه:

يتغير شكل القسم المركزي من زوغان الحرج الثانوي $Z(4,\pm2)$ (زوغانٌ عالِ الترتيب) في تصنيف زيرنكه وفقاً لزوغان الحرج الأولي $Z(2,\pm2)$ (زوغان منخفض الترتيب)، ويُعدّ تمثيل زوغان الحرج الثانوي غير دقيق بشكل كامل في تصنيف زيرنكه؛[105,106] لأنه يتأثر بزوغان الحرج الأولي خاصة في حال كان محور زوغان الحرج الأولي معامداً لمحور زوغان الحرج الثانوي مما يسبب تغيراً بقيمته.

٤-٥-٥- تصنيف الزوغانات منخفضة الدرجة/عالية الدرجة (LD/HD):

إن تداخل بعض الزوغانات منخفضة الترتيب مع القسم المركزي للزوغانات عالية الترتيب يضعف دقة تصنيف زيرنكه بتمثيل الأخيرة، مما أدى لتطوير طرق حديثة للتصنيف مثل الطريقة التي ابتكرها الطبيب الفرنسي غاتينيل Damien Gatinel في مشفى Adolphe De Rothschild بباريس، حيث ابتكر طريقة الزوغانات منخفضة الدرجة/عالية الدرجة (LD/HD)؛ وتعتمد هذه الطريقة على فصل تام بين الزوغانات منخفضة الدرجة وعالية الدرجة، ولذلك يكون القسم المركزي للزوغانات عالية الترتيب وفق تصنيف (LD/HD) مسطحاً أكثر من تصنيف زيرنكه ولا يتأثر بالزوغانات منخفضة الترتيب؛ مما يعطيها دقة أعلى بالتمثيل.[105,106]

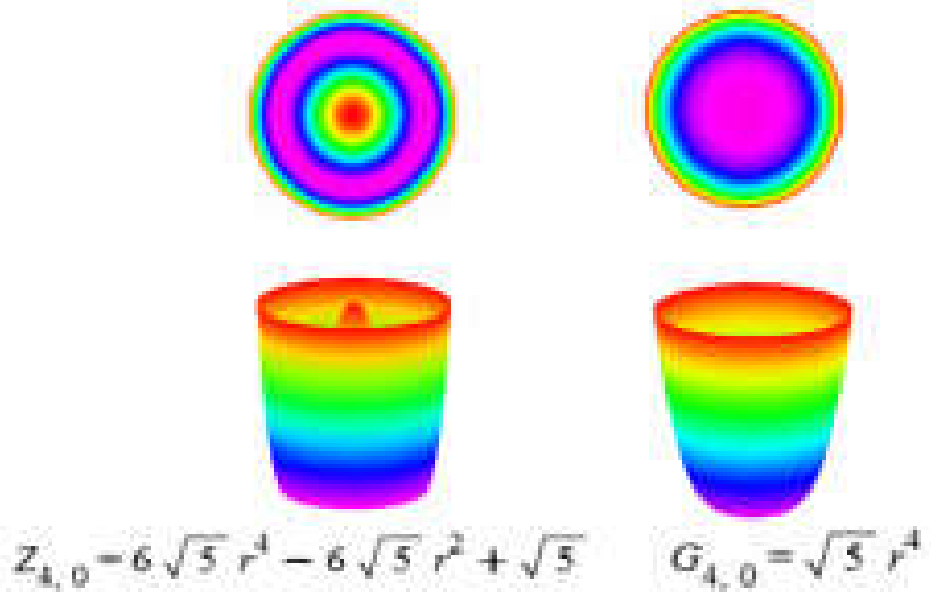
ويوضح الشكل (22) طريقة حساب بعض الزوغانات عالية الترتيب في كل من تصنيف زيرنكه وتصنيف الزوغانات منخفضة الدرجة/عالية الدرجة.

Zernike	LD/HD
$Z_3^{-1}=2\sqrt{2}(3r^3-2r)\sin(\theta)$	$G_3^{-1}=2\sqrt{2}\,r^3\sin(\theta)$
$Z_3^{+1}=2\sqrt{2}(3r^3-2r)\cos(\theta)$	$G_3^{+1}=2\sqrt{2}\,r^3\cos(\theta)$
$Z_4^{-2}=\sqrt{10}\left(4r^4-3r^2\right)\sin(2\theta)$	$G_4^{-2}=\sqrt{10}\,r^4\sin(2\theta)$
$Z_4^{+2}=\sqrt{10}\left(4r^4-3r^2\right)\cos(2\theta)$	$G_4^{+2}=\sqrt{10}\,r^4\cos(2\theta)$
$Z_4^{0}=\sqrt{5}\left(6r^4-6r^2+1\right)$	$G_4^{0}=\sqrt{5}r^4$

الشكل (22) حساب الزوغانات وفق تصنيف زيرنكه وتصنيف (LD/HD)[105]

ويكون رمز الزوغان الكروي في تصنيف الزوغانات منخفضة الدرجة/عالية الدرجة هو G(4,0)، ويكون متعلقاً فقط بـ r^4؛ على خلاف الزوغان الكروي بتصنيف زيرنكه Z(4.0) الذي يدخل بتمثيله كل من r^4 و r^2.[105,106]

كما يوضح الشكل (23) الزوغان الكروي بكلا التصنيفين؛ حيث نلاحظ تسطحه بالمركز في تصنيف الزوغانات منخفضة الدرجة/عالية الدرجة مقارنة مع تصنيف زيرنكه.



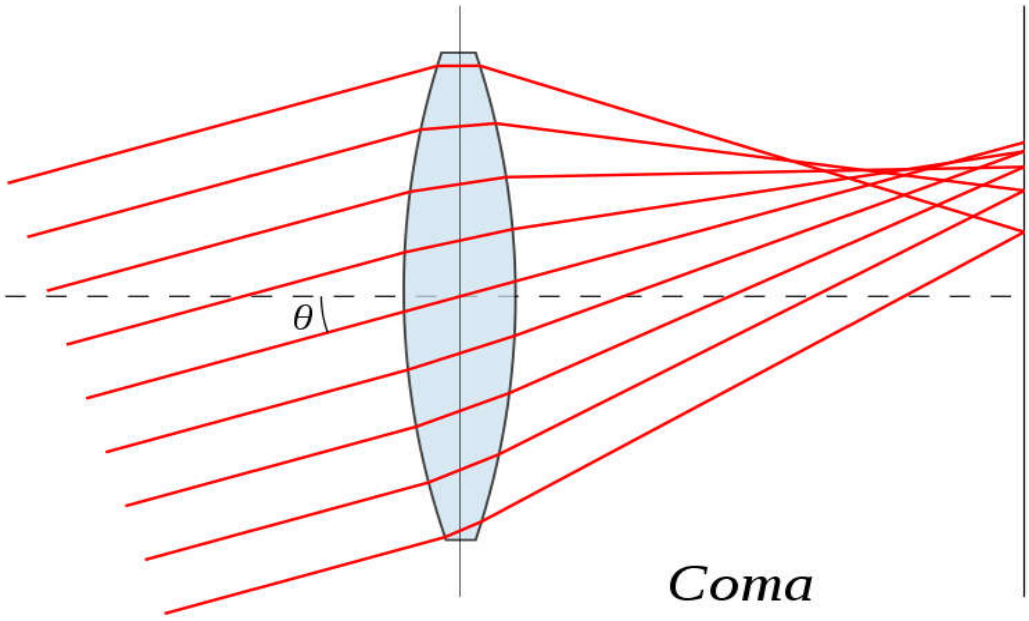
الشكل (23) شكل الزوغان الكروي وفق تصنيف زيرنكه وتصنيف (LD/HD)[105]

خامساً: أهم الزوغانات عالية الترتيب:

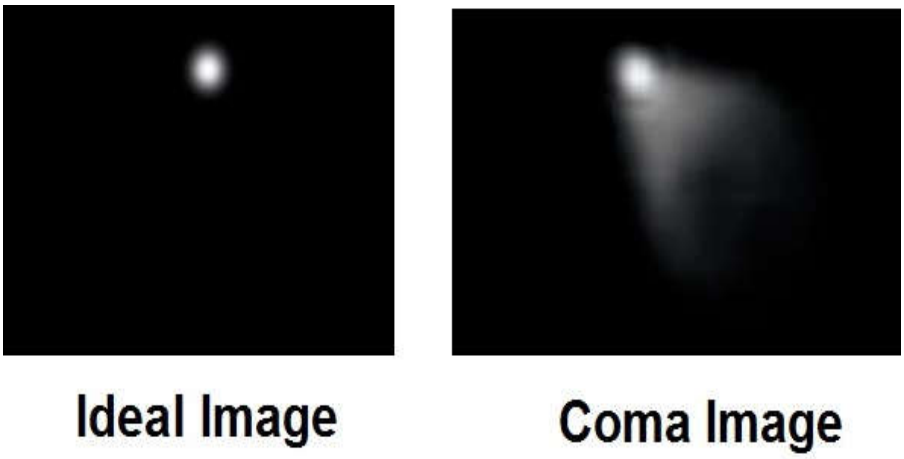
٥-١-زوغان الفاصلة (Coma):

٥-١-١-تعريف زوغان الفاصلة:

هو زوغان أحادي اللون يحدث عندما يقع المنبع الضوئي خارج المحور البصري، وبالتالي يصل الضوء إلى جانب من الحدقة قبل الجانب المقابل؛ مما يؤدي لتشكيل خيالين اثنين لهذا المنبع الضوئي؛ الخيال الأول ناتج عن الأشعة الداخلة للعين من الجانب القريب للحدقة، بينما الخيال الثاني ناتج عن الأشعة الداخلة من الجانب البعيد للحدقة، وتكون الصورة الناتجة عن دمج هذين الخيالين لها ذيل أو مذنب.[10]



الشكل (24) آلية زوغان الفاصلة[81]



الشكل (25) تأثير زوغان الفاصلة على الرؤية[81]

٥-١-٢- تصنيف زوغان الفاصلة حسب زيرنكه:

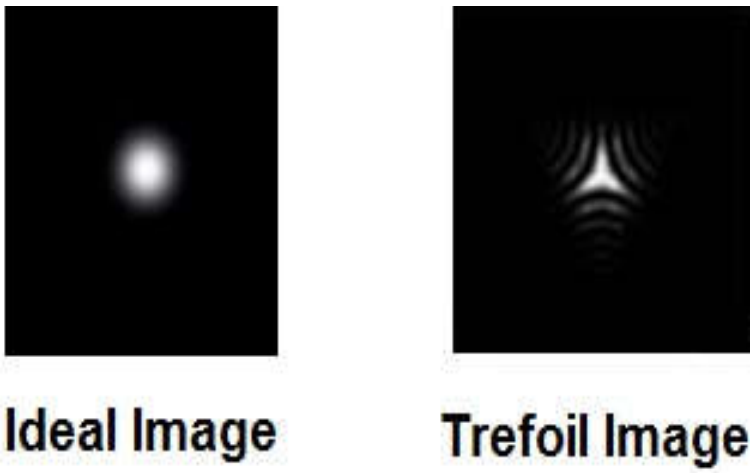
- يأخذ زوغان الفاصلة الأفقية الترتيب التالي: $Z(3,1)$ بينما يأخذ زوغان الفاصلة العمودية الترتيب التالي: $Z(3,-1)$.
- ويأخذ زوغان الفاصلة الثانوية الأفقية الترتيب التالي: $Z(5,1)$ بينما يأخذ زوغان الفاصلة الثانوية العمودية الترتيب التالي: $Z(5,-1)$. [10]

٥-٢-الزوغان ثلاثي الوريقات (Trefoil):

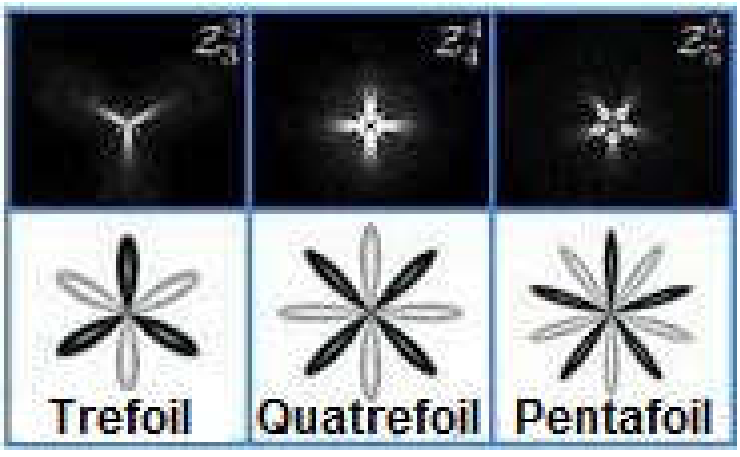
٥-٢-١-تعريف الزوغان ثلاثي الوريقات:

هو زوغان أحادي اللون ينتج عن التغير المتناوب والمنتظم للقوة الانكسارية بين المحاور في محيط القرنية، ويعرف أيضاً باللابؤرية الثلاثية؛ حيث يؤدي الى رؤية المنبع الضوئي النقطي على شكل إشارة

المرسيدس، ونجد في التراتيب الأعلى من المستوى الثالث أن هذا الزوغان يحوي على عدد أكبر من الوريقات تبعاً لازدياد الترتيب؛ حيث نجد بالترتيب الرابع الزوغان رباعي الوريقات (Quatrefoil) ويأخذ شكل إشارة الضرب، ونجد بالترتيب الخامس الزوغان خماسي الوريقات (Pentafoil).[10]



الشكل (26) تأثير الزوغان ثلاثي الوريقات على الرؤية[81]



الشكل (27) الزوغان ثلاثي الوريقات ورباعي الوريقات وخماسي الوريقات[81]

٥-٢-٢-تصنيف الزوغان ثلاثي الوريقات حسب زيرنكه:

- ❖ يأخذ الزوغان ثلاثي الوريقات الأفقي الترتيب التالي: $Z(3,3)$، بينما يأخذ الزوغان ثلاثي الوريقات العمودي الترتيب التالي: $Z(3,-3)$.
- ❖ ويأخذ الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي الأفقي الترتيب التالي: $Z(5,3)$، بينما يأخذ الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي العمودي الترتيب التالي: $Z(5,-3)$. [10]

٥-٣-الزوغان الكروي (Spherical Aberration):

٥-٣-١-تعريف الزوغان الكروي:

هو زوغان أحادي اللون يؤثر على الرؤية المحيطية، وسببه اختلاف القوة الكاسرة للسطح الكاسر للضوء من المركز إلى المحيط تبعاً لتغير تحدبه؛ وبالتالي اختلاف انكسار الأشعة المحيطية عن الأشعة المركزية مما يؤثر على الرؤية المحيطية، ويؤدي إلى رؤية هالات حول الضوء.[10]

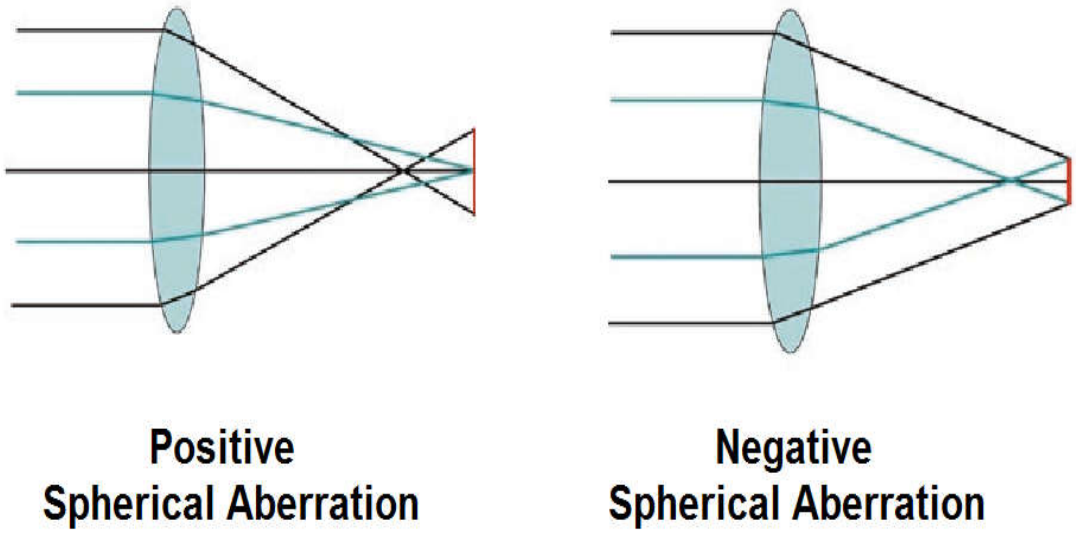
٥-٣-٢- تصنيف الزوغان الكروي حسب زيرنكه:

- ❖ يأخذ الزوغان الكروي الترتيب التالي: $Z(4,0)$.
- ❖ بينما يأخذ الزوغان الكروي الثانوي الترتيب التالي: $Z(6,0)$. [10]

٥-٣-٣-الزوغان الكروي الموجب والسالب:

يمكن أن يكون الزوغان الكروي موجباً أو سالباً:

- **<u>الزوغان الكروي الموجب:</u>** يكون فيه انكسار الأشعة المحيطية أشد من انكسار الأشعة المركزية؛ حيث تزداد القوة الكاسرة من مركز العدسة إلى محيطها.
- **<u>الزوغان الكروي السالب:</u>** يكون فيه انكسار الأشعة المركزية أشد من انكسار الأشعة المحيطية؛ حيث تقل القوة الكاسرة من مركز العدسة إلى محيطها.[10,105]



الشكل (28) آلية الزوغان الكروي الموجب والسالب[9]

سادساً: مقاييس الوظيفة البصرية:

6-1-في مستوى الحدقة:

- **متوسط الجذر التربيعي (Root Mean Square (RMS:**

ويسمى أيضاً المتوسط التربيعي (Quadratic Mean)، ويعبر عن شكل سطح الموجة من خلال تمثيل كمّي لحجم انحراف سطح الموجة عن الموجة المثالية، حيث يقيس الجذر التربيعي لمجموع مربعات قيم الانحراف عن سطح الموجة المثالية، وهي طريقة غير نوعية لأن أنواعاً مختلفة من الانحرافات قد يكون لها قيم RMS متماثلة ولكن لها تأثيرات مختلفة على الرؤية، لذلك لا يعبّر ال RMS عن الأداء البصري.[15]

6-2-في مستوى الشبكية:

- **Point Spread Function (PSF):**

ابتكرها العالم الإنكليّزي George Airy (1892 -1801)، وتعبّر هذه الطريقة عن الصورة التي يشكلها النظام البصري لمصدر نقطي، وفي النظام البصري المثالي صورة النقطة ستكون نقطة، ومع وجود ثقب ضيق أمام المنبع الضوئي وحدوث ظاهرة الانعراج (Diffraction)؛ تصبح هذه النقطة المثالية بشكل Airy Disc.[109]

- **Strehl Ratio (SR):**

ابتكرها العالم الألماني Strehl Karl (1864—1940) كقيمة للتعبير عن جودة الصورة المتشكلة، وهي تقيس نسبة الصورة المثالية على الصورة التي تعاني من ظاهرة الانعراج، وتتراوح قيمة Strehl Ratio بين 0 و 1، ويكون النظام البصري المثالي الخالي من الزوغانات لديه قيمة Strehl Ratio =1، وعلى عكس RMS؛ تُعدّ Strehl Ratio مقياسًا لتأثير الزوغانات على الأداء البصري بدلاً من التعبير عن شكل سطح الموجة.[110]

- **Modulation Transfer Function (MTF):**

تقيس نسبة انتقال التباين من المنبع الضوئي إلى الخيال المتشكل له، وتتراوح قيمة MTF بين 0 و 1، ويكون النظام البصري المثالي الخالي من الزوغانات لديه قيمة MTF =1، ويمكن تمثيل العلاقة بين قيم ال MTF وتباين المنبع الضوئي بمخطط الMTF.[15,111]

- **Optical Transfer Function (OTF):**

هي تحويل ال Point Spread Function (PSF) إلى مخطط تباين باستخدام طريقة العالم الفرنسي فوريه (Fourier transform).[111]

سابعاً: أجهزة قياس الزوغانات (Aberrometers):

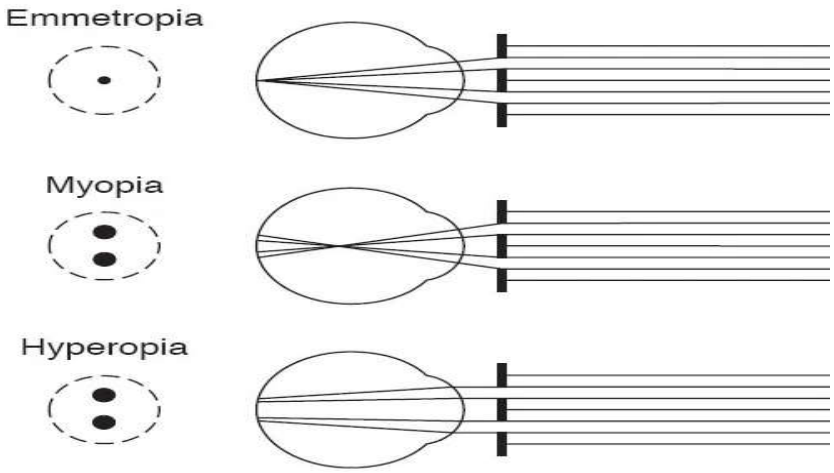
7-1-مقدمة:

تتألف الزوغانات العينية الكلّيّة من زوغانات سطح القرنية الأمامي والخلفي، وزوغانات العدسة، ويطلق اسم الزوغانات الداخلية على زوغانات السطح الخلفي للقرنية وزوغانات العدسة، ويمكن استعمال أجهزة طبوغرافيا القرنية لحساب زوغانات القرنية، ويمكن استعمال أجهزة خاصة لقياس الزوغانات العينية الكلّيّة تسمى Aberrometer، أما بالنسبة لزوغانات العدسة فيمكن تحديدها من خلال الاستخدام المشترك للزوغانات القرنية والزوغانات العينية.

حيث قام **<أرتال وزملاؤه>**[87] بدراسة لمقارنة حساب الزوغانات الداخلية بطريقتين مباشرة وغير مباشرة؛ تُحسَب فيها الطريقة المباشرة عبر تحييد زوغانات السطح الأمامي للقرنية باستخدام عدسة مملوءة بالماء، بينما تُحسَب الطريقة غير المباشرة عبر طرح زوغانات السطح الأمامي للقرنية من الزوغانات العينية، ووجدت هذه الدراسة أن نتائج حساب الزوغانات الداخلية بالطريقة المباشرة وغير المباشرة كانت متماثلة؛ لذلك تستخدم حالياً الطريقة غير المباشرة لحساب الزوغانات الداخلية.

7-2-لمحة تاريخية:

كان الطبيب النمساوي شاينر (Christoph Scheiner) أول من وصف جهازاً لقياس الزوغانات في كتابه "Oculus, sive fundamentum optikum" عام ١٦١٩، فقد صنع قرصاً يحوي ثقباً مركزياً وآخر محيطياً لمعرفة سوء الانكسار الكروي، وهو ما يعرف حالياً باختبار قرص شاينر (Scheiner's) Disc.



الشكل (29) اختبار قرص شاينر[112]

وكان الطبيب الدنماركي تشيرنينغ (Marius Tscherning) من أوائل من صنعوا أجهزة لقياس الزوغانات، ففي عام ١٨٨٤ استخدم تشيرنينغ عدسة محدبة عليها عدة ثقوب مع منبع ضوئي خلفها، وطلب من المريض أن يرسم الشكل الذي يراه من خلال هذه الثقوب، وفي عام ١٩٦٠ قام العالم هولاند (Howland) بتطوير فكرة تشيرنينغ بربط اختراعه مع جهاز تصوير وتحليل رقمي للزوغانات.

وبعد حوالي ٣٠٠ عام من فكرة شاينر قام العالم هارتمان (Hartmann) بابتكار فكرة استعمال ليزر يعطي صورة لها نمط معين بدلاً من الإضاءة عبر الثقوب، وقام بدراسة الأشعة المنعكسة عن العين، وقام العالم شاك (Shack) عام ١٩٧١ بتطبيق مبدأ هارتمان مع بعض التعديلات بنوع الكاميرا ووضع عدسات أمام الأشعة المنعكسة وأصبح هذا الجهاز يسمى (Hartmann–Shack)، وأصبح المبدأ الأشيع استعمالاً بأجهزة قياس الزوغانات.[112-114]

7-3-أجهزة قياس الزوغانات العينية:

يمكن تقسيم أجهزة قياس الزوغانات العينية ل٤ أنواع:

١) Hartmann-Shack:

- وهو أشيع مبدأ استخداماً بالأجهزة التي تقيس الزوغانات، ويستخدم جهاز ليزر يعطي حزمة تتجه مباشرة نحو شبكية المريض ثم تنعكس عنها نحو سلسلة عدسات وكاشف يسجل الزوغانات.
- ومن الأمثلة عليه: الأجهزة الأميركية LADARWave، Wavescan، Zywave.[112,115]

٢) Tscherning:

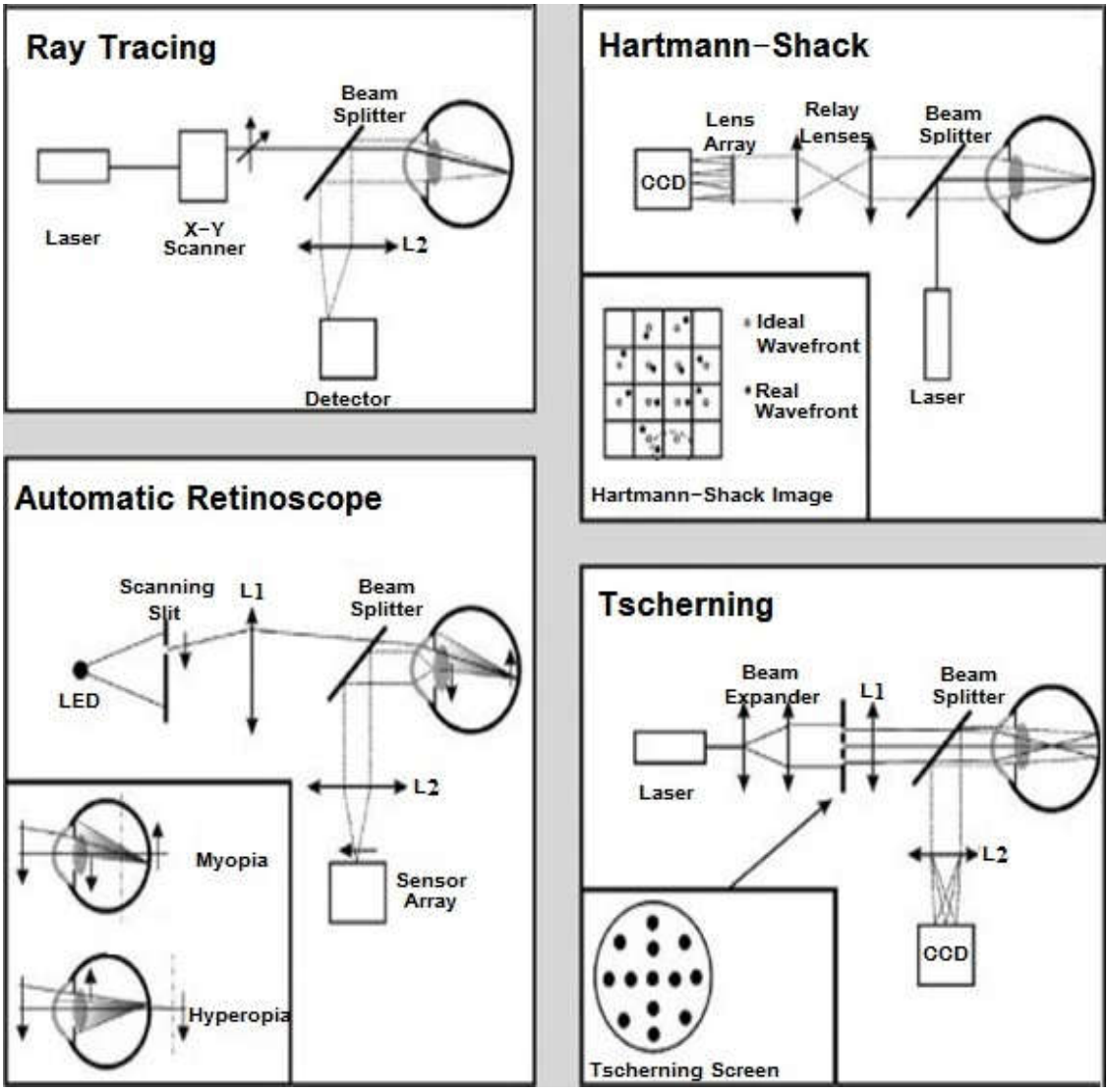
- يستخدم جهاز ليزر يعطي حزمة تمر عبر صفيحة تحوي ثقوباً؛ وبالتالي تعطي عدة أشعة متفرقة نحو شبكية المريض، ثم تنعكس عنها نحو كاشف يسجل الزوغان.
- ومن الأمثلة عليه: جهاز Allegretto WaveLight Analyzer الألماني.[116]

٣) Tracey Ray-Tracing:

- يستخدم جهاز ليزر يعطي حزمة تمر عبر جهاز يقسم الحزمة لجزأين؛ أحدهما يتجه نحو الكاشف، والآخر يتجه لعين المريض ثم ينعكس نحو الكاشف، وهو مقياس زوغان يعتمد مبدأً حركياً؛ حيث يتطلب تحركاً مستمراً للكاشف لفحص زوغان كامل النقاط عبر الحدقة.
- ومن الأمثلة عليه: جهاز Tracey-VFA الأميركي.[117]

٤) Automatic Retinoscopy:

- يستخدم مبدأ تنظير الشبكية Retinoscopy، حيث يحوي منبعاً ضوئياً يعطي حزمة ضوئية تمر عبر شق ثم تتجه نحو الشبكية، وتنعكس عنها نحو حساس للزوغانات، وهو أيضاً مقياس زوغان يعتمد مبدأً حركياً؛ حيث يتطلب تحركاً مستمراً للشق لفحص كامل النقاط.
- ومن الأمثلة عليه: جهاز OPD Scan III الياباني.[118]



الشكل (30) مبدأ أجهزة قياس الزوغانات العينية[112]

ثامناً: التطبيقات السريرية (Clinical applications):

8-1-مقدمة:

إن ظهور علم سطح الموجة (Wavefront) ومفهوم جودة الرؤية كبديل عن حدة الإبصار التقليدية، أدى لتسليط الضوء أكثر على الزوغانات عالية الترتيب وتأثيرها المهم في جودة الرؤية، وظهرت كثيرٌ من التطبيقات السريرية للزوغانات عالية الترتيب، ولعل أهم مثال على ذلك هو الجراحة الانكسارية الموجّهة حسب سطح الموجة، ومن التطبيقات الأخرى أيضاً: العدسات المزروعة داخل العين والمصمّمة حسب سطح الموجة، ومحاولة تشخيص القرنية المخروطية باكراً اعتماداً على الزوغانات عالية الترتيب، ومحاولة تحسين جودة الرؤية لمرضى القرنية المخروطية عبر عدسات لاصقة مصنّعة حسب سطح الموجة، ولا يزال المجال واسعاً للتطبيقات السريرية للزوغانات عالية الترتيب في باقي الأمراض العينية والجراحات العينية للوصول لجودة الرؤية المثلى.[119,120]

وهنا تأتي أهمية دراستنا لمعرفة انتشار أهم الزوغانات عالية الترتيب معرفةً دقيقةً لتحقيق عدة أهداف: أولاً إنشاء قاعدة بيانات للقيم الطبيعية للزوغانات عالية الترتيب عند المجتمع السوري في مختلف الحالات الانكسارية؛ حيث تختلف القيم كما ذكرنا سابقاً بين المجموعات العرقية المختلفة، وثانياً المعرفة المسبقة للقيم الطبيعية ضرورية عند إجراء دراسات لاحقة عن تبدل الزوغانات عالية الترتيب في الأمراض العينية المختلفة وعلى رأسها القرنية المخروطية لمحاولة تشخيصها باكراً، وثالثاً المعرفة المسبقة لانتشار الزوغانات عالية الترتيب عند الأشخاص الطبيعيين بمختلف أسواء الانكسار ضرورية قبل الجراحات الانكسارية الحديثة الموجّهة حسب سطح الموجة وكذلك ضرورية مع العدسات

المزروعة داخل العين والمصنّعة حسب سطح الموجة؛ بهدف الوصول لجودة الرؤية المثالية التي تُعدّ هدف كل من الجراحة الانكسارية والعدسات المزروعة داخل العين.

8-2-الجراحة الانكسارية الموجّهة حسب سطح الموجة:

8-2-1-مقدمة:

إن الزوغانات عالية الترتيب أصبحت أولوية في مجال الجراحة الانكسارية، فهي تؤثر تأثيراً مهماً على نتائج جودة الرؤية بعد الجراحة، ويشكو بعض المرضى بعد إجراء الجراحة الانكسارية التقليدية من ظهور الهالات والوهيج وصعوبة الرؤية الواضحة ليلاً.

وحسب الدراسة الواسعة التي أجرتها إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA عام ٢٠١٤ [121] لمعرفة نتائج جودة الرؤية بعد عملية ال LASIK توصلت للنتائج التالية:

- إن حوالي ٤٦% من الخاضعين للجراحة الانكسارية والذين لم يسبق لهم الشكوى من أعراض بصرية، ظهرت لديهم إحدى الشكايات البصرية التالية للجراحة (هالات أو وهيج أو صعوبة الرؤية ليلاً) خلال ٣ شهور بعد الجراحة الانكسارية.
- إن أشيع الشكايات البصرية التالية للجراحة الانكسارية هي رؤية الهالات، حيث نسبة ظهورها عند المرضى الذين لم يسبق لهم الشكوى من أعراض بصرية كانت حوالي ٤٠%.

وتُعدّ الزوغانات عالية الترتيب الناتجة عن الجراحة الانكسارية التقليدية هي المسؤول عن عدم الوصول لجودة الرؤية المثلى وعن نقصان حساسية التباين.

8-2-2-تطورات الجراحة الانكسارية:

- تطورت الجراحة الانكسارية التقليدية اعتماداً على سطح الموجة والزوغانات عالية الترتيب، وظهرت لدينا حديثاً عدة تعديلات على جراحة ال LASIK وال PRK التقليدية[122-125] (الشكل 31).

الشكل (31) تطور جراحة ال LASIK [125]

تقنية Wavefront-Guided:

- تحاول هذه التقنية التخلص من كامل الزوغانات منخفضة الترتيب وعالية الترتيب الموجودة قبل الجراحة الانكسارية، وتحتاج قياساً دقيقاً للزوغانات الموجودة قبل إجراء الجراحة الانكسارية.[122-125]
- ومن الأمثلة على هذه التقنية التي أخذت موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA:
  - ✓ جهاز LADARVision 4000 (Alcon, Fort Worth, USA).
  - ✓ وجهاز WaveLight ALLEGRO (WaveLight AG, Erlangen, Germany).

تقنية Wavefront-Optimized:

- تحاول هذه التقنية الحفاظ على الشكل اللاكروي Aspheric للقرنية عبر تطبيق كميات إضافية من الليزر على محيط القرنية لتخفيف الزوغان الكروي الناتج بعد الجراحة التقليدية لتصحيح الحسر. [122-125]
- ومن الأمثلة على هذه التقنية التي أخذت موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA:
  - ✓ جهاز Allegretto Wave Laser (WaveLight AG, Erlangen, Germany).
  - ✓ وجهاز MEL 80 Excimer Laser (Carl Zeiss Meditec, Dublin, USA).

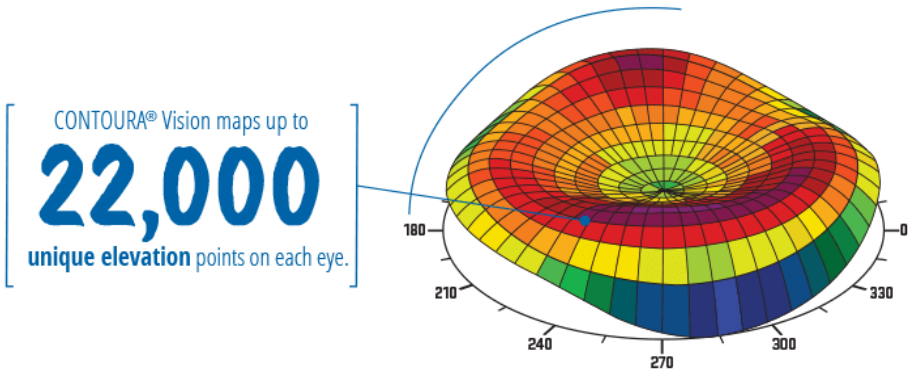
تقنية Custom Q LASIK:

تُعدّ تطويراً عن تقنية Wavefront-Guided؛ حيث يستهلك تصحيح كامل الزوغانات عالية الترتيب في تقنية Wavefront-Guided وقتاً أطول بسبب الحاجة لقياس كامل الزوغانات بالتفصيل، وكذلك يحتاج

لعلاج كمية أكبر من لحمة القرنية بالاكزايمر ليزر؛ وبالتالي يسبب نقصاناً أكثر بسماكة القرنية بعد تطبيق الجراحة. ولذلك ظهرت فكرة الLASIK Custom Q عبر تصحيح الزوغان الكروي فقط حسب كل مريض بدلاً من تصحيح كامل الزوغانات عالية الترتيب.[122-125]

تقنية Topography-Guided:

- تُعدّ هذه التقنية أحدث تطور في مجال ال LASIK؛ وأخذت موافقة إدارة الغذاء والدواء الأميركية FDA عام 2016، وهي تطوير على تقنية Wavefront-Guided، حيث تقيس هذه التقنية 22,000 نقطة ارتفاع عن سطح القرنية لكشف الشذوذات الصغيرة بسطح القرنية، وبالتالي تُعدّ التقنية الانكسارية الأكثر دقة لدراسة سطح القرنية.[122-125]
- وأهم مثال عليها جهاز Contoura (Alcon, Fort Worth, USA)؛ الذي أخذ موافقة إدارة الغذاء والدواء الأميركية FDA عام ٢٠١٦.



الشكل (32) تقنية Topography-Guided LASIK[125]

وجدت دراسة **<هي وزملائه>**[123] أن الجراحة الانكسارية الموجهة حسب سطح الموجة سببت زيادة أقل بالزوغانات عالية الترتيب مقارنة مع الجراحة التقليدية، وكذلك أعطت نتائج أفضل من حيث الوهيج وحساسية التباين.

وأجريت عدة دراسات لمقارنة فعالية Wavefront-Optimized LASIK مع التقنيات السابقة، فوجدت دراسة **<تران وزملائه>**[124] لمقارنة Wavefront-Optimized LASIK مع Wavefront-Guided LASIK أن النتائج البصرية ممتازة في كلّيهما، وكانت الزوغانات عالية الترتيب أقل في مجموعة Wavefront-Guided، بينما وجدت دراسة **<كيم وزملائه>**[125] بالنسبة لتقنية Topography-Guided LASIK أنها تسبب زوغانات عالية الترتيب أقل من التي تسببها تقنية Wavefront-Optimized.

8-3-العدسات المزروعة داخل العين والمصنّعة حسب سطح الموجة:

8-3-1-مقدمة:

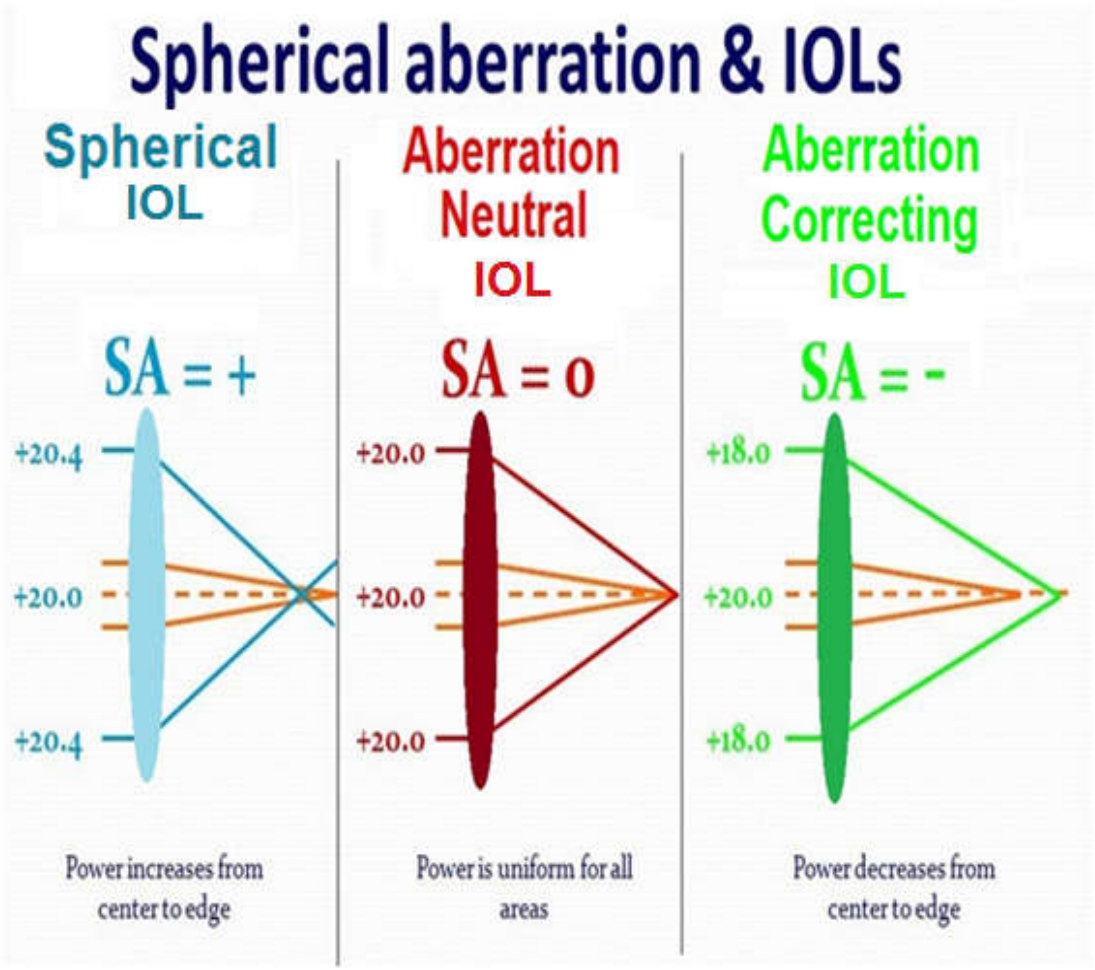
مع ظهور علم سطح الموجة والتطور الكبير بمفهوم الزوغانات عالية الترتيب؛ لم يُعدّ هدف جراحة الساد حالياً هو استعادة حدة الإبصار؛ وإنما أصبح هدفها الوصول لجودة الرؤية المثلى.

وأثبتت كثيرٌ من الدراسات أن العدسات المزروعة داخل العين الكروية التقليدية (Spherical IOL) تضيف زوغانات عالية الترتيب إلى النظام البصري، وأُجريت كثيرٌ من المحاولات لتقليل هذه الزيادة

وتحسين حساسية التباين وجودة الرؤية. حيث أدى تطبيق مفهوم سطح الموجة أثناء صنع العدسات إلى تصميم العدسات اللاكروية المخصصة للزرع داخل العين (Aspheric IOL).[126-129]

8-3-2-العدسات اللاكروية (Aspheric):

ظهر نوعان من العدسات اللاكروية (Aspheric IOL) لمحاولة التخلص من الزيادة بالزوغان الكروي والتي تحدث مع العدسات الكروية التقليدية (Spherical IOL) (الشكل 33).



الشكل (33) أنواع العدسات المزروعة داخل العين حسب الزوغان الكروي[129]

العدسات المصححة للزوغان الكروي (Aberration-Correcting IOL):

تضيف هذه العدسات زوغاناً كروياً سالباً يعاكس الزوغان الكروي الموجب القرني؛ مما يؤدي لتقليل الزوغان الكروي العيني الكلّيّ مقارنة مع العدسات التقليدية.

وقام **<هولاداي وزملاؤه>**[126] بتقديم عدسة مصححة للزوغان الكروي القرني الموجب بمقدار 0.27، وهو الرقم الوسطي للزوغان الكروي الذي وجده هولاداي بدراسته.

ولكن أظهرت الدراسات السريرية أن العدسات المصححة للزوغان عندما يحدث عدم تمركز فيها (Decentration) تصبح أقل فعالية من العدسات الكروية التقليدية، وكلما كانت كمية الزوغانات المصحَّحة أكبر كان تأثير عدم تمركز العدسة على جودة الرؤية أكبر، ومعظم العدسات المصححة للزوغانات تتحمل عدم تمركز بحوالي 0.3 ملم (يتراوح المجال حسب نوع العدسة المزروعة من 0.1 وحتى 1 ملم).[127]

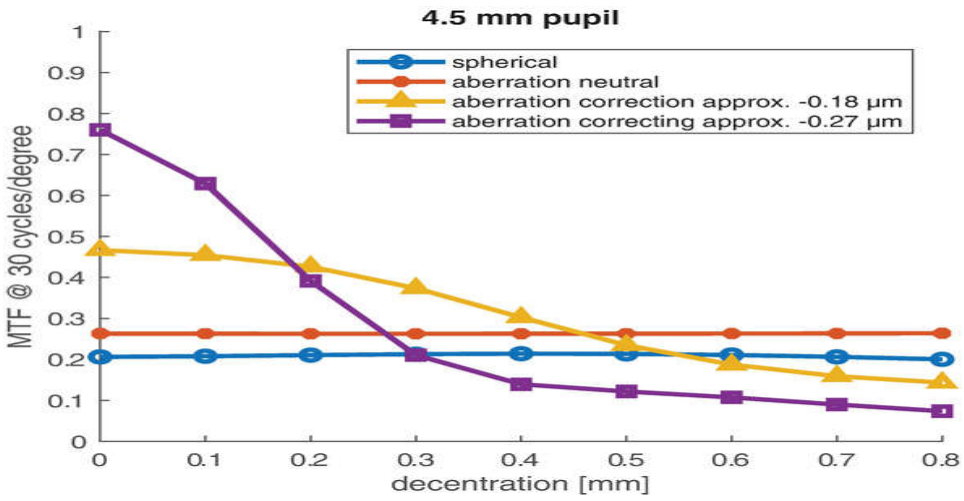
ووجدت دراسة **<نوتشيز وزملائه>**[128] أن إزالة كامل الزوغان الكروي العيني يحد من عمق وضوح الصورة (Depth of focus)؛ حيث يحسن بقاء مقدار صغير من الزوغان الكروي داخل العين (بين 0.07+ و 0.1+ مكرون) من عمق وضوح الصورة. ووجدت دراسة <فيرير بلاسكو>[129] أن بقاء 0.1+ مكرون من الزوغان الكروي بالعين يعطي حساسية تباين أفضل.

العدسات الخالية من الزوغان الكروي (Aberration–Neutral IOL):

تتجنب هذه العدسات إضافة أي زوغان كروي على الإطلاق بدلاً من محاولة تصحيح الزوغان الكروي الموجب للقرنية، مما يحافظ على عمق جيد لوضوح الصورة، وبالوقت نفسه لا يضيف زوغانات جديدة وبالتالي تكون الزوغانات القرنية أقل مقارنة مع العدسات التقليدية.

وفي دراسة أجراها **<ألتمان وزملاؤه>**[130] لمقارنة تأثير عدم تمركز العدسة بمقدار 1 ملم على العدسات الكروية التقليدية والعدسات المصححة للزوغانات والعدسات الخالية من الزوغانات، وجدت هذه الدراسة أن العدسة اللاكروية الخالية من الزوغانات تؤدي أداءً بصريًا أفضل من المصححة للزوغانات ومن التقليدية عند حدوث انزياح بمركز العدسة بمقدار ١ ملم.

وكذلك وجدت دراسة **<إيبيـغ وزملائـه>**[127] عند مقارنة تأثير عدم التمركز على العدسات المزروعة داخل العين؛ أن العدسات الخالية من الزوغانات تحافظ على جودتها البصرية حتى بعد حدوث عدم تمركز فيها على خلاف العدسات المصححة للزوغانات (الشكل 34).



الشكل (34) تأثير عدم التمركز (Decentration) على العدسات المزروعة داخل العين[127]

8-4-التشخيص الباكر للقرنية المخروطية:

8-4-1-مقدمة:

مع انتشار الجراحات الانكسارية انتشاراً واسعاً؛ أصبح التشخيص الباكر للقرنية المخروطية أولوية قصوى لمنع حدوث الترقق (Ectasia) التالي للجراحة الانكسارية، وكشفت كثيرٌ من الدراسات للزوغانات العينية والقرنية عند مرضى القرنية المخروطية عن إمكانية استخدام الزوغانات عالية الترتيب بالتشخيص الباكر للقرنية المخروطية، وعن ارتباط إحصائي مهمّ بين هذه الزوغانات والقرنية المخروطية.[131-133]

8-4-2-أهمية الزوغانات عالية الترتيب في القرنية المخروطية:

أجرى **<بوهرن وزملاؤه>**[133] دراسة على 127 قرنية طبيعية، و 23 قرنية مخروطية، و 10 forme fruste keratoconus (حيث لديهم قرنية مخروطية بالعين الأولى دونَ أي مظاهر سريرية أو تبدلات مشخصة بالطبوغرافيا بالعين الثانية)، وعند المقارنة بين مرضى القرنية المخروطية والقرنيات السليمة وجدت هذه الدراسة فروقات مهمّة إحصائياً في الزوغانات عالية الترتيب الكلّيّة، وزوغانات الترتيب الثالث، وزوغان الفاصلة العمودية، وزوغان الفاصلة الكلّيّة، أما عند المقارنة بين forme fruste keratoconus والقرنيات السليمة وجدت هذه الدراسة فروقات مهمّة إحصائياً في زوغان الفاصلة العمودية.

ووجدت دراسة **<حمايدا وزملائه>**[134] أيضاً أن زوغان الفاصلة هو المسؤول بشكل أساسي عن الزيادة بالزوغانات عالية الترتيب عند مرضى القرنية المخروطية مقارنة مع القرنيات السليمة؛ وكان زوغان الفاصلة أعلى ب 2.3 ضعف من الزوغان الكروي عند مرضى القرنية المخروطية.

وكذلك وجدت دراسة **<أورتيز توكويرو وزملائه>**[135] أن زوغان الفاصلة وزوغانات الترتيب الثالث تمتلك حساسية ونوعية عالية لتمييز الحالات الباكرة من القرنية المخروطية.

ووجدت دراسة **<أليو وزملائه>**[136] و**<ديلغادو وزملائه>**[131] أنه إضافةً لدور زوغان الفاصلة في التشخيص الباكر للقرنية المخروطية يمكن استخدامه أيضاً في تصنيف القرنية المخروطية.

8-5-علاج القرنية المخروطية:

8-5-1-مقدمة:

إن زيادة الزوغانات عالية الترتيب عند مرضى القرنية المخروطية يجعل استخدام النظارات والعدسات اللاصقة الطرية التقليدية غير مفيد للوصول لأفضل جودة رؤية، و حالياً حوالي ٦٥% من مرضى القرنية المخروطية في الولايات المتحدة الأميركية يستخدمون عدسات لاصقة قاسية؛ حيث تشكل هذه العدسات القاسية ما يسمى بعدسة فلم الدمع (Tear Lens) بينها وبين سطح القرنية غير المنتظم، مما يؤدي لتقليل نسبة كبيرة من الزوغانات؛ ورغم ذلك قد تبقى بعض الزوغانات عالية الترتيب مع هذه العدسات مما يعيق الوصول لأفضل جودة رؤية.[137-140]

8-5-2-تصحيح الزوغانات عالية الترتيب عند القرنية المخروطية:

حاولت كثيرٌ من الأبحاث معرفة فائدة تصحيح الزوغانات عالية الترتيب المتبقية عند مرضى القرنية المخروطية، حيث وجدت دراسة **<غويراو وزملائه>**[141] ودراسة **<بانتانيلي وزملائه>**[142] أن تصحيح الزوغانات عالية الترتيب عند مرضى القرنية المخروطية يحسن جودة الرؤية لديهم بنسبة كبيرة مقارنة مع تصحيح هذه الزوغانات عالية الترتيب عند القرنيات السليمة.

وحاولت الدراسات تحديد أهم الزوغانات عالية الترتيب التي يجب تصحيحها، حيث وجدت دراسة **<مارساك وزملائه>**[143] أن التصحيح حتى الترتيب الخامس يعطي جودة رؤية عند معظم المرضى أقرب ما تكون للعيون الطبيعية. ولذلك حاولت كثيرٌ من المختبرات صنع نماذج لعدسات لاصقة مصنوعة حسب سطح الموجة عند مرضى القرنية المخروطية.

ولعل أبرز هذه النماذج هو EyePrintPRO (Advanced Vision Technologies, Lakewood, Colo.) حيث أولاً نأخذ طبعة دقيقة عن سطح القرنية باستخدام مادة polyvinyl siloxane ثم يقوم ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد بأخذ قياسات الطبعة، وبعدها تُصنَّع عدسة لاصقة خصيصاً حسب الزوغانات عالية الترتيب عند هذا المريض.[144, 145]

الشكل (35) طريقة أخذ الطبعة لعدسة EyePrintPRO[145]

EyePrintPRO Final Product Manufactoring

الشكل (36) طريقة صنع عدسة EyePrintPRO وشكل العدسة المصنوعة[145]

وفي دراسة **<نيغوين وزملائه>[144]** لتحري فائدة جهاز EyePrintPRO عند مرضى المراحل المتقدمة من إصابات القرنية المختلفة (كالقرنية المخروطية ومتلازمة ستيفن جونسون)، وجدت دراستهم تحسناً في حدة الإبصار وجفاف العين عند المرضى الذين استعملوا هذا الجهاز، وغالبية المرضى لم يشكوا من صعوبة في اسخدام هذا الجهاز.

وعلى الرغم أن العدسات اللاصقة المصنوعة حسب سطح الموجة لم تنتشر بعد على نطاق واسع؛ إلا أن تطوير هذه الفكرة وجعلها متاحة قد يسهم بتحسين جودة الرؤية عند نسبة كبيرة من هؤلاء المرضى.

الجزء الثاني

الدراسة العملية

الفصل الأول

المواد والطرائق

Materials and Methods

تصميم الدراسة:

دراسة وصفية مقطعية مستعرضة (Cross-Sectional Descriptive Study).

مجموعة الدراسة:

تضمنت العينة المدروسة 217 عيناً من 217 مريضاً من المرضى المراجعين لقسم العيادات الخارجية في مشفى المواساة الجامعي، وذلك بعد أخذ موافقتهم على المشاركة بالبحث وإطلاعهم على الموافقة المستنيرة.

قُسّمت العينة إلى 4 مجموعات بحسب المكافئ الكروي SE (Spherical Equivalent) بعد تقطير Cyclomed 1% (Cyclopentolate Hydrochloride 1%, Medico Labs, Syria) مرتين بفاصل خمس دقائق والانتظار نصف ساعة بعد آخر قطرة:

- مجموعة السواء: $-0.5\ D < SE < +0.5\ D$ مع حرج بالقيمة المطلقة $|Astigmatism| \leq 0.25\ D$.
- مجموعة الحسر الخفيف: $-3\ D \leq SE \leq -0.5\ D$ مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.

- مجموعة الحسر المتوسط والشديد: SE < −3 D مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.
- مجموعة المد: SE ≥ +0.5 D مع حرج مدي أقل من +1 كسيرة.

مكان الدراسة:

قسم أمراض العين وجراحتها، مستشفى المواساة الجامعي، دمشق، سوريا.

الفترة الزمنية:

الفترة الممتدة بين 2021/4/1 و 2022/3/1.

أهداف الدراسة:

دراسة العلاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب وأسواء الانكسار.

معايير الاشتمال في الدراسة:

- القدرة البصرية المصحّحة عشرة من عشرة بعد إجراء الفحوص اللازمة لذلك.
- العمر بين 20–40 عاماً.
- الطول المحوري الأمامي الخلفي للمقلة بين 22 و 25 ملم.

معايير الاستبعاد من الدراسة:

- المرضى الذين خضعوا لجراحة عينية سابقة.
- المرضى الذين تعرضوا لرض عيني سابق.
- المرضى الذين لديهم أي شكل من أشكال حثولات أو تنكسات أو اعتلالات القرنية.
- المرضى الذين يرتدون العدسات اللاصقة الطرية أو القاسية.
- المرضى الذين لديهم التهاب عيني فعّال.
- المرضى الذين ضغط العين لديهم يزيد عن 22 ملم زئبقي.
- المرضى الذين يعانون من متلازمة العين الجافة.
- المرضى الذين يعانون من اعتلال الشبكية السكري.
- المرضى الذين لديهم حرج بالقيمة المطلقة يبلغ كسيرة واحدة أو أكثر.

خطة البحث:

- اختيار عشوائي للعينة بما يتناسب مع معايير الاشتمال والاستبعاد من المرضى المراجعين للعيادات العينية.

- إطلاع المشاركين على البحث وأخذ موافقة مستنيرة منهم.

- الاستجواب السريري للمرضى.

- إجراء فحص عيني شامل للمرضى يشمل:
  - قياس القدرة البصرية المصحّحة و غير المصحّحة، وتقديرها بالنظام العشري Decimal باستخدام لوحة سنلن.

  - فحص المريض باستخدام المصباح الشقي من نوع Topcon Slit Lamp IS -600 أو Topcon Slit Lamp SL -3C فحصاً عينياً شاملاً يتضمن: الأجفان، جهاز الدمع، الملتحمة، القرنية، الحدقة، الغرفة الأمامية، قعر العين (بعد توسيع الحدقة).

  - قياس زمن تكسر الطبقة الدمعية BUT، بوضع شريط الفلورسيئين في الثلث الوحشي للرتج الملتحمي السفلي لمدة عشر ثوانٍ، ثم الطلب من المريض الرفيف عدة مرات وبعدها أن ينظر مباشرة للأمام، وحساب الزمن الفاصل بين نهاية الرفيف وظهور أول بقعة جافة على سطح القرنية؛ وذلك باستخدام الضوء الأزرق لمرشحة الكوبالت على المصباح الشقي.

- تحديد قيم القوة الكاسرة للقرنية على المحاور الرئيسية باستخدام جهاز قياس أسواء الانكسار و تحدب القرنية الأوتوماتيكي TOPCON KR_8100P.
- قياس ضغط العين بطريقة التسطيح Goldman tonometry.

- تعداد خلايا البطانة باستخدام مجهر Topcon Specular Microscope SP 2000P.

- قياس الطول الأمامي الخلفي للعين باستخدام Quantel Medical Cinescan V:2.04.

- اختيار عين واحدة لكل مريض بطريقة عشوائية، ثم إجراء صورة طبوغرافيا قرنية بواسطة SIRIUS CSO S.r.l. 50010 scandicci، ثم عبر صورة الطبوغرافيا نحسب قيم RMS للزوغانات التالية مع محاورها عند قطر حدقة ٥ ملم، وذلك لمجمل الزوغانات القرنية التالية:
  - Coma.
  - Trifoil.
  - Spherical Aberration.
  - Secondary Astigmatism.
  - Quadrifoil.
  - Secondary Coma (Coma II).
  - Secondary Trifoil (Trifoil II).
  - Pentafoil.

- تقسيم العينة إلى 4 مجموعات بحسب المكافئ الكروي SE (Spherical Equivalent) بعد تقطير Cyclomed 1% (Cyclopentolate Hydrochloride 1%, Medico Labs, Syria) مرتين بفاصل خمس دقائق والانتظار نصف ساعة بعد آخر قطرة:

١) مجموعة السواء: $-0.5\ D < SE < +0.5\ D$ مع حرج بالقيمة المطلقة $|Astigmatism| \leq 0.25\ D$.

٢) مجموعة الحسر الخفيف: $-3\ D \leq SE \leq -0.5\ D$ مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.

٣) مجموعة الحسر المتوسط والشديد: $SE < -3\ D$ مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.

٤) مجموعة المد: $SE \geq +0.5\ D$ مع حرج مدي أقل من +1 كسيرة.

الفصل الثاني

النتائج الإحصائية

التحليل الإحصائي للبيانات:

- ✓ سيتم تدوين جميع البيانات ومعالجتها وتصنيفها في مجموعات وجداول ومخططات بيانية تعكس الدراسة بوساطة برنامج IBM® SPSS® Statistics v24.
- ✓ ثم اختبار الفرضيات من خلال الاختبارات الإحصائية المناسبة.
- ✓ ثم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام الاختبارات المناسبة واعتبار قيمة مستوى الدلالة ذات أهمية عند $P \leq 0.05$.
- ✓ وستُقارَن النتائج التي حصلنا عليها مع الدراسات العالمية.

١-توزع العينة حسب المجموعات:

شملت العينة 217 عيناً (ل ٢١٧ مريضاً) وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

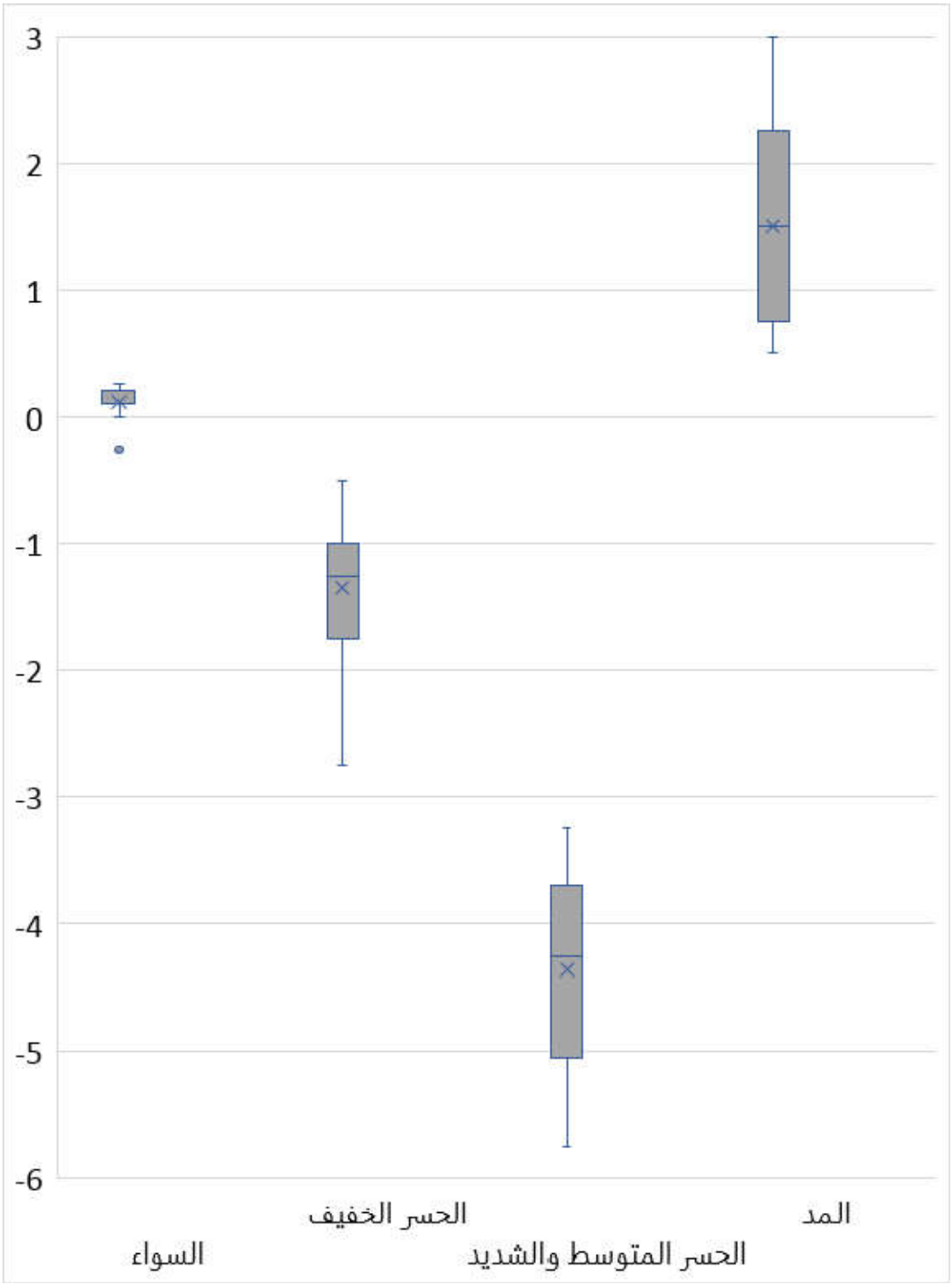
- **مجموعة السواء:** 91 عيناً بنسبة 41.9%.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** 76 عيناً بنسبة 35%.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** 18 عيناً بنسبة 8.3%.
- **مجموعة المد:** 32 عيناً بنسبة 14.8%.

الشكل (37) توزع المرضى حسب مجموعات الدراسة

٢-أسواء الانكسار:

كان متوسط المكافئ الكروي 0.53-، والانحراف المعياري 1.62±، وتراوحت قيم المكافئ الكروي بين 5.75- و 3.00+، وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** القيمة المتوسطة للمكافئ الكروي 0.11+ والانحراف المعياري 0.15±، وتراوحت قيم المكافئ الكروي بين 0.25- و0.25+
- **مجموعة الحسر الخفيف:** القيمة المتوسطة للمكافئ الكروي 1.34- والانحراف المعياري 0.6±، وتراوحت قيم المكافئ الكروي بين 0.5- و 2.75-
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** القيمة المتوسطة للمكافئ الكروي 4.36- والانحراف المعياري 0.81±، وتراوحت قيم المكافئ الكروي بين 3.25- و5.75-
- **مجموعة المد:** القيمة المتوسطة للمكافئ الكروي 1.6+ والانحراف المعياري 0.84±، وتراوحت القيم بين 0.50+ و 3.00+

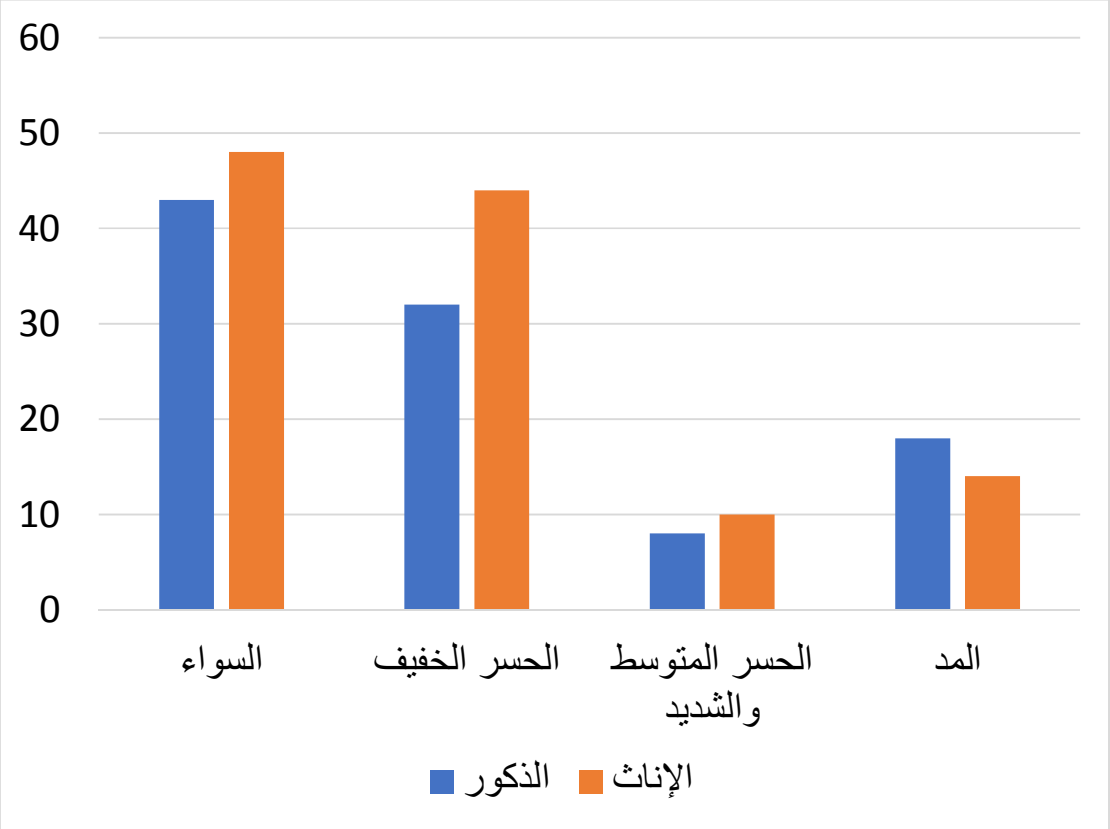


الشكل (38) توزع المرضى حسب أسواء الانكسار

٣-الجنس:

شملت العينة 101 ذكر بنسبة 46.5%، و 116 أنثى بنسبة 53.5%، وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** شملت 43 ذكراً بنسبة 47.3% و48 أنثى بنسبة 52.7%.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** شملت 32 ذكراً بنسبة 42.1% و 44 أنثى بنسبة 57.9%.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** شملت 8 ذكور بنسبة 44.4% و10 إناث بنسبة 55.6%.
- **مجموعة المد:** شملت 18 ذكراً بنسبة 56.3% و14 أنثى بنسبة 43.7%.



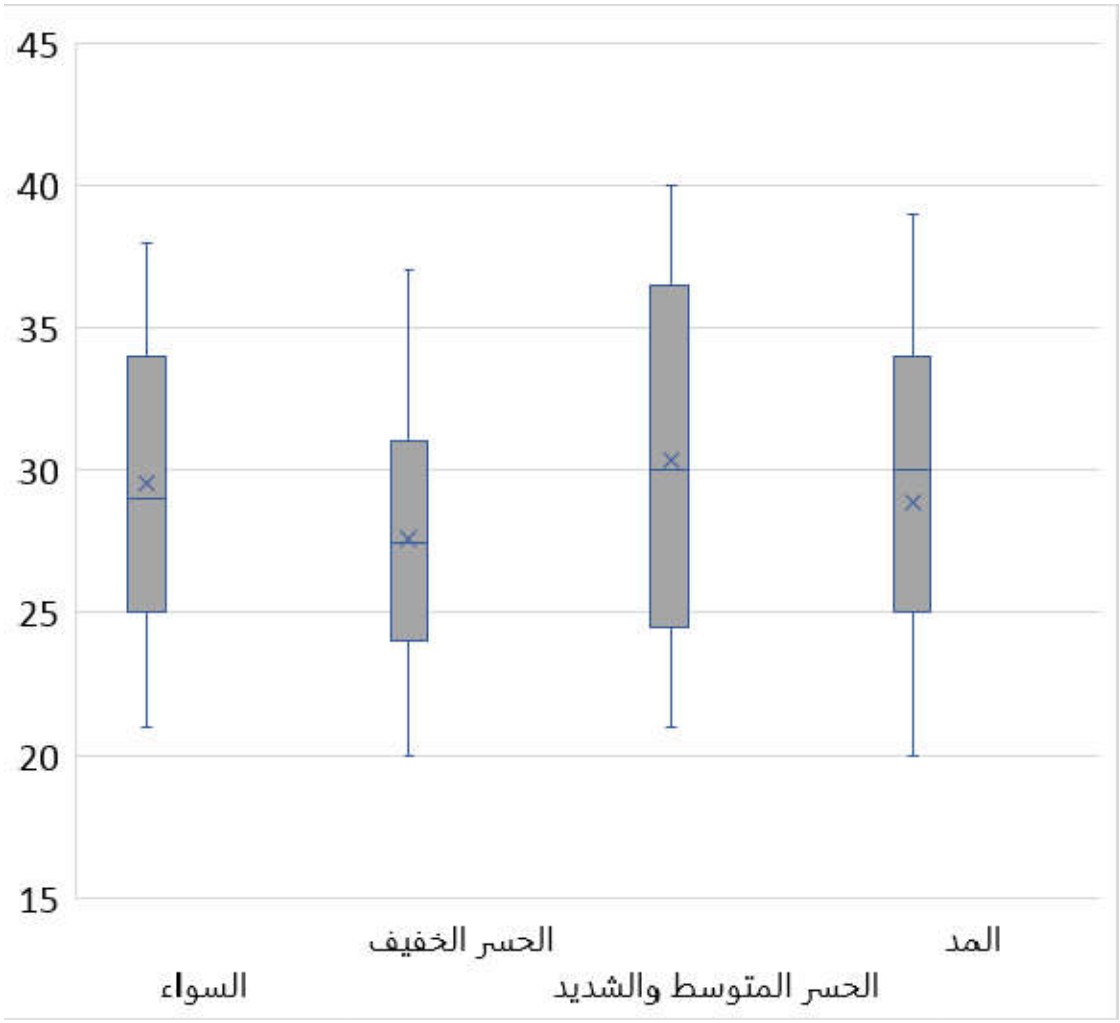
الشكل (39) توزع المرضى حسب الجنس

٤ -العمر:

تراوحت أعمار المرضى بين 20-40 عاماً، وكان متوسط الأعمار: 29.03، والانحراف المعياري 5.05±، وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** القيمة المتوسطة للعمر 29.53 والانحراف المعياري 4.67± ، وتراوحت أعمارهم بين 21-38 عاماً.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** القيمة المتوسطة للعمر 27.57 والانحراف المعياري 4.77± ، وتراوحت أعمارهم بين 20-37 عاماً.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** القيمة المتوسطة للعمر 30.33 والانحراف المعياري 6.45 ±، وتراوحت أعمارهم بين 21-40 عاماً.
- **مجموعة المد:** القيمة المتوسطة للعمر 30.31 والانحراف المعياري 5.31± ، وتراوحت أعمارهم بين 20-39 عاماً.

ورغم أن متوسط العمر في مجموعة الحسر الخفيف أقل من باقي المجموعات؛ إلا أن هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث (0.05>) P Value=0.883.



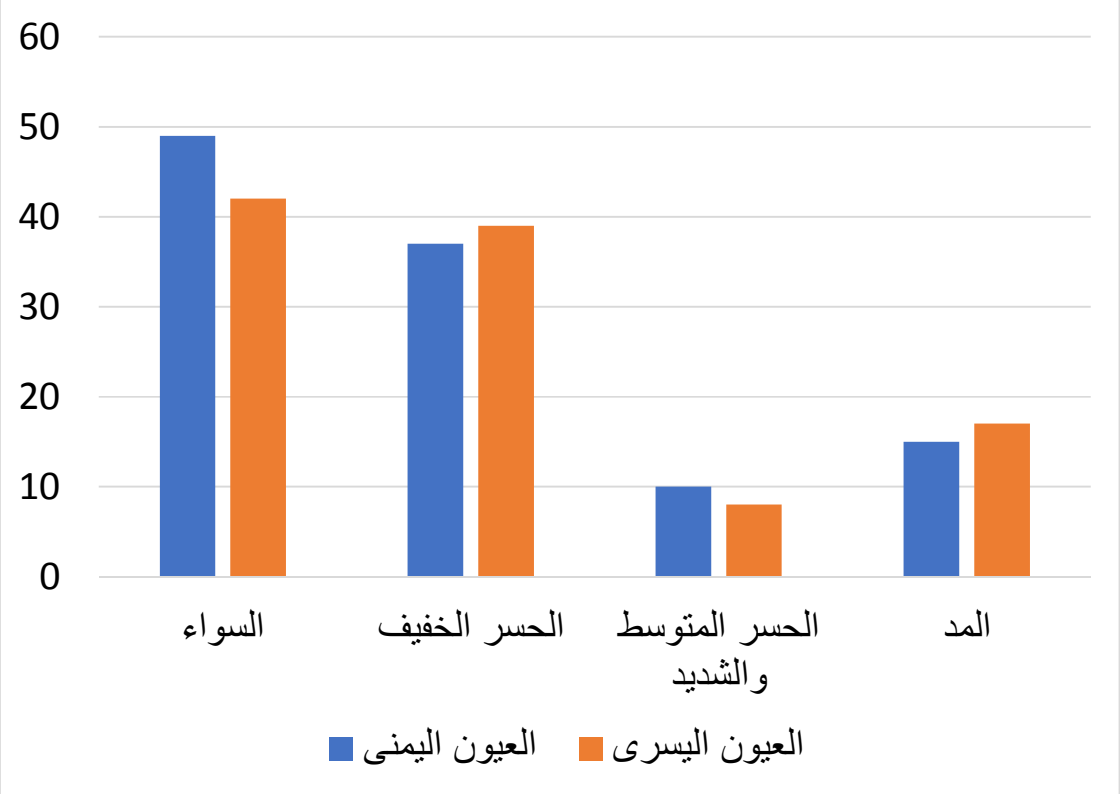
الشكل (40) توزع المرضى حسب العمر

5-الجهة:

شملت العينة 111عيناً يمنى بنسبة 51.2%، و 106 عينٍ يسرى بنسبة 48.8% وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** شملت 49 عيناً يمنى بنسبة 53.8% و42 عيناً يسرى بنسبة 46.2%.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** شملت 37 عيناً يمنى بنسبة 48.7% و 39 عيناً يسرى بنسبة 51.3%.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** شملت 10 عيون يمنى بنسبة 55.6% و8 عيون يسرى بنسبة 44.4%.
- **مجموعة المد:** شملت 15 ذكراً بنسبة 46.9% و17 أنثى بنسبة 53.1%.

ونجد أن الفرق بين المجموعات غير مهمّ إحصائياً حيث كانت (0.05<) P Value=0.672.



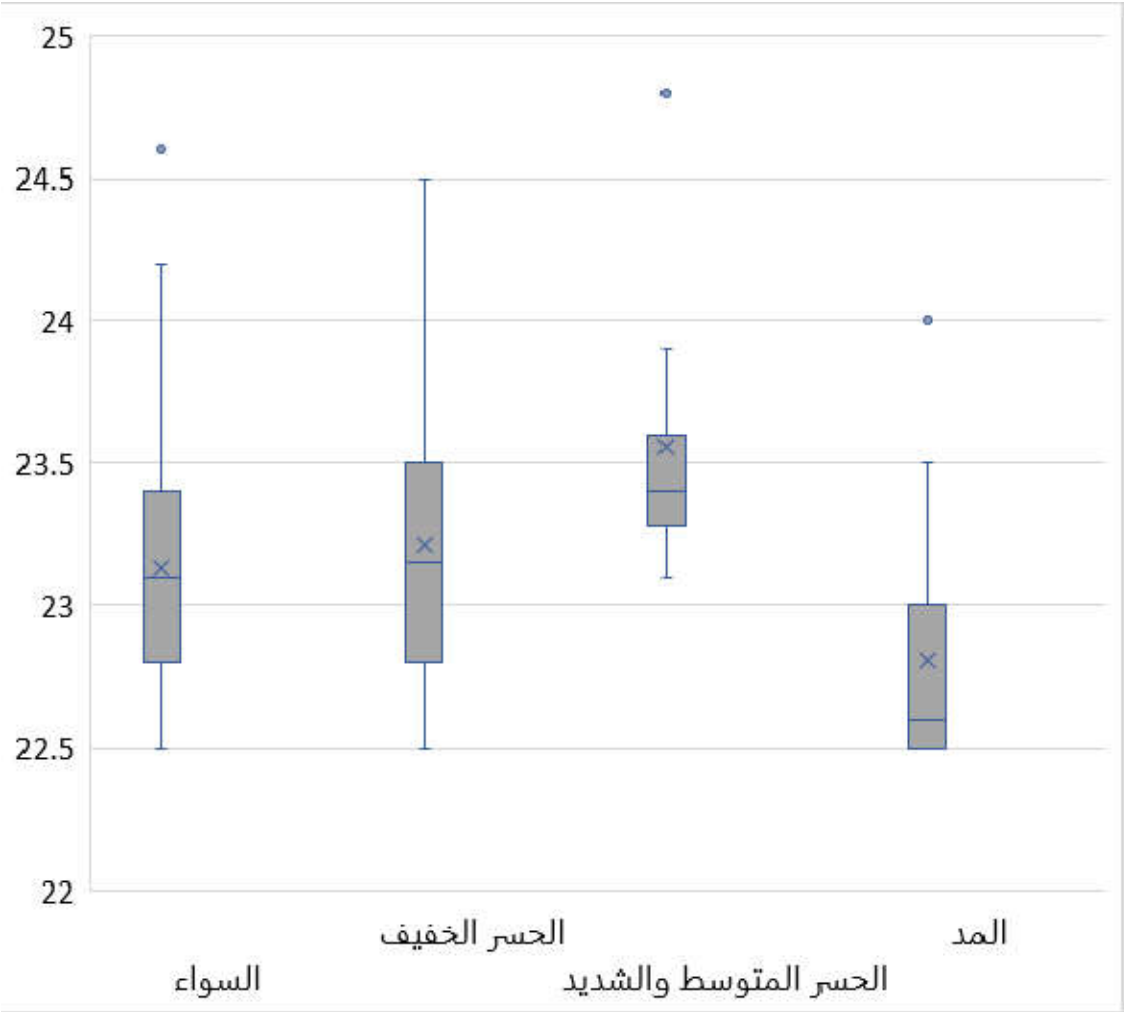
الشكل (41) توزع المرضى حسب الجهة

6-الطول الأمامي الخلفي للمقلة:

تراوحت قيم الطول الأمامي الخلفي للمرضى بين 22.5 –24.8 ملم، وكان متوسط القيم: 23.16 ملم، والانحراف المعياري 0.49±، وكان التوزع في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** المتوسط 23.14 ملم، والانحراف المعياري 0.46± ، وتراوحت القيم بين 22.5–24.6 ملم.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** المتوسط 23.21 ملم، والانحراف المعياري 0.48± ، وتراوحت القيم بين 22.5–24.5 ملم.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** المتوسط 23.55 ملم، والانحراف المعياري 0.50± ، وتراوحت القيم بين 23.1–24.8 ملم.
- **مجموعة المد:** المتوسط 22.88 ملم، والانحراف المعياري 0.41± ، وتراوحت القيم بين 22.5–24 ملم.

ورغم أن متوسط الطول الأمامي الخلفي للمقلة في مجموعة المد أقل من باقي المجموعات إلا أن هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث (0.05<) P Value=0.763.



الشكل (42) توزع المرضى حسب الطول الأمامي الخلفي للمقلة

7-الزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة (HOAs):

كان توزع قيم الزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة (HOAs) في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.27 مكرون، والانحراف المعياري 0.13± ، وتراوحت القيم بين 0.19 – 0.73 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.32 مكرون، والانحراف المعياري 0.15±، وتراوحت القيم بين 0.20 – 0.79 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.45 مكرون، والانحراف المعياري 0.19±، وتراوحت القيم بين 0.18 – 0.89 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.89 مكرون، والانحراف المعياري 0.28±، وتراوحت القيم بين – 1.26 0.25 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة في مجموعة المد أكبر من باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً حيث (0.05>) P Value=0.0006، وعند مقارنتها مع مجموعة السواء كانت (0.05>) P Value = 0.03، ومع مجموعة الحسر الخفيف كانت (0.05>) P Value = 0.002.

الجدول (1) توزع قيم الزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.27	0.32	0.45	0.89
الانحراف المعياري	0.13	0.15	0.19	0.28
المدى	0.73 – 0.19	0.79 – 0.20	0.89 – 0.18	1.26 – 0.25

8-زوغان الفاصلة القرني الكلّيّ (Coma):

كان توزع قيم زوغان الفاصلة القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.27 مكرون، والانحراف المعياري0.11±، وتراوحت القيم بين 0.48 – 0.03 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.23 مكرون، والانحراف المعياري 0.09±، وتراوحت القيم بين 0.04 – 0.53 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.19 مكرون، والانحراف المعياري 0.12±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.47 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.49 مكرون، والانحراف المعياري 0.17± ، وتراوحت القيم بين 0.89 – 0.04 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة لزوغان الفاصلة القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة المد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً حيث (0.05>) P Value = 0.001، وبالمقارنة مع مجموعة السواء كانت (0.05>) P Value = 0.04، ومع مجموعة الحسر الخفيف كانت (0.05>) P Value = 0.009، ومع مجموعة الحسر المتوسط والشديد كانت P Value = 0.002 (0.05>).

الجدول (2) توزع قيم زوغان الفاصلة القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.27	0.23	0.19	0.49
الانحراف المعياري	0.11	0.09	0.12	0.17
المدى	0.48 – 0.03	0.53 – 0.04	0.47 – 0.02	0.89 – 0.04

9-الزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ (Trifoil):

كان توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.26 مكرون، والانحراف المعياري 0.12±، وتراوحت القيم بين 0.41 – 0.01 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.28 مكرون، والانحراف المعياري 0.09±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.54 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.45 مكرون، والانحراف المعياري 0.14±، وتراوحت القيم بين 0.03 – 0.87 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.29 مكرون، والانحراف المعياري 0.09±، وتراوحت القيم بين 0.53 – 0.02 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً حيث كانت (<0.05) P Value = 0.001.

الجدول (3) توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.26	0.28	0.45	0.29
الانحراف المعياري	0.12	0.09	0.14	0.09
المدى	0.41 – 0.01	0.54 – 0.02	0.87 – 0.03	0.53 – 0.02

10-الزوغان الكروي القرني الكلّيّ (Spherical Aberration):

كان توزع قيم الزوغان الكروي القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.19 مكرون، والانحراف المعياري 0.13±، وتراوحت القيم بين 0.39 – 0.04 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.17 مكرون، والانحراف المعياري 0.11±، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.41 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.16 مكرون، والانحراف المعياري 0.09±، وتراوحت القيم بين 0.03 – 0.45 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.33 مكرون، والانحراف المعياري 0.14±، وتراوحت القيم بين 0.59 – 0.02 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان الكروي القرني الكلّيّ عند مجموعة المد أكبر من باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً حيث (0.05>) 0.0006 = P Value، وبالمقارنة مع مجموعة السواء كانت (0.05>) 0.04 = P Value، ومع مجموعة الحسر الخفيف كانت P Value = (0.05>) 0.009، ومع مجموعة الحسر المتوسط والشديد كانت (0.05>) 0.002 = P Value.

الجدول (4) توزع قيم الزوغان الكروي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.19	0.17	0.16	0.33
الانحراف المعياري	0.13	0.11	0.09	0.14
المدى	0.39 – 0.04	0.41 – 0.01	0.45 – 0.03	0.59 – 0.02

11-زوغـــان الحـــرج الثـــانوي القرنـــي الكلّـــيّ (Secondary Astigmatism, Astigmatism II):

كان توزع قيم زوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.03 مكرون، والانحراف المعياري 0.02± ، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.05 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.04 مكرون، والانحراف المعياري 0.03±، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.06 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.07 مكرون، والانحراف المعياري 0.04±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.12 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.02 مكرون، والانحراف المعياري 0.02± ، وتراوحت القيم بين 0.05 – 0.01 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة لزوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً حيث كانت P Value = 0.002.

الجدول (5) توزع قيم زوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.03	0.04	0.07	0.02
الانحراف المعياري	0.02	0.03	0.04	0.02
المدى	0.05 – 0.01	0.06 – 0.01	0.12 – 0.02	0.05 – 0.01

12-الزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ (Quadrifoil):

كان توزع قيم الزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.08 مكرون، والانحراف المعياري 0.02± ، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.11 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.09 مكرون، والانحراف المعياري 0.01±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.14 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.11 مكرون، والانحراف المعياري 0.03±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.15 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.06 مكرون، والانحراف المعياري 0.02±، وتراوحت القيم بين 0.12 – 0.01 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث كانت قيمة P Value = 0.09 (>0.05).

الجدول (6) توزع قيم الزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.08	0.09	0.11	0.06
الانحراف المعياري	0.02	0.01	0.03	0.02
المدى	0.11 – 0.01	0.14 – 0.02	0.15 – 0.02	0.12 – 0.01

13-زوغان الفاصلة الثانوي القرني الكلّيّ (Secondary Coma, Coma II):

كان توزع قيم زوغان الفاصلة الثانوي القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.02 مكرون، والانحراف المعياري 0.08±، وتراوحت القيم بين 0.05 – 0.01 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.03 مكرون، والانحراف المعياري 0.05±، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.06 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.04 مكرون، والانحراف المعياري 0.07±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.07 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.02 مكرون، والانحراف المعياري 0.09±، وتراوحت القيم بين – 0.05 0.01مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث كانت قيمة P Value = 0.182 (>0.05).

الجدول (7) توزع قيم زوغان الفاصلة الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.02	0.03	0.04	0.02
الانحراف المعياري	0.08	0.05	0.07	0.09
المدى	0.05 – 0.01	0.06 – 0.01	0.07 – 0.02	0.05 – 0.01

14-الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ (Secondary Trifoil, Trifoil II):

كان توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.04 مكرون، والانحراف المعياري 0.02±، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.06 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.04 مكرون، والانحراف المعياري 0.02±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.07 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.06 مكرون، والانحراف المعياري 0.01±، وتراوحت القيم بين 0.03 – 0.09 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.05 مكرون، والانحراف المعياري 0.01±، وتراوحت القيم بين 0.08 – 0.02 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث كانت قيمة P Value = 0.217 (>0.05).

الجدول (8) توزع قيم الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.04	0.04	0.06	0.05
الانحراف المعياري	0.02	0.02	0.01	0.01
المدى	0.06 – 0.01	0.07 – 0.02	0.09 – 0.03	0.08 – 0.02

15-الزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ (Pentafoil):

كان توزع قيم الزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ في كل مجموعة كالتالي:

- **مجموعة السواء:** بلغ المتوسط 0.03 مكرون، والانحراف المعياري 0.02±، وتراوحت القيم بين 0.01 – 0.06 مكرون.
- **مجموعة الحسر الخفيف:** بلغ المتوسط 0.05 مكرون، والانحراف المعياري 0.02±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.08 مكرون.
- **مجموعة الحسر المتوسط والشديد:** بلغ المتوسط 0.04 مكرون، والانحراف المعياري 0.01±، وتراوحت القيم بين 0.02 – 0.07 مكرون.
- **مجموعة المد:** بلغ المتوسط 0.03 مكرون، والانحراف المعياري 0.01±، وتراوحت القيم بين 0.06 – 0.01 مكرون.

ونجد أن القيمة المتوسطة للزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر الخفيف مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً حيث كانت P Value = 0.487 (>0.05).

الجدول (9) توزع قيم الزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ في مجموعات الدراسة

	السواء	الحسر الخفيف	الحسر المتوسط والشديد	المد
المتوسط (بالمكرون)	0.03	0.05	0.04	0.03
الانحراف المعياري	0.02	0.02	0.01	0.01
المدى	0.06 – 0.01	0.08 – 0.02	0.07 – 0.02	0.06 – 0.01

الفصل الثالث

مناقشة نتائج البحث

1-مناقشة عينة الدراسة:

لم نجد فرقاً مهمّاً إحصائياً بين المجموعات الانكسارية الأربعة من حيث العمر والجنس وجهة العين، كما لم تجد أية أبحاث سابقة علاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب وجنس محدد أو جهة محددة.

٢-مناقشة انتشار الزوغانات عالية الترتيب عند المجموعات الانكسارية الأربعة:

- **من حيث الزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة:**

كانت الزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة أعلى عند مجموعة المد، ووجدنا فروقات مهمّة إحصائياً مع مجموعة السواء ومجموعة الحسر الخفيف.

- **من حيث زوغان الفاصلة القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة لزوغان الفاصلة القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة المد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً مع مجموعة السواء ومجموعة الحسر الخفيف ومجموعة الحسر المتوسط والشديد.

- **من حيث الزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان ثلاثي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً.

- **من حيث الزوغان الكروي القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان الكروي القرني الكلّيّ عند مجموعة المد أكبر من باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً مع مجموعة السواء ومجموعة الحسر الخفيف ومجموعة الحسر المتوسط والشديد.

- **من حيث زوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة لزوغان الحرج الثانوي القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق مهمّاً إحصائياً مع مجموعة المد.

- **من حيث الزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً بين المجموعات.

- **من حيث زوغان الفاصلة الثانوي القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان رباعي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً بين المجموعات.

- **من حيث الزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً بين المجموعات.

- **من حيث الزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ:**

كانت القيمة المتوسطة للزوغان خماسي الوريقات القرني الكلّيّ أعلى عند مجموعة الحسر الخفيف مقارنة مع باقي المجموعات، وكان هذا الفرق غير مهمّ إحصائياً بين المجموعات.

مما سبق نستنتج: أنه يوجد فروقات مهمّة إحصائياً بانتشار الزوغانات القرنية عالية الترتيب بين مختلف المجموعات الانكسارية، حيث في مجوعة المد نجد أعلى قيم للزوغانات عالية الترتيب القرنية الكلّيّة ولزوغان الفاصلة وللزوغان الكروي مع وجود فروقات مهمّة إحصائياً، وفي مجموعة الحسر المتوسط والشديد نجد أعلى قيم للزوغان ثلاثي الوريقات وزوغان الحرج الثانوي مع وجود فروقات مهمّة إحصائياً، وأعلى قيم للزوغان رباعي الوريقات وزوغان الفاصلة الثانوي والزوغان ثلاثي الوريقات الثانوي دونَ وجود فروقات مهمّة إحصائياً، وفي مجموعة الحسر الخفيف نجد أعلى قيمة للزوغان خماسي الوريقات دونَ وجود فروقات مهمّة إحصائياً.

الفصل الرابع

المقارنة مع الدراسات العالمية

قيّمت هذه الدراسة القرنية بوصفها أحد العوامل المشاركة في تحريض الزوغانات عالية الترتيب HOAs في المرضى الذين يعانون من أسواء انكسار مختلفة. بينما بحثت معظم الدراسات في الزوغانات عالية الترتيب العينية (Ocular) لكننا نهدف إلى معرفة مساهمة القرنية في هذه الزوغانات.

أظهرت بعض الدراسات أنه لا توجد علاقة مهمّة بين الزوغانات عالية الترتيب HOAs وكمية أو نوع أسواء الانكسار،[146,147] بينما وجدت بعض الدراسات علاقة قوية بين الزوغانات عالية الترتيب HOAs وحسر البصر[148]. ووجدت دراسات أخرى أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات[149] فنجد أن النتائج متضاربة في هذا الصدد.

ويمكن مقارنة نتائج دراستنا مع دراسة مشابهة قام بها **<عنبر وزملاؤه>**[25] في سوهاج بمصر عام 2019 على 750 عيناً باستخدام جهاز طبوغرافيا القرنية Sirius (CSO, Italy) ووجدت دراسة **<عنبر وزملائه>**[25] أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات القرنية عالية الترتيب وهذا يتفق مع نتائج هذه الدراسة.

وكذلك في دراسة أجراها **<هاشمي وزملاؤه>**[31] في مركز Noor في طهران بإيران عام 2015 على 904 عيون باستخدام جهاز (Zywave aberrometer (The Bausch & Lomb, Rochester, NY وجدت أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات عالية الترتيب.

بينما في دراسة أجراها **<فيليب وزملاؤه>**[26] في مركز Brien Holden في أستراليا عام 2012 على 675 عيناً باستخدام جهاز COAS aberrometer (Wavefront Sciences, Inc., Albuquerque, NM, USA, version 1.41.05) لم تجد هذه الدراسة علاقة مهمّة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب الكلّيّة وأسواء الانكسار.

وفي دراسة أجراها **<كيروان وزملاؤه>**[32] في دوبلن بإيرلندا عام 2005 على 162 عيناً باستخدام جهاز (Zywave II Aberrometer (Bausch & Lomb UK Ltd, Surrey, United Kingdom وجدت أن حسر البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات عالية الترتيب.

وربما يكون سبب الاختلاف هو عمر العينة؛ ففي دراسة **<عنبر وزملائه>**[25] كان متوسط عمر مجموعة المد أكبر من باقي المجموعات، وأثبتت كثيرٌ من الدراسات أن الزوغانات عالية الترتيب تزداد مع العمر، بينما في دراستنا وفي دراسة **<هاشمي وزملائه>**[31] لم يكن متوسط عمر مجموعة المد أكبر من باقي المجموعات ورغم ذلك وجدنا أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغانات القرنية عالية الترتيب؛ وبالتالي قد يكون سبب الاختلاف عن دراسة **<فيليب وزملائه>**[26] و **<كيروان وزملائه>**[32] هو اختلاف انتشار الزوغانات بين المجموعات العرقية المختلفة.

فيما يتعلق بالزوغان القرني الكلّيّ من نمط الفاصلة Coma كانت القيم أعلى لدى مجموعة المد في هذه الدراسة وتبين وجود فروقات ذات دلالة إحصائية مع (0.05>) 0.001 = P Value وهذا يتفق مع ما توصل إليه **<عنبر وزملاؤه>**[25]و**<هاشمي وزملاؤه>**[31]، ويختلف عن نتائج دراسة **<كيروان وزملائه>**[32] حيث وجدت أن حسر البصر لديه مستويات أعلى من زوغان الفاصلة، ويختلف أيضاً عن نتائج دراسة **<فيليب وزملائه>**[26] حيث لم تجد علاقة مهمّة بين الزوغانات القرنية الكلّيّة من نمط الفاصلة وأسواء الانكسار.

أما الزوغانات القرنية الكلّيّة من نوع الزوغان ثلاثي الوريقات Trefoil تبين في هذه الدراسة وجود فروقات ذات دلالة إحصائية مع (0.05>) 0.001 = P Value حيث كانت القيم أعلى لدى مجموعة الحسر المتوسط والشديد، وهذا يتفق مع ما توصل إليه **<كيروان وزملاؤه>**[32]، بينما لم تجد دراسة **<عنبر وزملائه>**[25] وكذلك دراسة **<فيليب وزملائه>**[26] و**<هاشمي وزملائه>**[31] فروقات ذات دلالة إحصائية.

فيما يتعلق بالزوغانات القرنية من نمط الزوغان الكروي وجدت دراسة **<عنبر وزملائه>**[25] و**<هاشمي وزملائه>**[31] أن مد البصر لديه مستويات أعلى من الزوغان الكروي، وهذا يتفق مع نتائج هذه الدراسة؛ حيث كانت القيم أعلى لدى مجموعة المد مع وجود فروقات ذات دلالة إحصائية

(0.05>) P Value = 0.0006، ويختلف عن نتائج دراسة **< فيليب وزملائه>**[26]؛ حيث لم تجد علاقة مهمّة بين الزوغانات القرنية الكلّيّة من نمط الزوغان الكروي وأسواء الانكسار.

وفيما يتعلق بالزوغان القرني الكلّيّ من نوع الحرج الثانوي كانت القيم أعلى عند مجموعة الحسر المتوسط والشديد، وتبين في هذه الدراسة وجود فروقات ذات دلالة إحصائية P Value = 0.002 (0.05>)، ولدى مقارنتها مع مجموعة المد كان الفرق مهمّاً إحصائياً (0.05>) P Value = 0.0001، ووجدت دراسة **<فيليب وزملائه>**[26] أن أخفض قيمة لزوغان القرنية الكلّيّ من نوع الحرج الثانوي كانت في مجموعة المد، ووجدت فرقاً مهمّاً إحصائياً عند مقارنتها مع مجموعة السواء. بينما لم يدرس **<عنبر وزملاؤه>**[25] الزوغان القرني من نوع الحرج الثانوي.

أما بالنسبة للزوغانات القرنية الكلّيّة من نمط رباعي الوريقات وزوغانات القرنية الكلّيّة من الترتيب الخامس لم نجد فروقات ذات دلالة إحصائية، وهذا يتفق مع دراسة **<فيليب وزملائه>**[26] و **<هاشمي وزملائه>**[31] ، بينما لم يدرس **<عنبر وزملاؤه>**[25] الزوغان رباعي الوريقات وزوغانات الترتيب الخامس.

تتمثل العوائق الرئيسية لمقارنة نتائج الدراسات الأخرى مع دراستنا في استخدام مقاييس زوغانات مختلفة، واختلاف قطر الحدقة في العيون المدروسة، واختلاف الفئات العمرية، واختلاف الأعراق، والمجموعات الانكسارية المختلفة بين الدراسات؛ وهذه العوامل كلها تؤثر على موثوقية المقارنة وتتطلب أخذها بالحسبان.

الفصل الخامس

محددات الدراسة والتوصيات

إن هذه الدراسة تُعدّ دراسة مركز وحيد، وهي من المرضى المراجعين لمشفى المواساة خلال هذه المدة الزمنية، حيث لا بد من دراسة الزوغانات دراسة متعددة المراكز لتقييم علاقتها الحقيقية مع أسواء الانكسار، كما لم تقم دراستنا بتغطية الفئات العمرية كلها، ولم تدُرس الزوغانات عند مرضى الحرج بأكثر من كسيرة واحدة بالقيمة المطلقة، ولم تُدرس الزوغانات العينية الكلّيّة، وزوغانات السطح الأمامي والسطح الخلفي للقرنية بالتفصيل.

من واقع النتائج التي خلصت إليها دراستنا ننصح بالآتي:

- إجراء دراسة متعددة المراكز.
- إجراء الدراسة على فئات عمرية أوسع من المرضى.
- إجراء دراسة أوسع تشمل مرضى الحرج بأكثر من كسيرة واحدة بالقيمة المطلقة.
- إجراء دراسة أوسع تشمل الزوغانات العينية الكلّيّة، وزوغانات السطح الأمامي والسطح الخلفي للقرنية بالتفصيل.
- إجراء الدراسة على أقطار حدقة مختلفة عند المرضى.
- إضافة متغيرات أخرى مثل سماكة القرنية المركزية وعمق الغرفة الأمامية.

المراجع

1. Cerviño, A., Hosking, S. L., Montes-Mico R, et al. (2007). Clinical ocular wavefront analyzers. **Journal of Refractive Surgery**. 23(6), 603–616.
2. Maeda, N. (2001). Wavefront technology in ophthalmology. **Current Opinion in Ophthalmology**. 12(4), 294– 299.
3. Nam, J., Thibos, L. N., Bradley, A., et al. (2011). Forward light scatter analysis of the eye in a spatially-resolved double-pass optical system. **Optics Express**. 19(8):7417-38.
4. Schwiegerling, J. (2011). Scaling pseudo-Zernike expansion coefficients to different pupil sizes. **Optics Letters**. 36(16), 3076–3078.
5. Applegate, R. A., Hilmantel, G., Howland, H. C., et al. (2000). Corneal first surface optical aberrations and visual performance. **Journal of Refractive Surgery**. 16(5), 507–514
6. Serrao, S., Lombardo, G., Ducoli, P., et al. (2011). Long-term corneal wavefront aberration variations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 37(9), 1655–1666.
7. Zhao, P. F., Zhou, Y. H., Wang N., et al. (2010). Study of the wavefront aberrations in children with amblyopia. **Chinese Medical Journal**. 123(11), 1431–1435.
8. Jungnickel, H., Babovsky, H., Kiessling, A., et al. (2011). Effects on vision with glare after correction of monochromatic wavefront aberrations. **Journal of Refractive Surgery**. 27(8), 602–612.

9. Charman, W. N. (2005). "Wavefront technology: past, present and future". **Contact Lens and Anterior Eye**. 28(2), 75–92.
10. Bayhan, H. A., Aslan-Bayhan, S., Muhafız, E., et al. (2014). Repeatability of aberrometric measurements in normal and keratoconus eyes using a new Scheimpflug- Placido topographer. **Journal of cataract and refractive surgery**. 40(2): 269–275.
11. Zhiyuan, Z., Mingzhi, Z., Vishal, J., et al. (2021). Comparison between aberration-free transepithelial photorefractive keratectomy and small incision lenticule extraction for correction of myopia and myopic astigmatism. **International Journal of Ophthalmology**. 41(1), 303-314.
12. Thibos, L. N., Applegate, R. A. (2001) Assessment of optical quality. In: MacRae, S. M., Krueger, R. R., Applegate, R. A., editors. **Customized corneal ablation**. West Deptford, NJ: Slack Incorporated; p. 67-79
13. Lombardo, M., Lombardo, G. (2010). Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 36(2), 313–331.
14. Hofer, H., Chen, L., Yoon, G. Y., et al. (2001). Improvement in retinal image quality with dynamic correction of the eye's aberrations. **Optics Express**. 8(11), 631–643
15. Thibos, L. N. (2009). Retinal image quality for virtual eyes generated by a statistical model of ocular wavefront aberrations. **Ophthalmic and Physiological Optics**. 29(3), 288–291.
16. Bühren, J., Martin, T., Kuhne, A., Kohnen, T. (2009). Correlation of aberrometry, contrast sensitivity and subjective symptoms with quality of vision after LASIK. **Journal of Refractive Surgery**. 25(7), 559–568.

17. McAlinden, C., Moore, J. E. (2010). Comparison of higher order aberrations after LASIK and LASEK for myopia. **Journal of Refractive Surgery**. 26(1), 45–51.

18. Kermani, O., Schmiedt, K., Oberheide, U., et al. (2006). Topographic- and wavefront-guided customized ablations with the NIDEK-EC5000CXII in LASIK for myopia. **Journal of Refractive Surgery**. 22(8), 754–763.

19. Kim, A., Chuck, R. S. (2008). Wavefront-guided customized corneal ablation. **Current Opinion in Ophthalmology**. 19(4), 314–320.

20. Marsack, J. D., Parker, K. E., Applegate, R. A. (2008). Performance of wavefront-guided soft lenses in three keratoconus subjects. **Optometry and Vision Science**. 85(12), 1172–1178.

21. Nochez, Y., Favard, A., Majzoub, S., et al. (2010). Measurement of corneal aberrations for customisation of intraocular lens asphericity: impact on quality of vision after micro-incision cataract surgery. **British Journal of Ophthalmology**. 94(4), 440–444.

22. Amano, S., Amano, Y., Yamagami, S., et al. (2004). Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. **American Journal of Ophthalmology**. 137,988–992.

23. Guirao, A., Redondo, M., Artal, P. (2000). Optical aberrations of the human cornea as a function of age. **Journal of the Optical Society of America**. 17, 1697–1702.

24. Little, J. A., McCullough, S. J., Breslin, K. M., et al. (2014). Higher order ocular aberrations and their relation to refractive error and ocular biometry in children. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**. 55, 4791–4800.

25. Anbar, M., Mohamed Mostafa, E., Elhawary, A. M., et al. (2019). Evaluation of Corneal Higher-Order Aberrations by Scheimpflug-Placido Topography in

Patients with Different Refractive Errors: A Retrospective Observational Study. **Journal of Ophthalmology**. 2019, 5640356.

26. Philip, K., Martinez, A., Ho, A., et al. (2012). Total ocular, anterior corneal and lenticular higher order aberrations in hyperopic, myopic and emmetropic eyes. **Vision Research**. 52(1), 31–37.
27. He, J. C., Sun, P., Held, R., et al. (2002). Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. **Vision Research**. 42, 1063–1070.
28. Cheng, H., Barnett, J. K., Vilupuru, A. S., et al. (2004). A population study on changes in wave aberrations with accommodation. **Journal of Vision**. 4, 272–280.
29. Prakash, G., Sharma, N., Choudhary, V., et al. (2008). Higher-order aberrations in young refractive surgery candidates in India: establishment of normal values and comparison with white and Chinese Asian populations. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 34, 1306–1311.
30. Carkeet, A., Luo, H. D., Tong, L., et al. (2002). Refractive error and monochromatic aberrations in Singaporean children. **Vision Research**. 42, 1809–1824.
31. Hashemi, H., Khabazkhoob, M., Jafarzadehpur, E., et al. (2015). Higher order aberrations in a normal adult population. **Journal of Current Ophthalmology**. 27, 115–124.
32. Kirwan, C., O'Keefe, M., Soeldner, H. (2006). Higher-order aberrations in children. **American Journal of Ophthalmology**. 141, 67–70.
33. Ferris, J. (1999). **Basic science in Ophthalmology**. Second edition. BMJ Books. UK. p.73–98.

34. Richard, S. S., Micheal, A. L. (1998). **Clinical anatomy of the eye**. Second edition . Blackwell scientific puplication. USA. p.23-78

35. Kenneth W.W. (1997). **Textbook of ophthalmology**. William Wilkins-A Waverly Company. USA. p.52-97

36. DelMonte, D.W., Kim, T. (2011). Anatomy and physiology of the cornea. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 37, 588–98.

37. Fares, U., Otri, A. M., Al-Aqaba, M. A., et al. (2012). Correlation of central and peripheral corneal thickness in healthy corneas. **Contact Lens and Anterior Eye**. 35, 39–45.

38. Meek, K. M., Boote, C. (2004). The organization of collagen in the corneal stroma. **Experimental Eye Research**. 78, 503–12.

39. Meek, K. M., Knupp, C. (2015). Corneal structure and transparency. **Progress in Retinal and Eye Research**. 49, 1–6.

40. Müller, L. J., Pels, E., Vrensen, G. F. (2001). The specific architecture of the anterior stroma accounts for maintenance of corneal curvature. **British Journal of Ophthalmology**. 85, 437–43.

41. Dua, H. S., Faraj, L. A., Said, D. G., et al. (2013). Human corneal anatomy redefined: A novel pre-descemet's layer (Dua's layer). **Ophthalmology Journal**. 120, 1778–85.

42. Joyce, N. (2003). Proliferative capacity of the corneal endothelium. **Progress in Retinal and Eye Research** . 22(3), 359-89.

43. Rio-Cristobal, A., Martin, R. (2014). Corneal assessment technologies: Current status. **Survey of Ophthalmology**. 59:599–614.

44. Kumar, B., Reilly, M. A. (2020). The development, growth, and regeneration of the crystalline lens: a review. **Current Eye Research**. 45, 1–14

45. Cvekl, A., McGreal, R., Liu, W. (2015). Lens development and crystallin gene expression. **Progress in Molecular Biology and Translational Science**. 134, 129–67.

46. Shirai, K., Tanaka, S–I., Lovicu, F. J., et al. (2018). The murine lens: a model to investigate in vivo epithelial–mesenchymal transition. **Developmental Dynamics**. 247, 340–5.

47. Yanof, M., Duker, J. S. (1999). **Textbook of Ophthalmology**. First Edition. Mosby Ltd. Maryland Heights. USA. pp.256–342

48. American Academy of Ophthalmology. (1997–1998). **Basic and Clinical Science Course. Section 11. Lens and Cataract.** San Francisco. USA. pp.23–67

49. American Academy of Ophthalmology. (2003). **Basic and clinical science course. Section 3. Optics, refraction and contact lenses.** San Francisco. USA. pp.20–83

50. Wright, K. W., Spiegel, P. (2003). **Pediatric Ophthalmology and Strabismus**. New York, NY: Springer. pp.644–653.

51. Friedman, N. J., Kaiser, P. K. (2007). **Essentials of Ophthalmology**. Philadelphia, PA: Elsevier Inc, pp.253–254.

52. Morgan, I., Rose, K. (2005). How genetic is school myopia?. **Progress in Retinal and Eye Research**. 24(1), 38.

53. Kleinstein, R. N., Jones, L. A., Hullett, S., et al. (2003). Refractive Error and Ethnicity in Children. **Archives of Ophthalmology**. 121(8), 1141–1147.

54. Lee, Y. Y., Lo, C. T., Sheu, S. J., et al. (2013). What factors are associated with myopia in young adults? A survey study in Taiwan military conscripts. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**. 54, 1026–33.

55. Konstantopoulos, A., Yadegarfar, G., Elgohary, M. (2008). Near work, education, family history and myopia in Greek conscripts. **Eye**. 22, 542-546.

56. Moore, B. D., Augsburger, A. R., Ciner, E. B., et al. (1997). **Optometric Clinical Practice Guideline: Care of the Patient with Hyperopia**. St. Louis, MO: American Optometric Association. pp.1-29

57. Kempen, J. H., Mitchell, P., Lee, K. E., et al. (2005) The Prevalence of refractive errors among adults in the United States, Western Europe, and Australia. **Archives of Ophthalmology**. 122(4), 495-505.

58. Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study Group. (2010). Prevalence of myopia and hyperopia in 6- to 72-month-old African American and Hispanic children: the multiethnic pediatric eye disease study. **Ophthalmology**. 117(1), 140-147.

59. Wen, G., Tarczy-Hornoch, K., McKean-Cowdin, R., et al. (2013). Prevalence of myopia, hyperopia, and astigmatism in non-Hispanic white and asian children: multiethnic pediatric eye disease study. **Ophthalmology**. 120(10), 2109-2116.

60. Bartley, G. B., Liesegang, T. J. (1992). **Essentials of Ophthalmology**. Philadelphia, PA: JB Lippincott Company. pp.227-240.

61. **Facts About Astigmatism**. National Eye Institute. Retrieved 22/ December/2019. Link: https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/astigmatism.

62. Alpins, N. A. (1998). Treatment of irregular astigmatism. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 24(5), 634-46.

63. Gilbert, S., Charles, F., Dimitri, T., et al. (2005). **Smolin and Thoft's The Cornea: Scientific Foundations and Clinical Practice** Philadelphia, PA: JB Lippincott Company. pp.173-190.

64. Garcia, C., Alexandre, A., Oréfice, F., et al. (2005). Prevalence of refractive errors in students in Northeastern Brazil. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**. 68(3), 321–5

65. Asano, K., Nomura, H., Iwano, M., et al. (2005). Relationship Between Astigmatism and Aging in Middle-aged and Elderly Japanese. **Japanese Journal of Ophthalmology**. 49(2), 127–33.

66. Read, S. A., Collins, M. J., Carney, L. G., (2007). January A review of astigmatism and its possible genesis. **Clinical & Experimental Optometry**. 90(1), 5–19.

67. Mozayan, E., Lee, J. K. (2014). Update on astigmatism management. **Current Opinion in Ophthalmology**. 25(4), 286–90.

68. Fan, Q., Zhou, X., Khor, C., et al. (2011). Genome-wide meta-analysis of five Asian cohorts identifies PDGFRA as a susceptibility locus for corneal astigmatism. **PLOS Genetics**. 7(12), e1002402.

69. Azar, D. T., Gatinel, D., Hoang-Xuan, T. (2007). **Refractive surgery**. (Second Edition). Philadelphia: Mosby / Elsevier.USA. pp.561-580

70. LASIK Eye Surgery. (2009,10,11). **TO VIMA**. Athena: Greece. Lambrakis Press Group. pp. 2-16.

71. Antony, M., Poothullil, Dimitri T, et al. (2007). Terminology, classification, and history of refractive surgery. Editor: Dimitri T Azar. **Refractive surgery**. (Second Edition). Philadelphia: Mosby / Elsevier. pp.1-18.

72. Kymionis, G. D., Reinstein, D. Z., et al. (2012). Femtosecond Laser Technology in Corneal Refractive Surgery: A Review. **Journal of Refractive Surgery**. 28(12), 912-20.

73. Jiang, J. J., Jhanji, V., Sun, L. X., et al. (2020). Comparison of visual quality after Femto-LASIK and TransPRK in patients with low and moderate myopia. **International Ophthalmology**. 40(6), 1419-1428.

74. Wu, W., Wang, Y., Xu, L. (2015). Epipolis-laser in situ keratomileusis versus photorefractive keratectomy for the correction of myopia:A meta-analysis. **International Ophthalmology**. 35, 757-63.

75. Rapuano, C. J., Sugar, A., Koch, D. D., et al. (2001). Intrastromal corneal ring segments for low myopia. **Ophthalmology**. 108, 1922-1928.

76. Shah, R. (2019). History and results; indications and contraindications of SMILE compared with LASIK. **Asia-Pacific journal of ophthalmology** . 8(5), 371-376.

77. Pucci, V., Morselli, S., Romanelli, F., et al. (2001). Clear lens phacoemulsification for correction of high myopia. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 27, 896-900.

78. Huang, D., Schallhorn, S. C., Sugar, A., et al. (2009). Phakic intraocular lens implantation for the correction of myopia: a report by the American Academy of Ophthalmology. **Ophthalmology**. 116(11), 2244-58.

79. Mester, U., Dillinger, P., Anterist, N. (2003). Impact of a modified optic design on visual function: clinical comparative study. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 29, 652-660

80. Guenther, R. (1990). **Modern Optics**. Cambridge:UK. John Wiley & Sons Inc. pp. 130.

81. Kirkpatrick, L., Wheeler, G. (1992). **Physics: A World View** (2nd ed.). Philadelphia: Harcourt Brace College Publishers. pp. 410.

82. Zhao, H., Mainster, M. A. (2007). The Effect of Chromatic Dispersion on Pseudophakic Optical Performance. **British Journal of Ophthalmology**. 91, 1225–9.

83. Atchison, D. A., Smith, G. (2005). Chromatic Dispersions of the Ocular Media of Human Eyes. **Journal of the Optical Society of America (A)**. 22, 29–37.

84. Atchison, D., Charman, W. (2010). Thomas Young's contribution to visual optics: The Bakerian lecture “On the mechanism of the eye”. **Journal of Vision**. 10, 16.

85. Lee, J. M., Lee, D. J., Jung, W. J., et al. (2008). Comparison between anterior corneal aberration and ocular aberration in laser refractive surgery. **Korean Journal of Ophthalmology**. 22, 164–168.

86. Hao, W., Wang, Y., Cui, T., et al. (2021). Effects of varying illumination on ocular aberrations and aberration compensation before and after small incision Lenticule extraction: a prospective cohort study. **BMC Ophthalmology**. 16; 21(1), 336.

87. Artal, P., Guirao, A., Berrio, E., et al. (2001). Compensation of corneal aberrations by the internal optics of the human eye. **Journal of Vision**.1(1), 1–8,

88. Lu, N., Lin, F., Huang, Z., et al. (2016). Changes of corneal wavefront aberrations in dry eye patients after treatment with artificial lubricant drops. **Journal of Ophthalmology**. 3(1), 11.

89. Montés-Micó, R., Alio, J. L., Charman, N. (2005). Dynamic changes in the tear film in dry eyes. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**. 46(5), 1615–1619.

90. Paquin, M. P., Hamam, H., Simonet, P. (2002). Objective measurement of optical aberrations in myopic eyes. **Optometry and Vision Science**. 79(5), 285–291.

91. Wei, S., Song, H., Tang, X. (2016). Characterization of anterior corneal high-order wavefront aberrations and correlations with astigmatism in Chinese elderly subjects. **Optik**. 127, 3969–3975.

92. Birkenfeld, J., De Castro, A., Oritz, S., et al. (2013). Contribution of the gradient refractive index and shape to the crystalline lens spherical aberration and astigmatism. **Vision Research**. 86, 27–34.

93. Lopez-Miguel, A., Martinez-Almeida, L., Gonzalez-Garcia, M. J., et al. (2013). Precision of higher-order aberration measurements with a new Placido-disk topographer and Hartmann-Shack wavefront sensor. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 39, 242–249.

94. Wang, Y., Wang, Z-Q., Guo, H., et al. (2007). Wavefront aberrations in the accommodated human eye based on the individual eye model. **Optik**. 118, 271–277.

95. López-Gil, N., Rucker, F. J., Stark, L. R., et al. (2007). Effects of third-order aberrations on dynamic accommodation. **Vision Research**. 47, 755–765.

96. Namba, H., Kawasaki, R., Sugano, A., et al. (2017). Age-related changes in ocular aberrations and the Yamagata Study (Funagata). **Cornea**. 36, S34–S40.

97. Smith, G., Cox, M. J., Calver, R., et al. (2001). The spherical aberration of the crystalline lens of the human eye. **Vision Research**. 41, 235–243.

98. Rawer, R., Stork, W., Spraul, C. W., et al. (2005). Imaging quality of intraocular lenses. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 31, 1618–1631.

99. Artal, P., Berrio, E., Guirao, A., et al. (2002). Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age **Journal of the Optical Society of America (A)**. 1, 137–143.

100. Cerviño, A., Hosking, S. L., Ferrer-Blasco, T., et al. (2008). A pilot study on the differences in wavefront aberrations between two ethnic groups of young generally myopic subjects**. Ophthalmic and Physiological Optics**. 28, 532–537.

101. Prakash, G., Srivastava, D., Choudhuri, S., et al. (2016). Comparison of ocular monochromatic higher-order aberrations in normal refractive surgery candidates of Arab and South Asian Origin. **Middle East African Journal of Ophthalmology**. 23(1), 115–121.

102. Atchison, D. A. (2004). Recent advances in representation of monochromatic aberrations of human eyes. **Clinical and Experimental Optometry**. 87, 138–148.

103. Thibos, L. N., Applegate, R. A., Schwiegerling, J. T., et al. (2000), VSIA Standards Taskforce Members. Report from the VSIA taskforce on standards for reporting optical aberrations of the eye. **Journal of Refractive Surgery**. 16, 5654–5655.

104. American National Standard for ophthalmics – methods for reporting optical aberrations of the eye: ANSI Z80.28-2010. (2010). **American National Standards Institute.** Washington, DC: American National Standards Institute.

105. Gatinel, D., Malet, J., Dumas, L. (2018). Polynomial decomposition method for ocular wavefront analysis. **Journal of the Optical Society of America (A)**. 35(12), 2035–2045.

106. Gatinel, D., Rampat, R., Dumas, L., et al. (2020). An alternative wavefront reconstruction method for human eyes **Journal of Refractive Surgery**. 36(2), 74–81.

107. Xu, R., Bradley, A., Thibos, L. N. (2013). Impact of primary spherical aberration, spatial frequency and Stiles Crawford apodization on wavefront determined refractive error: a computational study. **Ophthalmic and Physiological Optics**. 33(4), 444–455.

108. Xu, R., Bradley, A., López-Gil, N., et al. (2015). Modelling the effects of secondary spherical aberration on refractive error, image quality and depth of focus. **Ophthalmic and Physiological Optics**. 35(1), 28–38.

109. Shaw, P. J., Rawlins, D. J. (1991). The point-spread function of a confocal microscope: its measurement and use in deconvolution of 3-D data. **Journal of Microscopy**. 163(2), 151–165.

110. Mahajan, V. (1983). Strehl ratio for primary aberrations in terms of their aberration variance. **Journal of the Optical Society of America (A)**. 73(6), 860–861,

111. Goodman, J. (2005). **Introduction to Fourier Optics** (3rd ed.). Greenwood Village, CO: Roberts & Co Publishers. pp.71-98

112. Platt, B.C., Shack, R. (2001). History and principles of Shack-Hartmann wavefront sensing. **Journal of Refractive Surgery**. 17(5), S573–577.

113. Cade, F., Cruzat, A., Paschalis, E. I., et al. (2013). Analysis of four aberrometers for evaluating lower and higher order aberrations. **PLOS One**. 8, e54990

114. Carvalho, L. A., Castro, J. C., Carvalho, L. A. (2002). Measuring higher order optical aberrations of the human eye: techniques and applications. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**. 35(11), 1395-406.

115. de Castro, L. E., Sandoval, H. P., Bartholomew, L. R., et al. (2007). High-order aberrations and preoperative associated factors. **Acta Ophthalmologica**. 85(1), 106–110.

116. Mrochen, M., Kaemmerer, M., Mierdel, P., et al. (2000). Principles of Tscherning aberrometry. **Journal of Refractive Surgery**. 16(5), S570–571.

117. Molebny, V. V., Panagopoulou, S. I., Molebny, S. V., et al. (2000). Principles of ray tracing aberrometry. **Journal of Refractive Surgery**. 16(5), S572–575.

118. Burns, S. A. (2000). The spatially resolved refractometer. **Journal of Refractive Surgery**. 16(5), S566–569.

119. Maeda, N. (2009). Clinical applications of wavefront aberrometry- A review. **Clinical and Experimental Ophthalmology**. 37, 118–29.

120. Bruce, A. S., Catania, L. J. (2014). Clinical applications of wavefront refraction. **Optometry and Vision Science**. 91, 1278–1286.

121. **LASIK Quality of Life Collaboration Project**. U.S Food and Drug Administration. Retrieved: 28/November/2014. Link: https://www.fda.gov/medical-devices/lasik/lasik-quality-life-collaboration-project

122. Schallhorn, S. C., Farjo, A. A., Huang, D., et al. (2008). Wavefront-guided LASIK for the correction of primary myopia and astigmatism a report by the American Academy of Ophthalmology. **Ophthalmology**. 115(7), 1249–1261.

123. He, R., Qu, M., Yu, S. (2005). Comparison of NIDEK CATz wavefront-guided LASIK to traditional LASIK with the NIDEK CXII excimer laser in myopia. **Journal of Refractive Surgery**. 21(5), S646–S649.

124. Tran, D. B., Shah, V. (2006). Higher order aberrations comparison in fellow eyes following intraLase LASIK with wavelight allegretto and customcornea LADArvision4000 systems. **Journal of Refractive Surgery**. 22, S961.

125. Kim J, Choi SH, Lim DH, et al. (2019). Topography-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis for myopia: surgical outcomes. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 45, 959–965.

126. Holladay, J. T., Piers, P. A., Koranyi, G., et al. (2002). A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. **Journal of Refractive Surgery**. 18(6), 683-691

127. Eppig, T.,Schrecker, J., Messner, A., et al. (2020). Aberration Correction with Aspheric Intraocular Lenses. In: Wang, X., Ferreri, F., editors. **Intraocular Lens**. London: IntechOpen. pp.71-122

128. Nochez, Y., Majzoub, S., Pisella, P-J. (2011). Effect of residual ocular spherical aberration on objective and subjective quality of vision in pseudophakic eyes. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 37(6), 1076-1081

129. Ferrer-Blasco, T. (2009). Effect of partial and full correction of corneal spherical aberration on visual acuity and contrast sensitivity. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 35(5), 949-951

130. Altmann, G. E., Nichamin, L. D., Lane, S. S., et al. (2005). Optical performance of 3 intraocular lens designs in the presence of decentration. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**. 31(3), 574–585.

131. Delgado, S., Velazco, J., Delgado, R. M., et al. (2016). Correlation of higher order aberrations in the anterior corneal surface and degree of keratoconus measured with a scheimpflug camera. **Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología**.91, 316–319.

132. Randleman, J. B., Trattler, W. B., Stulting, R. D. (2008). Validation of the Ectasia Risk Score System for preoperative laser in situ keratomileusis screening. **American Journal of Ophthalmology**. 145, 813–818.

133. Bühren, J., Kühne, C., Kohnen, T. (2007). Defining subclinical keratoconus using corneal first-surface higher-order aberrations. **American Journal of Ophthalmology**. 143, 381–389.

134. Maeda, N., Fujikado, T., Kuroda, T., et al. (2002). Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. **Ophthalmology**. 109(11), 1996–2003.

135. Ortiz-Toquero, S., Fernandez, I., Martin, R. (2020). Classification of keratoconus based on anterior corneal high-order aberrations: a cross-validation study. **Optometry and Vision Science**. 97, 169–177.

136. Alió, J. L., Shabayek, M. H. (2006). Corneal higher order aberrations:a method to grade keratoconus. **Journal of Refractive Surgery**. 22, 539–45.

137. Zadnik, K., Barr, J. T., Edrington, T. B., et al. (1998). Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**. 39, 2537–46.

138. Kosaki, R., Maeda, N., Bessho, K., et al. (2007). Magnitude and orientation of Zernike terms in patients with keratoconus. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**. 48, 3062–8.

139. Negishi, K., Kumanomido, T., Utsumi, Y., et al. (2007). Effect of higher-order aberrations on visual function in keratoconic eyes with a rigid gas permeable contact lens. . **American Journal of Ophthalmolog**. 144, 924–9.

140. Marsack, J. D., Parker, K. E., Pesudovs, K., et al. (2007). Uncorrected wavefront error and visual performance during RGP wear in keratoconus. **Optometry and Vision Science**. 84, 463–70.

141. Guirao, A., Porter, J., Williams, D. R., et al. (2002). Calculated impact of higher-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes. **Journal of the Optical Society of America (A)**. 19, 1–9.

142. Pantanelli, S., MacRae, S., Jeong, T. M., et al. (2007). Characterizing the wave aberration in eyes with keratoconus or penetrating keratoplasty using a high-dynamic range wavefront sensor. **Ophthalmology**. 114, 2013–21.

143. Marsack, J. D., Pesudovs, K., Sarver, E. J., et al. (2006). Impact of Zernike-fit error on simulated high- and low-contrast acuity in keratoconus: implications for using Zernike-based corrections. **Journal of the Optical Society of America (A)**. 23, 769–76.

144. Nguyen, M. T. B., Thakrar, V., Chan, C. C. (2018). EyePrintPRO therapeutic scleral contact lens: indications and outcomes. **Canadian Journal of Ophthalmology**. 53, 66–70.

145. Silverman, J., Huffman, J. M., Zimmerman, M. B., et al. (2021). Indications for Wear, Visual Outcomes, and Complications of Custom Imprint 3D Scanned Scleral Contact Lens Use. **Cornea**, 40(5), 596–602.

146. Netto, M. V., Ambrósio, R., Jr, Shen, T. T., et al. (2005). Wavefront analysis in normal refractive surgery candidates. **Journal of refractive surgery**. 21(4), 332–338.

147. Cheng, X., Bradley, A., Hong, X., et al. (2003). Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye. **Optometry and vision science**. 80(1), 43–49.

148. Kasahara, K., Maeda, N., Fujikado, T., et al. (2017). Characteristics of higher-order aberrations and anterior segment tomography in patients with pathologic myopia. **International Ophthalmology**. 37(6), 1279–1288.

149. Xu, Z., Hua, Y., Qiu, W., et al. (2018). Precision and agreement of higher order aberrations measured with ray tracing and Hartmann- Shack aberrometers. **BMC ophthalmology**. 18(1), 18.

الملاحق

الجمهورية العربية السورية
جامعــة دمشـــق
كلّيّــة الطب البشــري

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Medicine

الموافقة المستنيرة على المشاركة بالبحث الذي عنوانه

العلاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب و أسواء الانكسار

أنا الطبيب محمد يزن زهير السراقبي طالب الدراسات العليا (ماجستير) في اختصاص أمراض العين و جراحتها في كلّيّة الطب البشري – جامعة دمشق، أنفذ هذا البحث الذي يهدف إلى دراسة العلاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب و أسواء الانكسار.

و يتضمن هذا البحث إجراء الاستقصاءات التالية:

١– أخذ قصة سريرية عينية وجهازية.

٢– فحص عيني شامل: حدة إبصار مصححة باستخدام لوحة سنلن، فحص الأقسام الأمامية للعين بواسطة المصباح الشقي، قياس سوء الانكسار والقوة الكاسرة للقرنية بواسطة جهاز قياس أسواء الانكسار و تحدب القرنية الأوتوماتيكي، قياس الطول المحوري الأمامي الخلفي للمقلة باستخدام جهاز الأمواج فوق الصوتية، فحص الأقسام الخلفية للعين باستخدام تنظير قعر العين غير المباشر، قياس زمن تكسر الطبقة الدمعية، قياس ضغط العين بطريقة التسطيح، إجراء صورة طبوغرافيا قرنية.

٣– تقسيم العينة إلى 4 مجموعات بحسب المكافئ الكروي SE (Spherical Equivalent) بعد تقطير Cyclomed 1% (Cyclopentolate Hydrochloride 1%, Medico Labs, Syria) مرتين بفاصل خمس دقائق والانتظار نصف ساعة بعد آخر قطرة:

١) مجموعة السواء: $-0.5\ D < SE < +0.5\ D$ مع حرج $|Astigmatism| \leq 0.25D$

٢) مجموعة الحسر الخفيف: $-0.5\ D \geq SE \geq -3\ D$ مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.

٣) مجموعة الحسر المتوسط والشديد: $SE < -3\ D$ مع حرج حسري بالقيمة المطلقة أقل من 1 كسيرة.

٤) مجموعة المد: $SE \geq +0.5\ D$ مع حرج مدي أقل من +1 كسيرة.

٤- سنقوم في هذه البحث باختيار عين واحدة لكل مريض بطريقة عشوائية، ثم دراسة العلاقة بين انتماء المريض الى أحد المجوعات الأربعة السابقة و قيم RMS للزوغانات التالية عند قطر حدقة 5 ملم وذلك لمجمل الزوغانات القرنية التالية:

- Coma.
- Trifoil.
- Spherical Aberration.
- Secondary Astigmatism.
- Quadrifoil.
- Secondary Coma (Coma II).
- Secondary Trifoil (Trifoil II).
- Pentafoil.

إن موافقتكم على الاشتراك في بحثنا هذا يعني تزويدنا بالمعلومات المتعلقة بمرضكم لملء استبيان خاص بالبحث، علماً بأن هذه المعلومات ضرورية لمتابعة حالتكم الصحية، و أودّ أن أؤكد أن هذه المعلومات ستبقى سرية ولا يمكن لأحد الاطلاع عليها، كما سيتم ترميز المشاركين (إعطاؤهم أرقام دونَ ذكر أسماء)، وكذلك أتعهد بعدم إجراء أي استقصاء غير ضروري لحالة المريض وعدم إعطاء أي دواء تجريبي أو أي تداخل دوائي أو استقصائي من شأنه أن يؤذي المريض بقصد أو بغير قصد.

كما أود أن أشير إلى أن المشارك (المريض / الشاهد) لن يحصل على أية تعويضات أو أي مقابل مادي، كما أن رفض المشاركة ليس له أية تبعات و سينال حقه من العناية الطبية اللازمة. وعليه

فإن المشاركة ليست إلزامية ولك الحرية الكاملة في اختيار المشاركة من عدمها ولك حق الانسحاب متى شئت، فمن يرغب المشاركة فليسجل اسمه مع التوقيع أسفل هذه الاستمارة.

المخاطر و الفوائد:

- لا توجد أي مخاطر للفحوص المجراة لدى المرضى المشاركين في البحث.
- الفوائد تكمن في معرفة أهمية العلاقة بين الزوغانات القرنية عالية الترتيب وأسواء الانكسار.

الموافقة على المشاركة:

لقد اطلعت و أدركت محتوى الموافقة المستنيرة و أوافق طوعاً على أن أكون مشاركاً في هذا البحث، وأدرك أنني أملك فرصة الاستفسار عن أيّ أمر مع ضرورة الإجابة كما و أملك الحق في الانسحاب في أيّ وقت أشاء و دونَ أن يعرضني ذلك لأي ضرر و عليه أوقع.

الرقم المتسلسل للمشارك ( )

التوقيع .....

التاريخ / / .

ملاحظة

بالنسبة للأشخاص الذين لا يجيدون القراءة و الكتابة ، تم شرح هدف البحث لهم و أخذت موافقتهم الشفهية بحضور فرد من عائلته .

دمشق في / / .

د. محمد يزن زهير السراقبي ٠٩٩٤٣٤٧٦٦٧

البريد الالكتروني yazansaraqeby@gmail.com

-Abstract-

Relationship between Higher-Order Corneal Aberrations and Refractive Errors

Background: The relationship between higher-order aberrations and refractive errors remains controversial in current studies.

Aim: The research aims to discover the changes in the RMS values of the corneal higher-order aberrations up to 5^{th} order aberrations in Syrian adults population with different refractive errors (emmetropia, myopia & hyperopia).

Materials and methods: A cross-sectional study that included 217 eyes of 217 patients ,ages 20-40 years, who attended ophthalmological clinics at Al-Mowasat University Hospital in Damascus during the period from April 2021 until mars 2022, where a comprehensive eye examination was performed, Then corneal topography was performed using Sirius device to study the corneal higher-order aberrations up to 5^{th} order aberrations with a pupil diameter of 5 mm, then data were collected and analyzed statistically.

Results: RMS of total corneal higher-order aberrations peaked in the hyperopia group (0.89±0.28). Coma and Spherical Aberrations were also higher in the hyperopia group (0.49±0.17, 0.33±0.14) respectively. Whereas, Trefoil and Secondary Astigmatism were higher in the moderate and severe myopia group (0.45±0.14, 0.07±0.04) respectively.

Conclusion: We found a significant increase in total corneal higher-order aberrations, Spherical Aberration and Coma in hyperopia, a significant increase in Trefoil and Secondary Astigmatism in moderate and severe myopia , and no statistically significant differences in other higher-order aberrations.

Keywords: Corneal higher-order aberrations, Coma, Spherical aberration, Trefoil, Refractive error.

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Damascus University
Faculty of Medicine
Al-Mouasat University Hospital - Ophthalmology Department

Relationship between Higher-Order Corneal Aberrations and Refractive Errors

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Ophthalmology

By:

Mhd Yazen Alsarakbi

Supervised:

Assistant Professor Motaz Sadeddin

Academic year:

2022