



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατανόηση της νέας τεχνολογίας στην επεξεργασία των οφθαλμικών φακών και καταγραφή των προϊόντων που πληρούν τις προδιαγραφές του ελεύθερου σχεδιασμού.**

Σηφάκη Κλειώ Α.Μ. 197  
Τσιρτσίκου Κλεονίκη Α.Μ. 151

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Γεωργανοπούλου Γεωργία

ΑΙΓΙΟ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχίζοντας την πτυχιακή εργασία μας και τελειώνοντας με αυτήν τις υποχρεώσεις μας στο ΤΕΙ Αιγίου, Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές για τις γνώσεις και την εμπειρία που μας έδωσαν αυτά τα 4 χρόνια φοίτησης μας και μας βοήθησαν ώστε να είμαστε σε αυτή την θέση, της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα πούμε στις οικογένειες μας για την δυνατότητα που μας έδωσαν να φοιτήσουμε και την στήριξη που μας πρόσφεραν και κατά την διάρκεια φοίτησης μας αλλά και τα την διάρκεια συγγραφής αυτής της εργασίας.

Προσωπικές ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στη Μαρία και τον Μάρκο για τη βοήθεια που μας πρόσφεραν και την εταιρεία Rodenstock του κύριου Βαρσάνου για την πολύτιμη βοήθεια τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εκτροπές εμφανίζονται σε όλα τα οπτικά μέσα, ακόμα και στον ανθρώπινο οφθαλμό. Τέτοιες εκτροπές αποτελούν η μυωπία, η υπερμετροπία αλλά και ο αστιγματισμός. Με τη χρήση των οφθαλμικών φακών δίνεται η δυνατότητα να αντιμετωπιστούν και να εξαλειφθούν σε αρκετά μεγάλο βαθμό, λόγω του ότι το φως εισέρχεται στους οφθαλμούς μέσω πλευρικών ακτινών καθώς και από την περιοχή μέσα από τον φακό. Οι εκτροπές φυσικά δημιουργούνται και στην επιφάνεια των φακών με αποτέλεσμα να υπάρχει η ανάγκη να εξαλειφθούν αλλά και να μην δημιουργούν επιπλέον προβλήματα στον οφθαλμό. Οι σχεδιαστικές αρχές όπως είναι η σφαιρικότητα και η ασφαιρικότητα των φακών είναι βασικά στοιχεία τα οποία μπορούν να αντιμετωπίσουν σε κάποιο βαθμό τις εκτροπές. Διαφορετικές εκτροπές μπορούν να εμφανιστούν ανάλογα με τον τύπο των φακών, το υλικό, τις επιστρώσεις και τις εστίες των φακών αυτών. Η νέα τεχνολογία του ελεύθερου σχεδιασμού, που κάνει την εμφάνιση του και την χρήση του τα τελευταία χρόνια στον χώρο των οφθαλμικών φακών, έχει βοηθήσει χιλιάδες άτομα μονοεστιακής ή πολυεστιακής όρασης εξασφαλίζοντάς τους καλύτερη και πιο άνετη όραση. Η τεχνολογία του Free Form κάνει την εμφάνιση της και στην ελληνική αγορά, καθώς αρκετές εταιρείες παρουσιάζουν προϊόντα με το συγκεκριμένο σχεδιασμό.

## ABSTRACT

Aberrations appear in all optical media, even in the human eye. Such aberrations are myopia, hyperopia and astigmatism. With the use of the ocular lenses are able to tackle and eliminate in pretty heavily, because the light enters the eyes through lateral lays and from the area through the lens. The aberrations created also on the surface of lenses with the result that there is a need to eliminate and not create additional problems in the eye. The design principles such as sphericity and asphericity lenses are key elements which can address to some extent the aberrations. Different aberrations can appear depending on the type of lenses, the material, the coatings and the outbreaks of these lenses. The new technology of free design, which makes the appearance and the use of the last years in the area of the eye lenses, has helped many individuals monofocal or multifocal eyesight by giving them better and more comfortable vision. The technology of freeform makes the appearance in the Greek market too, as several companies exhibiting products with specific design.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	3
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	7
1.0. ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ .....	7
1.1. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ: .....	8
1.1.1. <i>Μυωπία</i> .....	8
1.1.2. Υπερμετρωπία .....	9
1.1.3. Αστιγματισμός.....	10
1.2. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ .....	11
1.2.1. Χρωματική εκτροπή .....	12
1.2.2. Σφαιρική εκτροπή.....	13
1.2.3. Κόμη .....	14
1.2.4. Αστιγματισμός λοξών ακτίνων .....	14
1.2.5. Παραμόρφωση .....	15
1.2.6. Καμπυλότητα του πεδίου.....	17
1.3. ΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΙΣ ΕΚΤΡΟΠΕΣ .....	18
1.3.1. Ανάλυση Μετώπου Κύματος (WAVEFRONT) .....	18
1.3.2. Βασικές αρχές ανάλυσης μετώπου κύματος .....	18
1.3.3. Βασικές αρχές μέτρησης μετώπου κύματος.....	19
1.3.4. Μετρικές για την παρουσίαση και αξιολόγηση των εκτροπών .....	22
1.3.5. Μαθηματικές εκφράσεις για τα διάφορα μετρικά συστήματα: .....	23
1.3.6. Η Ανάλυση Μετώπου Κύματος στην κλινική Εφαρμογή .....	25
ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	29
2.0. ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ .....	29

2.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ: .....	29
2.1.1. Ανάλογα με τις εστίες: .....	30
2.1.1.1. Μονοεστιακοί οφθαλμικοί φακοί.....	30
2.1.1.2. Διπλεστικά οφθαλμικοί φακοί.....	30
Διάκριση ως προς το υλικό κατασκευής των διπλεστικών φακών .....	34
2.1.1.3. Τριπλεστικά.....	35
2.1.1.4. Πολυεστιακοί φακοί.....	36
2.1.2. Ανάλογα με τις σχεδιαστικές αρχές των οφθαλμικών φακών .....	40
2.1.2.1. Σφαιρικοί φακοί: .....	40
2.1.2.2. Ασφαιρικοί φακοί:.....	41
2.1.2.3. Ατορικοί φακοί: .....	42
2.1.2.4. Κυλινδρικοί φακοί: .....	42
2.1.2.5. Σφαιροκυλινδρικοί ή αναμορφικοί ή τορικοί φακοί: .....	42
2.1.2.6. Αχρωματικός φακός .....	43
2.1.3. Διάκριση οφθαλμικών φακών με βάση το υλικό τους .....	43
2.2. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΚΩΝ .....	44
2.2.1. Σφαιρόμετρο .....	44
2.2.2. Φακόμετρο .....	44
2.3. ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.....	48
3.1. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ.....	48
3.2. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ .....	50
3.3. ΟΙ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ .....	51
3.3.1. <i>Εξατομικευμένοι πολυεστιακοί φακοί</i> .....	53
3.3.2. <i>Ελεύθερος σχεδιασμός επιφάνειας ή Free form technology.</i> .....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ.....	63
4.0. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ FREE FORM ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ: .....	63

4.1. HOYA .....	63
4.2. AMVIS .....	65
4.3. Rodenstock .....	67
4.4. ΔΟΥΝΙΑΣ .....	69
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: .....	72

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κύριο θέμα της πτυχιακής εργασίας μας αφορά τους οφθαλμικούς φακούς free form. Πρόκειται για μία κατηγορία οφθαλμικών φακών που έκανε την εμφάνιση του τα τελευταία χρόνια στην αγορά. Οι φακοί αυτοί που έχουν κυκλοφορήσει εδώ και λίγα χρόνια έχουν αρκετά πλεονεκτήματα στην όραση των διοπτροφόρων.

Η πτυχιακή εργασία διαρθρώνεται με σκοπό να μην υπάρχουν κενά όσον αφορά τους οφθαλμικούς φακούς free form, όπου είναι και το θέμα της πτυχιακής εργασίας. Να καλύπτει δηλαδή τις πληροφορίες που αφορούν την κατασκευή των φακών με τεχνολογία free form αλλά και ότι αφορά γύρω από τους φακούς αυτούς.

Πρώτα, γίνεται αναφορά των οπτικών εκτροπών που παρουσιάζονται στον ανθρώπινο οφθαλμό, ενώ στην συνέχεια αναφέρονται και αναλύονται οι εκτροπές των οφθαλμικών φακών. Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να υπολογιστούν οι εκτροπές αυτές. Με λίγα λόγια, ποιες είναι οι εκτροπές, τι μπορούν να προκαλέσουν οι εκτροπές αυτές στην όραση και πως μπορούν να μειωθούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αυτής αναφέρονται οι οφθαλμικοί φακοί, ως προς τις εστίες που έχουν, τον σχεδιασμό που γίνεται η κατασκευή τους και τέλος τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι οφθαλμικοί φακοί.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελείται και αναλύεται από την νέα τεχνολογία κατασκευής των οφθαλμικών φακών. Οι οφθαλμικοί φακοί freeform είναι ένα ενδιαφέρον θέμα αλλά και κάτι καινούργιο στην Ελληνική αγορά, σε σχέση με άλλες χώρες που χρησιμοποιείται περισσότερο. Έτσι, μας δίνεται η δυνατότητα να ασχοληθούμε με αυτό το θέμα και να μάθουμε περισσότερα για τους οφθαλμικούς φακούς και πολύ περισσότερα για τους οφθαλμικούς φακούς της σχεδίασης με ελεύθερο σχεδιασμό, τους οποίους δεν γνωρίζαμε σχεδόν καθόλου.

Οι πληροφορίες της πτυχιακής εργασίας προέρχονται από βιβλία, από το ιστοσελίδες του διαδικτύου αλλά και από άρθρα ελληνικής αλλά και ξένης βιβλιογραφίας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## 1.0 ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ

Όταν προσπέσει μια παράλληλη ακτίνα φωτός από ένα αντικείμενο σε ένα φακό θα συγκλίνει σε ένα εστιακό σημείο και θα έχουμε τον σχηματισμό ενός ειδώλου που ανταποκρίνεται πλήρως στο αντικείμενο. Αυτό θα ήταν κάτι ιδανικό, αλλά στην πραγματικότητα δεν ισχύει, καθώς οι φακοί εμφανίζουν κάποιες ατέλειες στην απεικόνιση των ειδώλων είτε γιατί δεν είναι πάντα λεπτοί είτε γιατί το φως αποτελείται από ακτινοβολίες διαφόρων μηκών κύματος με αποτέλεσμα να έχουμε τον σχηματισμό ενός μη τέλειου ειδώλου και κατά συνέπεια εκτροπές. Ως εκτροπή μπορούμε να ορίσουμε το τελικό αποτέλεσμα ενός ειδώλου που δεν ανταποκρίνεται στην ακριβή απεικόνιση της εικόνας ενός αντικειμένου, αλλά διαφορετικού σχήματος και ίσως και διαφορετικού μεγέθους.

Για να μπορούμε να έχουμε τέλεια γεωμετρικά είδωλα είναι απαραίτητο να έχουμε και τέλειες επίπεδες και ασφαιρικές οπτικές επιφάνειες. Για να το εξασφαλίσουμε αυτό σε ένα πραγματικό σύστημα χρησιμοποιούμε μόνο το μέρος του μετώπου κύματος, που βρίσκεται κοντά στον οπτικό άξονα του μέσου που εξετάζουμε. Αυτό συνεπάγεται ότι όλες οι γωνίες μεταξύ του άξονα αυτού και των ακτινών είναι πολύ μικρές. Αυτό στην πράξη είναι πολύ δύσκολο καθώς οπτικές ακτίνες εισέρχονται από περιφερειακά σημεία του οπτικού άξονα και από ασύμμετρα σημεία ως προς αυτόν.

Τα σφάλματα ή οπτικές εκτροπές διακρίνονται σε τάξης ανάλογα με την παραμόρφωση και το πρόβλημα που δημιουργούν σε κάθε περίπτωση. Υπάρχουν οι εκτροπές χαμηλής τάξης ή εκτροπές αφεστίασης, όπου σε αυτές κατατάσσονται τα διαθλαστικά σφάλματα που εμφανίζονται στο οπτικό σύστημα του οφθαλμού και περιλαμβάνουν τη μυωπία, την υπερμετρωπία και τον αστιγματισμό. Επιπλέον υπάρχουν οι εκτροπές υψηλής τάξης όπως είναι η σφαιρική εκτροπή, η χρωματική εκτροπή, ο πλάγιος αστιγματισμός, η κόμη, η παραμόρφωση του πεδίου και η καμπύλωση.

Τα οπτικά σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την διάθλαση του φωτός στον οφθαλμό ή σε έναν οφθαλμικό φακό δυσκολεύουν συχνά την όραση ακόμα και σε εμμετρικούς οφθαλμούς. Τέτοια φαινόμενα παρουσιάζονται κυρίως σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού όπου η κόρη είναι αισθητά μεγαλύτερη και αφήνει περισσότερες ακτίνες φωτός να εισέλθουν στον οφθαλμό και επομένως υπάρχει σύγχυση των ακτινών και δημιουργία εκτροπών.

Οι οπτικές εκτροπές του οφθαλμού εξαρτώνται από τις διαθλαστικές του επιφάνειες, καθώς και από την ομοιογένεια που έχουν τα διαθλαστικά μέσα.



## 1.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ:

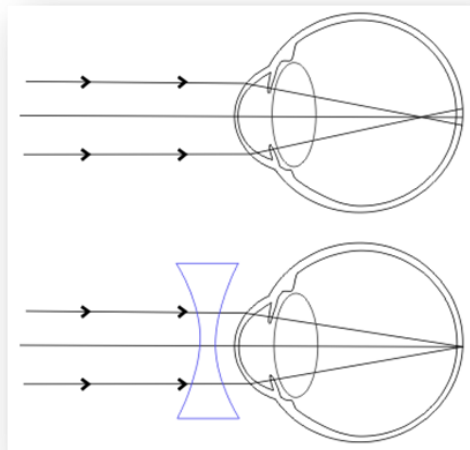
Τα σφάλματα χαμηλής τάξης αφορούν τον οφθαλμό του ματιού. Εμφανίζονται λόγω αποκλίσεων στις καμπυλότητες των επιφανειών του οφθαλμού. Η διόρθωση τους μπορεί να γίνει είτε με γυαλιά οράσεως είτε με φακούς επαφής ή ακόμα και με διαθλαστική χειρουργική.

Οι κατηγορίες των σφαλμάτων αυτών είναι:

1. Η διαμήκης ή αξονική εστιακή μετατόπιση όπου το είδωλο μετακινείται πάνω στον οπτικό άξονα σε λάθος σημείο.
2. Η εγκάρσια ή πλευρική εστιακή μετατόπιση όπου το είδωλο σχηματίζεται πλάγια σε σημείο εκτός του οπτικού άξονα.

Και έτσι έχουμε τα σφάλματα της μυωπίας και υπερμετροπίας όπου:

**1.1.1 Μυωπία** ονομάζεται το σφάλμα εκείνο όπου το είδωλο από το αντικείμενο που παρατηρείται σχηματίζεται μπροστά από το επίπεδο του αμφιβληστροειδή (ΑΜΦ) και όχι ακριβώς πάνω σε αυτόν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μη ευκρινούς ειδώλου για μακρινά αντικείμενα. Τα κοντινά αντικείμενα, αντιθέτως, φαίνονται καθαρά λόγω του ότι οι ακτίνες μεταφέρονται πίσω σε σημείο πάνω στον ΑΜΦ (η χρήση της προσαρμογής δεν προσφέρει κάτι σε αυτό το σφάλμα). (εικόνα 1)



**Εικόνα 1:** Εστίαση ακτίνων σε οφθαλμό που παρουσιάζει μυωπία.

Η διόρθωσή της επιτυγχάνεται με αρνητικούς οφθαλμικούς φακούς, ενώ τα αίτιά της μπορεί να είναι είτε ανατομικά είτε διαθλαστικά. Ενώ μπορούμε να συναντήσουμε πέντε βασικούς τύπους μυωπίας:

a. Απλή μορφή μυωπίας:

- Αξονική, που επηρεάζεται από μήκος που έχει ο μυωπικός οφθαλμός (μεγαλύτερο σε σχέση με τον φυσιολογικό)
- Διαθλαστική, που επηρεάζεται από την μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ ή την μικρότερη καμυλότητα του κερατοειδή ή και άλλων διαθλαστικών μέσων του οφθαλμού.

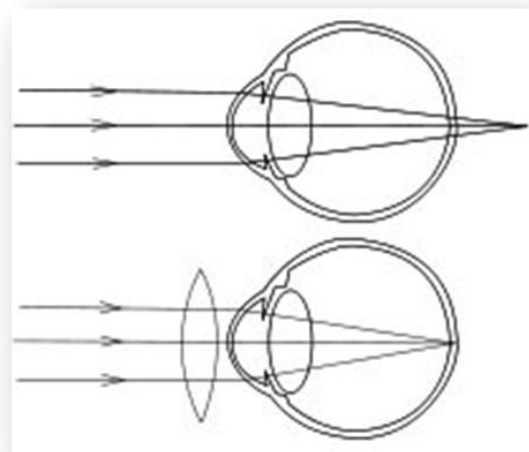
b. Εκφυλιστική, είναι παθολογική και συνοδεύεται από εκφυλίσεις και ατροφίες στο βυθό του ματιού που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Είναι μεγάλου βαθμού (πάνω από 10 διοπτρίες).

c. Νυχτερινή, που εδώ υπάρχει μείωση της ευκρίνειας της όρασης κατά τις απογευματινές και τις βραδινές ώρες. Θεωρείται φυσιολογικό φαινόμενο που οφείλεται στον χαμηλό φωτισμό και την αύξηση της διαμέτρου της κόρης, που οδηγεί σε αυξημένη σφαιρική εκτροπή.

d. Ψευδομυωπία, που οφείλεται σε αύξηση των επιπέδων γλυκόζης στον οργανισμό, σε φαρμακευτική αγωγή, καθώς και σε άλλες περιβαλλοντολογικές ανωμαλίες.

e. Επίκτητη, που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της ζωής κυρίως σε άτομα που κάνουν παρατεταμένη κοντινή εργασία.

**1.1.2 Υπερμετροπία** ονομάζεται το σφάλμα που εμφανίζει την ακριβώς αντίθετη εστίαση των ακτίνων σε σχέση με τη μυωπία. Το είδωλο από το αντικείμενο που παρατηρείται σχηματίζεται πίσω από τον ΑΜΦ (χωρίς την χρήση προσαρμογής) και όχι ακριβώς πάνω σε αυτόν. Ο υπερμετρωπικός οφθαλμός έχει μικρότερο αξονικό μήκος σε σχέση με τον φυσιολογικό με αποτέλεσμα να μπορεί να διακρίνει καθαρά μόνο τα αντικείμενα που βρίσκονται σε μακρινή απόσταση. Στην περίπτωση αυτή, το είδωλο σχηματίζεται πίσω από το επίπεδο του αμφιβληστροειδή, ενώ χρησιμοποιώντας την προσαρμο-



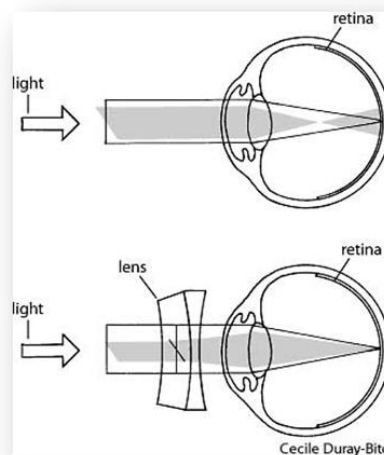
Εικόνα 2: Εστίαση ακτίνων σε οφθαλμό που παρουσιάζει υπερμετροπία

γή έρχεται μπροστά και πάνω στο επίπεδο του ΑΜΦ . Αντίθετα, για τα κοντινά αντικείμενα το είδωλο σχηματίζεται ακόμα πιο πίσω από το επίπεδο του αμφιβληστροειδή (σε σχέση με τα μακρινά ) και δεν επιτυγχάνεται καθαρή όραση λόγω της εξάντλησης της προσαρμογής σε πιο μακρινές αποστάσεις. Η υπερμετροπία διορθώνεται με θετικούς οφθαλμικούς φακούς. (εικόνα 2)

Κατατάσσεται ανάλογα με τα αίτια και τα συμπτώματα σε:

- Απλή, όπου διακρίνεται στη διαθλαστική, που το μήκος του οφθαλμού είναι κανονικό, αλλά η ισχύς του πολύ μικρή και στην αξονική κατά την οποία η ισχύς του οφθαλμού είναι κανονική αλλά το μήκος του πολύ μικρό.
- Εξωγενή υπερμετροπία.
- Παθολογική - μπορεί να οφείλεται σε ατελή ανάπτυξη των οφθαλμών

**1.1.3 Αστιγματισμός** ονομάζεται η διαθλαστική ανωμαλία η οποία μπορεί να συνυπάρχει μαζί με μυωπία ή υπερμετροπία. Συνήθως οφείλεται σε ανωμαλία που εμφανίζουν οι επιφάνειες του ματιού. Όταν η ανωμαλία είναι στον κερατοειδή του ματιού έχουμε τον κερατοειδικό αστιγματισμό, ενώ όταν η ανώμαλη είναι στον κρυσταλλοειδή φακό του ματιού έχουμε τον φακικό αστιγματισμό. Οι επιφάνειες των μέσων, δεν έχουν την σωστή καμπυλότητα σε κάποιο σημείο και αντί να είναι σφαιρικές είναι οβάλ. Η μη σφαιρικότητα είτε του κερατοειδή είτε του φακού κάνει το φως που εισέρχεται στον οφθαλμό να εστιάζεται σε δύο σημεία του αμφιβληστροειδή αντί για ένα σημείο που είναι το φυσιολογικό, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια σύγχυση των ακτίνων του ειδώλου. (εικόνα 3)



**Εικόνα 3:** Εστίαση ακτίνων σε οφθαλμό που παρουσιάζει αστιγματισμό

“Όταν ο διαθλαστικότερος μεσημβρινός του ματιού είναι ο κάθετος, τότε ο αστιγματισμός ονομάζεται σύμφωνος με τον κανόνα, όταν ο διαθλαστικότερος μεσημβρινός είναι ο οριζόντιος, τότε ο αστιγματισμός ονομάζεται παρά τον κανόνα.

Στον **ομαλό αστιγματισμό** οι δύο μεσημβρινοί που εμφανίζουν τη μέγιστη διαφορά διαθλαστικής δύναμης είναι κάθετοι μεταξύ τους και ονομάζονται κύριοι άξονες του αστιγματισμού.

Στον *ανώμαλο αστιγματισμό* οι μεσημβρινοί με τη μέγιστη διαφορά διαθλαστικής δύναμης δεν είναι κάθετοι μεταξύ τους. Ο ανώμαλος αστιγματισμός συνήθως είναι αποτέλεσμα παραμόρφωσης του κερατοειδούς, όπως παρατηρείται σε κερατόκωνο, ή σε ουλοποίηση του κερατοειδούς από πάθηση ή τραυματισμό.” (Διάθλαση. Δαμανάκης Α).

Ο αστιγματισμός υπάρχει συνήθως από τη γέννηση του ατόμου και μπορεί να παραμείνει στα ίδια επίπεδα ή και να χειροτερέψει με την πάροδο του χρόνου. Ο σύμφωνα με το κανόνα αστιγματισμός είναι συνήθως απλός στην διόρθωσή του με οφθαλμικούς φακούς και φακούς επαφής (τορικούς ή μη ανάλογα το μέγεθος του προβλήματος) ή διαθλαστική χειρουργική. Ο αστιγματισμός παρά τον κανόνα, αντιθέτως, που είναι πολύ πιο πολύπλοκος στη φύση του, η διόρθωσή του είναι δυσκολότερη.

Εκτός της φυσιολογικής ύπαρξης αστιγματισμού, υπάρχουν περιπτώσεις τραυματισμού του οφθαλμού που δημιουργούν αστιγματισμό και φυσικά υπάρχει και η περίπτωση του κερατόκωνου η οποία είναι ανωμαλία στην επιφάνεια του κερατοειδή. Στη περίπτωση αυτή, ο κερατοειδής όχι μόνο χάνει την καμπυλότητά του, αλλά αρχίζει να παίρνει και την μορφή «κώνου», προκαλώντας μεγάλα προβλήματα στην όραση και αύξηση των εκτροπών στον οφθαλμό, λόγω της μεγάλης διαφοράς που δημιουργείται στην καμπυλότητα του κερατοειδή.

## 1.2 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ<sup>1</sup>

Οι εκτροπές υψηλής τάξης είναι πιο πολύπλοκα οπτικά σφάλματα που επηρεάζουν σημαντικά την όραση και εμφανίζονται πιο έντονα στους οφθαλμικούς φακούς και λιγότερο στον οφθαλμό. Προκαλούν, ειδικά την νύχτα, θολή όραση, διπλωπία, θάμβος και ανάλογα με την περίπτωση μπορούν να υπάρξουν και άλλα συμπτώματα.

Τα σφάλματα αυτά εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στους οφθαλμικούς φακούς. Οι ακτίνες φωτός δεν ακολουθούν πορεία μόνο κοντά στον οπτικό άξονα του φακού αλλά και στην περιφέρεια του, δημιουργώντας κάποιες εκτροπές στην πορεία τους. Είναι η σφαιρική εκτροπή, η κόμη και ο αστιγματισμός τα οποία είναι σφάλματα που επηρεάζουν αισθητά την ποιότητα του ειδώλου, κάνοντας το ασαφές. Ενώ το σφάλμα της παραμόρφωσης του πεδίου επηρεάζει το γεωμετρικό σχήμα του ειδώλου. Το σφάλμα αυτό προέρχεται κυρίως από τη διαφορετική εκτροπή των ακτινών κατά την πρόσπτωση τους στην επιφάνεια του φακού.

---

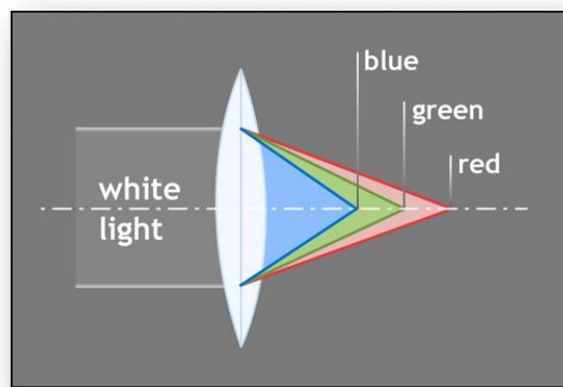
<sup>1</sup> Το μέγεθος της κόρης έχει σημαντική επίδραση στις συνέπειες των σφαλμάτων, και ιδιαίτερα για τα σφάλματα υψηλής τάξης.

Αναλυτικά οι εκτροπές αυτές είναι:

### 1.2.1 Χρωματική εκτροπή:

Το λευκό φως αποτελείται από ακτινοβολίες με διάφορα μήκη κύματος (πολυχρωματικό) και όταν αυτό περνάει μέσα από έναν σφαιρικό φακό, η διάθλαση που υφίστανται οι διάφορες ακτινοβολίες που το αποτελούν διαφέρει, επομένως το φως αναλύεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης κάθε υλικού είναι διαφορετικός για κάθε χρώμα του ορατού φάσματος, οπότε η διάθλαση των ακτίνων θα δημιουργήσει διαφορετική εκτροπή αυτών. Οι ακτίνες με μικρό μήκος κύματος σχηματίζουν εστία πιο κοντά στο φακό και οι ακτίνες με μεγάλο μήκος κύματος πιο μακριά.

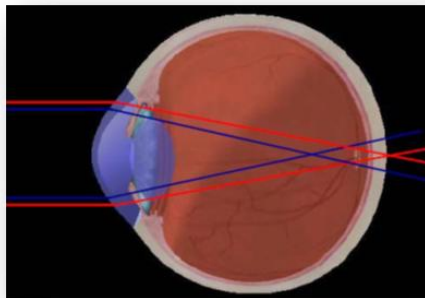
Ο δείκτης διάθλασης του ιώδους (μωβ) χρώματος είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο για ερυθρό (κόκκινο), επομένως και η εκτροπή του είναι μεγαλύτερη. Συνέπεια αυτού είναι να μην σχηματίζεται σημειακή εστία αλλά μια έγχρωμη κηλίδα και ο σχηματισμός του ειδώλου να μην είναι ευκρινής λόγω του παραγόμενου ειδώλου που αποτελείται από έντονους χρωματισμούς. Έτσι, όταν εστιάζεται η ιώδης ακτίνα, η κόκκινη δεν έχει εστιαστεί ακόμα, ενώ όταν εστιάζεται η κόκκινη, η ιώδης έχει ήδη αφεστιαστεί (παίρνουμε ως παράδειγμα τα δύο ακραία χρώματα του ορατού φάσματος ενώ τα υπόλοιπα χρώματα εστιάζονται σε σημεία ανάμεσα σε αυτές τις δύο ακραίες θέσεις). Αυτή η ανάλυση και η εστίαση των χρωμάτων σε διαφορετικό σημείο ονομάζεται χρωματική εκτροπή και έτσι υπάρχουν πολλά χρωματικά είδωλα σαν τελικό αποτέλεσμα τις εκτροπής αυτής. (εικόνα 4,5)



Εικόνα 4: Χρωματική Εκτροπή

Η εκτροπή που αναλύουμε επηρεάζεται και από τον αριθμό Abbe του υλικού ενός φακού, οπότε είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του υλικού κατασκευής ενός οφθαλμικού φακού. Το ιδανικό και επιθυμητό είναι να υπάρχει ένας μεγάλος δείκτης Abbe ώστε να έχουμε το λιγότερο επιθυμητό δια-

σκεδασμό και έτσι να κρατήσουμε την χρωματική εκτροπή σε χαμηλά επίπεδα. Επιπρόσθετα, ένα δείκτη διάθλασης μεγάλο σε αριθμό, ώστε να έχουμε λεπτό και ελαφρύ τελικό αποτέλεσμα. Αυτές οι δύο παράμετροι όμως δεν μπορούν να συνδυαστούν καθώς όσο μεγαλώνει η τιμή του δείκτη διάθλασης τόσο μειώνεται η τιμή Abbe και άρα αυξάνεται το χρωματικό σφάλμα. Για να διορθώσουμε το σφάλμα της χρωματικής εκτροπής χρησιμοποιούμε φακό με διαφορετικούς συντελεστές διασκεδασμού, ο οποίος ονομάζεται αχρωματικός, με τον οποίο συμπίπτουν οι εστίες από τα άκρα του ορατού φώτος, δηλαδή του κόκκινου και του μπλε χρώματος.



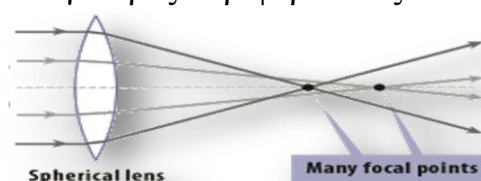
Εικόνα 5: Εστίαση των δύο ακραίων χρωμάτων του ορατού φάσματος στον οφθαλμό.

Για την ανάλυση των παρακάτω εκτροπών θα χρησιμοποιείται μονοχρωματική ακτινοβολία, καθώς η ύπαρξη της χρωματικής εκτροπής δε θα βοηθήσει για την μελέτη και ανάλυση των υπόλοιπων σφαλμάτων.

### 1.2.2 Σφαιρική εκτροπή:

Μετρήθηκε για πρώτη φορά από τον Young το 1801 και από τον Tscherning το 1898.

Το σφάλμα αυτό εμφανίζεται και αφορά συνήθως περιφερειακές ακτίνες, οι οποίες εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία γύρω από τον οπτικού άξονα και δημιουργούν κηλίδα εστίασης αντί για σημείο (εικόνα 6). Όσο πιο κοντά στον οπτικό άξονα βρίσκεται η ακτίνα, τόσο πιο μακριά θα εστιαστεί, ενώ όσο πιο μακριά είναι η ακτίνα, τόσο πιο κοντά θα έχουμε την συγκέντρωσή της αφότου περάσει από το φακό. Το συγκεκριμένο σφάλμα μπορούμε να το περιορίσουμε με διάφραγμα, μειώνοντας την περιοχή όπου φωτίζεται ο φακός, ώστε να υπάρχουν όσο τον δυνατόν λιγότερες περιφερειακές ακτίνες. Επίσης, χρησιμοποιού-

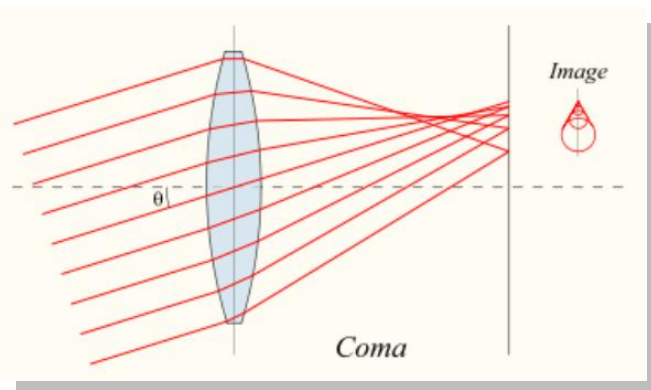


Εικόνα 6: Σφαιρική εκτροπή

με ασφαιρικούς φακούς με διαφορετικές και μεταβλητές ακτίνες καμπυλότητας για την αποφυγή του σφάλματος αυτού. Έτσι μειώνουμε την σφαιρική απόκλιση των ακτίνων που δημιουργεί το σφάλμα αυτό.

### 1.2.3 Κόμη

Η κόμη οφείλεται στην επίδραση της σφαιρικής εκτροπής στις λοξές ακτίνες, δηλαδή ακτίνες οι οποίες εισέρχονται στον φακό από περιοχή εκτός του οπτικού άξονα και με πλάγια κλίση. Οι διαφορετικές ζώνες του φακού δίνουν και διαφορετικές εστίες, ενώ οι ακτίνες που διέρχονται από την περιφέρεια του φακού απεικονίζονται σε διαφορετικό ύψος από αυτές που διέρχονται από το κέντρο του φακού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το είδωλο ενός σημείου που σχηματίζεται από τις ακτίνες αυτές να αποτελείται από αλληλοεπικαλυπτόμενους κύκλους που παίρνουν ένα σχήμα σαν του κομήτη, με φωτεινό κέντρο και λιγότερο φωτεινή ουρά. Το σφάλμα αυτό θα παρουσιάζεται καθώς οι ακτίνες θα απομακρύνονται από τον οπτικό άξονα. Οι ακτίνες που περνούν από εξωτερικό σημείο του φακού εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία είτε μακρύτερα από τον άξονα (θετική κόμη) είτε πιο κοντά στον άξονα (αρνητική κόμη). Όπως και με τη σφαιρική εκτροπή, η κόμη μπορεί να ελαχιστοποιηθεί επιλέγοντας την κατάλληλη καμπυλότητα στους φακούς. (εικόνα 7)

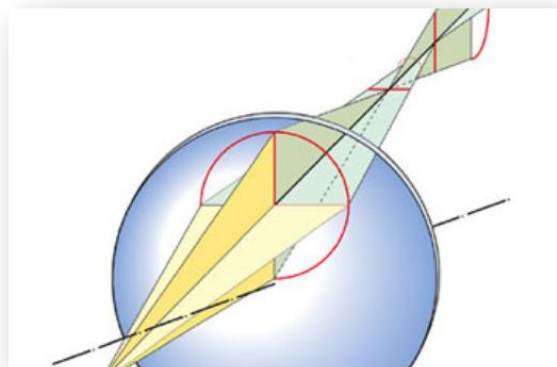


Εικόνα 7: Σφάλμα Κόμης

### 1.2.4 Αστιγματισμός λοξών ακτίνων:

Όταν μια δέσμη ακτίνων περνάει από έναν φακό με πλάγια κλίση και όχι παράλληλα με τον οπτικό άξονα δεν έχουμε την συγκέντρωση της δέσμης σε μια σημειακή εστία, αλλά σε δύο διαφορετικά σημεία. Αποτέλεσμα αυτού είναι να έχουμε την εμφάνιση του κωνοειδούς του Sturm και τον σχηματισμό δυο εστιακών γραμμών κάθετων μεταξύ τους και έναν κύκλο ελάχιστης σύγχυσης μεταξύ αυτών (εικόνα 8). Μια διαφορετική καμπυλότητα ενός φακού στην επιφάνεια μπορεί να δημιουργήσει αστιγματισμό. Τα δύο είδη αστιγματισμού αποτελούν εκτροπές δεύτερης τάξης, τα οποία προκύπτουν για αντικείμενα που

βρίσκονται εκτός οπτικού άξονα. Η πρώτη μορφή εκτροπής δημιουργείται όταν το οπτικό σύστημα είναι απόλυτα συμμετρικό, χωρίς καμία ανωμαλία. Αυτή αναφέρεται και ως μονοχρωματική εκτροπή, γιατί προκύπτει ακόμα και για φως συγκεκριμένου μήκους κύματος. Η δεύτερη μορφή αστιγματισμού προκύπτει όταν το οπτικό σύστημα δεν είναι συμμετρικό γύρω από τον οπτικό άξονα. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα του σχεδιασμού του συστήματος (όπως στην περίπτωση ενός κυλινδρικού φακού) ή αποτέλεσμα κατασκευαστικού λάθους στις επιφάνειες του συστήματος ή κακή διάταξη των στοιχείων του. Στην περίπτωση αυτή ο αστιγματισμός παρατηρείται ακόμα και σε ακτίνες που βρίσκονται πάνω στον κεντρικό οπτικό άξονα.



Εικόνα 8: Αστιγματισμός λοξών ακτίνων

### 1.2.5. Παραμόρφωση

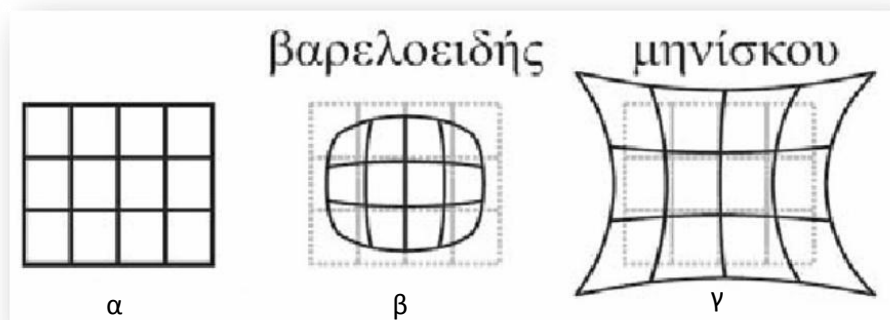
Η παραμόρφωση, αφορά την αδυναμία ενός φακού να αναπαραστήσει στο είδωλο το ακριβές σχήμα ενός αντικειμένου. Τα σημεία του ειδώλου μπορεί να είναι σε ακριβή εστίαση στο σωστό επίπεδο του ειδώλου, καταλαμβάνοντας θέσεις είτε κοντύτερα είτε μακρύτερα του οπτικού άξονα, από ότι οι ιδανικές τους θέσεις. Έτσι η μεγέθυνση που θα έχει το αντικείμενο είναι διαφορετική και ανάλογη με την απόστασή του από τον οπτικό άξονα. Η παραμόρφωση οφείλεται στο ότι η μεγέθυνση των σημείων μακριά από τον οπτικό άξονα διαφέρει από την μεγέθυνση των σημείων κοντά σε αυτόν. Η παραμόρφωση του ειδώλου (distortion) δεν επηρεάζει την ευκρίνεια αυτού, αλλά μετατοπίζει τα σημεία του από τη θέση την οποία έπρεπε να έχουν. Συνεπώς, η μεγέθυνση δεν είναι σταθερή σε όλο το πεδίο του φακού. Όταν υπάρχουν υψηλοί θετικοί φακοί μεγενθύνουν περισσότερο τα περιφερικά τμήματα του αντικειμένου, ενώ στην ύπαρξη υψηλών αρνητικών φακών το αποτέλεσμα θα είναι η σμίκρυνση τους. Για το λόγο αυτό ένα αντικείμενο που έχει μεγαλύτερη μεγέθυνση στο κέντρο παρά στην περιφέρεια ή αντίστροφα, θα παρουσιάζει παραμόρφωση. Η τελική μορφή της παραμόρφωσης σχετίζεται και επηρεάζεται από την ισχύ του οπτικού συστήματος, το δείκτη διάθλασης των οπτικών μέσων, το ακριβές μέγεθος του δι-



αφράγματος του οπτικού συστήματος- που είναι η κόρη, την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς. (Εικόνα 9).

**Αρνητική ή βαρελοειδής παραμόρφωση:** η αρνητική παραμόρφωση εμφανίζεται στους αρνητικούς φακούς, όπου η μεγέθυνση του ειδώλου μειώνεται όσο μειώνεται και η απόσταση από τον οπτικό άξονα. Το αποτέλεσμα είναι ένα είδωλο που φαίνεται σαν να έχει τυλιχθεί γύρω από ένα βαρέλι ή μια σφαίρα.

**Θετική ή παραμόρφωση μηνίσκου:** η θετική παραμόρφωση εμφανίζεται στους θετικούς φακούς, όπου η μεγέθυνση του ειδώλου αυξάνεται όσο αυξάνεται και η απόσταση από τον οπτικό άξονα. Το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται είναι οι γραμμές που δεν περνούν από το κέντρο του ειδώλου να κλίνουν προς το κέντρο του φακού, σα μαξιλάρι. Ένα ποσό θετικής παραμόρφωσης βρίσκουμε στα οπτικά όργανα, όπως τα κιάλια.



Εικόνα 9: Σφάλμα Παραμόρφωσης του ειδώλου

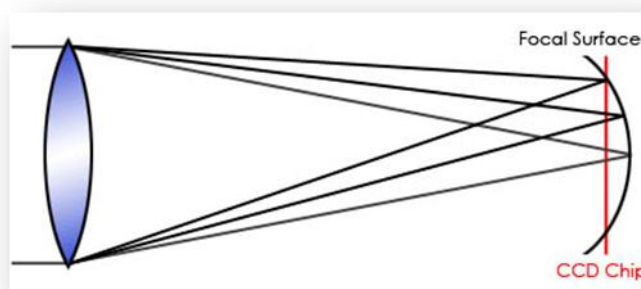
Για να μην αναπτύσσεται η παραμόρφωση θα πρέπει το διάφραγμα του φακού να συμπίπτει με το φακό. Στη περίπτωση αυτή έχουμε το ορθοσκοπικό σύστημα (orthoscopic system). Εάν το διάφραγμα απομακρυνθεί από το φακό, τότε εμφανίζεται η παραμόρφωση. Το είδωλο π.χ. ενός ορθογώνιου πλέγματος παίρνει τη μορφή (εικόνα 9,β) εάν το διάφραγμα είναι μπροστά από το φακό, οπότε έχουμε την αρνητική ή βαρελοειδή παραμόρφωση (barrel distortion), ενώ εάν το διάφραγμα είναι πίσω από το φακό, τότε το είδωλο έχει τη μορφή (εικόνα 9,γ) και έχουμε τη θετική παραμόρφωση ή παραμόρφωση μηνίσκου (positive distortion). Στην αρνητική παραμόρφωση η μεγέθυνση ελαττώνεται καθώς τα σημεία του ειδώλου απομακρύνονται από το κέντρο του πεδίου, ενώ στη θετική συμβαίνει το αντίθετο.

Τα σημεία του ειδώλου μπορεί να είναι καλά εστιασμένα (επίπεδο είδωλο αν έχουν εξαλειφθεί όλες οι εκτροπές), αλλά εξαιτίας της παραμόρφωσης θα

καταλαμβάνουν θέσεις είτε κοντύτερα (βαρελοειδής παραμόρφωση), είτε μακρύτερα (μηνοειδή παραμόρφωση) του άξονα από ότι οι ιδανικές τους θέσεις. Δηλαδή, η παραμόρφωση δημιουργείται επειδή η γραμμική μεγέθυνση ενός φακού δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνειά του. Όπου η περιφέρεια του φακού, δρα και σαν πρίσμα, παραμορφώνει (καμπυλώνει) τα είδωλα.

### 1.2.6 Καμπυλότητα του πεδίου

Η καμπύλωση πεδίου του Petzval, πήρε το όνομά της από τον Joseph Petzval. Ο οποίος περιγράφει την εκτροπή αυτή όπου ένα επίπεδο αντικείμενο δεν δημιουργεί επίπεδο είδωλο, τα σημεία του αντικειμένου δεν μπορεί να απέχουν το ίδιο από μια διαθλαστική επιφάνεια. Σε έναν θετικό φακό οι περιφερικές ακτίνες που προέρχονται από το είδωλο εστιάζουν πιο κοντά στο φακό ενώ οι κεντρικές πιο μακριά. Έτσι, η εικόνα του αντικειμένου εμφανίζεται κυρτωμένη προς τα άκρα του φακού. Το αντίθετο φαινόμενο συμβαίνει με έναν αρνητικό φακό. Η καμπύλωση του πεδίου έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι δυνατός ο σχηματισμός της εικόνας του αντικειμένου πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Προκειμένου να εστιαστούν ακριβώς όλα τα σημεία του αντικειμένου, η επιφάνεια πρέπει να είναι κυρτή, όπως συμβαίνει στον ανθρώπινο οφθαλμό όπου το σημείο συγκέντρωσης των ακτινών είναι μια κυρτή επιφάνεια που ονομάζεται αμφιβληστροειδής. Το γεγονός ότι ο Αμφιβληστροειδής του οφθαλμού αποτελεί τμήμα σφαίρας και δεν είναι επίπεδος μειώνει την επιπλέον εισαγωγή εκτροπών στο οπτικό σύστημα του οφθαλμού λόγω της καμπύλωσης πεδίου. Επιπλέον, η ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης του κρυσταλοειδή φακού και η ασφαιρικότητα του κερατοειδούς συμβάλλουν και αυτές στον περιορισμό του σφάλματος καμπύλωσης πεδίου. (εικόνα 10)



Εικόνα 10: Καμπύλωση του πεδίου

Γι' αυτό ακόμα και όταν η πιθανή αμετροπία έχει διορθωθεί, το είδωλο που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή, δεν είναι απόλυτα ευκρινές, αλλά παρουσιάζει κάποια θόλωση λόγω της ύπαρξης χρωματικών και μονοχρωματικών εκτροπών αλλά και της περίθλασης.

### 1.3 ΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΙΣ ΕΚΤΡΟΠΕΣ;

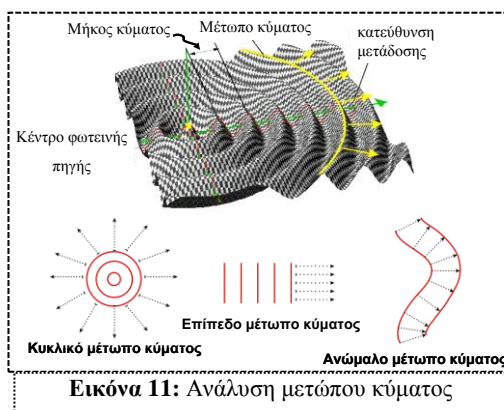
Ο πλέον συνηθισμένος τρόπος για την αναπαράσταση των εκτροπών ενός οπτικού συστήματος είναι με τη μορφή των εκτροπών ενός μετώπου κύματος. Για τον υπολογισμό των εκτροπών αυτών χρησιμοποιείται το ανάπτυγμα των πολωνύμων Zernike. Κάθε πολώνυμο αποτελείται από τρία στοιχεία. Τον παράγοντα κανονικοποίησης, ένα ακτινικά εξαρτώμενο πολώνυμο και ένα γωνιακά εξαρτώμενο ημίτονο.

#### 1.3.1 Ανάλυση Μετώπου Κύματος (WAVEFRONT)

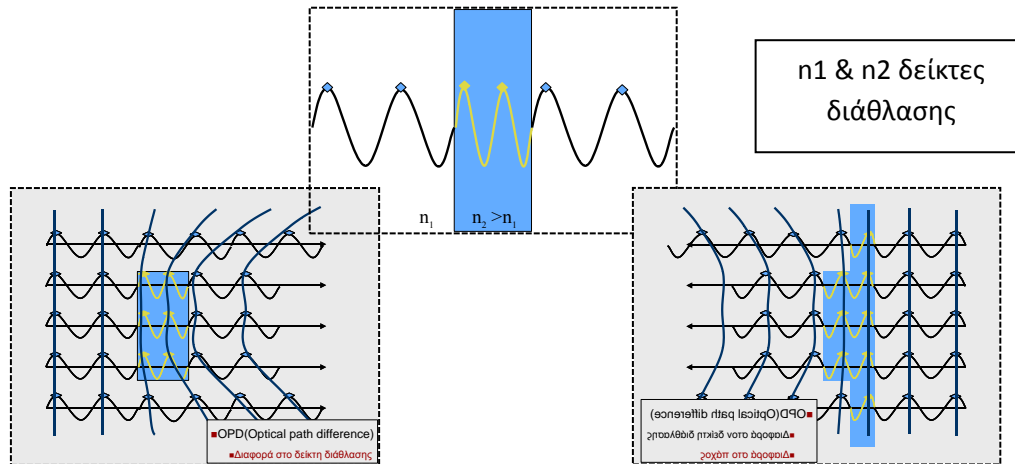
Για την μέτρηση των ολικών οπτικών εκτροπών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες δίνουν αντίστοιχα αποτελέσματα σε συγκριτικές μελέτες στους ίδιους οφθαλμούς. Η πιο πολυχρησιμοποιούμενη είναι η καινοτόμος μέθοδος μέτρησης του μετώπου κύματος, για χαρτογράφηση των ολικών οπτικών σφαλμάτων, και της διαθλαστικής δύναμης του οφθαλμού. Χρησιμοποιώντας εξελιγμένα όργανα που ονομάζονται διαθλασίμετρα μετώπου κύματος ή αλλιώς αναλυτές μετώπου κύματος (Wavefront Analyzers) ή εκτροπόμετρα, έχει υπάρξει δυνατή η ακριβής μέτρηση και αναλυτική καταγραφή όλων των οπτικών εκτροπών του οφθαλμού. Η απεικόνιση γίνεται με τη μορφή χρωματικού χάρτη.

#### 1.3.2 Βασικές αρχές ανάλυσης μετώπου κύματος

Η κορυφή του κύματος που σχηματίζεται κατά την μέτρηση κινείται μακριά από την πηγή σε κυκλική διάταξη. Η καμπύλη που ακολουθεί την κορυφή του κύματος όπως αυτό διαμορφώνεται σε κάθε χρονική στιγμή, ονομάζεται μέτωπο κύματος (Wavefront). Όταν το φως προέρχεται από μία σημειακή πηγή, το μέτωπο κύματος έχει σφαιρικό σχήμα. Όσο το μέτωπο κύματος μετακινείται μακριά και ακόμα πιο μακριά από την πηγή, ένα τμήμα της επιφάνειάς του επιπεδώνεται σταδιακά, έως ότου, όλο το μέτωπο κύματος γίνεται επίπεδο. (εικόνα 11)



Όταν το φως ταξιδεύει και περνάει από «μέσα» με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, για παράδειγμα αέρας-κερατοειδής, «καθυστερεί» αλλά η συχνότητα παραμένει η ίδια. Επίσης, όταν το φως περάσει από το ίδιο υλικό το οποίο είναι πιο παχύ σε ορισμένες περιοχές, εκεί θα καθυστερήσει περισσότερο και έτσι το μέτωπο του κύματος θα γίνει πιο καμπύλο από τις υπόλοιπες πιο λεπτές περιοχές. (εικόνα 12)



Εικόνα 12: Μετάδοση φωτός από κάποιο μέσο

### 1.3.3 Βασικές αρχές μέτρησης μετώπου κύματος

Υπάρχουν τρεις βασικές αρχές που εφαρμόζονται για την μέτρηση των σφαλμάτων μετώπου κύματος.

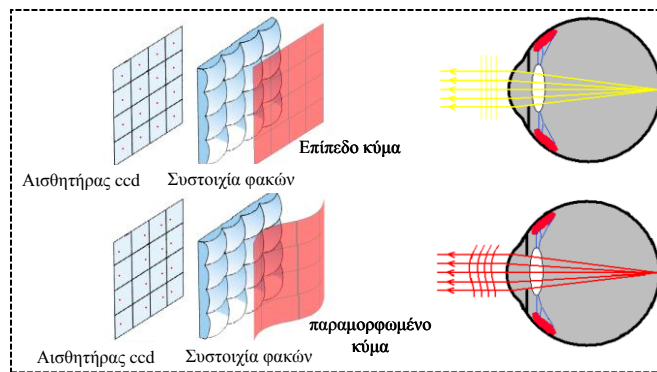
- 1 Αρχή Hartmann-Shack
- 2 Αρχή Howland & Howland
- 3 Αρχή Ray tracing

Αναλυτικά:

1. Αρχή Hartmann-Shack: αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο αναλυτή μετώπου κύματος. Η ανάλυση μετώπου κύματος με την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στα αστρονομικά τηλεσκόπια για την μέτρηση των εκτροπών που προκαλούνται από αλλαγές του δείκτη διάθλασης της ατμόσφαιρας. Ο Liang και συν. το 1994 χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά την μέθοδο αυτή στην μέτρηση των εκτροπών του οφθαλμού. Έτσι, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μία ακτίνα φωτός (SLD, Super Luminance Photodiode) -φωτοδίοδος υψηλής λαμπρότητας- η οποία εισέρχεται στον οφθαλμό από το άνοιγμα της κόρης. Η ακτίνα αυτή αντανακλάται από τον αμφιβληστροειδή του οφθαλμού, και ως δεύτερη πηγή φωτός εξέρχεται από τον οφθαλμό. Η ακτίνα στην πορεία της μέσα στο μάτι, υπόκειται κάποια ανάλογη παραμόρφωση από τα σφάλματα και τις ατέλειες των

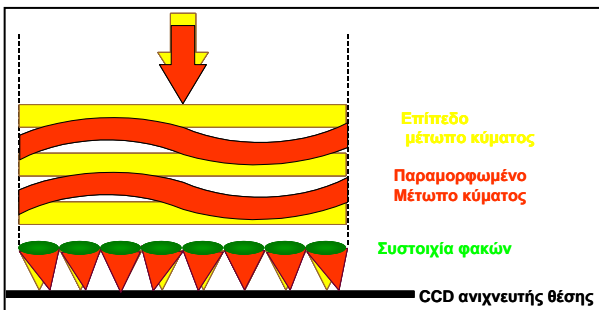
μέσων, και καταλήγει σε μία συστοιχία φακών. Η συστοιχία αυτή μέσα από την οποία περνάει η εξερχόμενη δέσμη, αποτελείται από ένα πλέγμα μικρών φακών, καθένας από τους οποίους εστιάζει ένα μικρό κομμάτι από το μέτωπο κύματος, πάνω σε έναν αισθητήρα (CCD imaging chip).

Η απόκλιση κάθε σημείου από το ιδανικό σημείο εστίασης κάθε φακού πάνω στον αισθητήρα CCD είναι αντίστοιχα μία ένδειξη της κλίσης του μετώπου κύματος στο συγκεκριμένο σημείο. Οι κλίσεις αυτές αντιστοιχούν στις αποκλίσεις από το ιδανικό μέτωπο κύματος και απεικονίζονται σε μορφή χρωματικού χάρτη. (εικόνα 13)

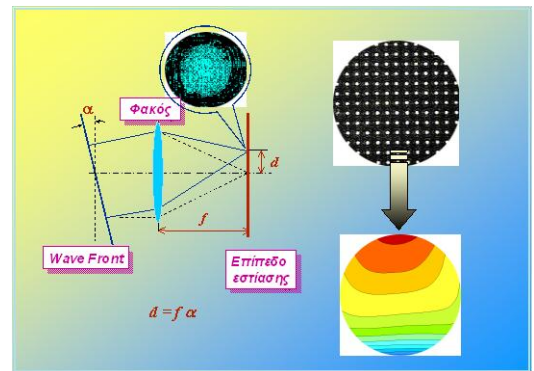


**Εικόνα 13:** Πορεία ακτίνας μέσα στον οφθαλμό και η εστίαση της σε αισθητήρες CCD

Κάθε οπτική διαταραχή κατά την διαδρομή του φωτός μέσα από το μάτι, οδηγεί σε μία εκτροπή του μετώπου κύματος που εξέρχεται. Το εκτρεπόμενο μέτωπο κύματος (κόκκινο) απεικονίζεται στον ανιχνευτή με κάποιες αποκλίσεις από το ιδανικό (κίτρινο). Οι αποκλίσεις απεικονίζονται σε μορφή χρωματικού χάρτη και αντιστοιχούν στις εκτροπές του οφθαλμού όταν αυτές έχουν αναχθεί στο επίπεδο της κόρης του οφθαλμού.

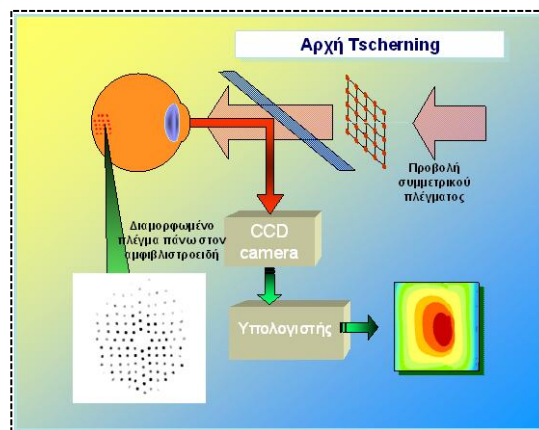


**Εικόνα 14**



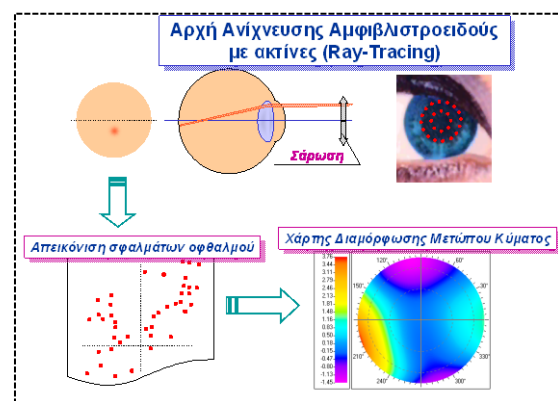
**Εικόνα 15**

2. Μέθοδος Tscherning: για την μέτρηση με την μέθοδο αυτή, το φως με την μορφή τετραγώνου πλέγματος, προβάλλεται κάθετα μέσα από το άνοιγμα της κόρης και εστιάζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή. Το εστιασμένο πλέγμα έχει παραμορφωθεί από τις εκτροπές που υπέστη διερχόμενο από τα μέσα του οφθαλμού, λόγω των ανωμαλιών που συνάντησε στην πορεία του. Στον αμφιβληστροειδή προβάλλεται μία εικόνα δυο διαστάσεων η οποία έχει τις παραμορφώσεις που υπέστη το αρχικό πλέγμα από το οπτικό σύστημα στο οποίο εισήλθε. Η εικόνα διαβάζεται από μία ψηφιακή CCD κάμερα υψηλής ευαισθησίας και στην συνέχεια υποβάλλεται σε μια σειρά ψηφιακών επεξεργασιών για να αξιολογηθούν οι αποκλίσεις της αρχικής εικόνας του πλέγματος, από αυτήν που διαμορφώθηκε μετά την διαδρομή του από τα μέσα του οφθαλμού. Οι αποκλίσεις αυτές παρουσιάζονται με την μορφή χρωματικών χαρτών όπως φαίνεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: Μέθοδος Tscherring

3. Μέθοδος Ray tracing Refractometry: Μία δέσμη φωτός (διοδικό Laser) σαρώνει τον οφθαλμό με διαδοχικές βολές από διαφορετικά σημεία εισόδου σε χρόνο μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου. Η κάθε δέσμη συναντά τον αμφιβληστροειδή σε κάποιο σημείο δημιουργώντας μια δευτερογενή πηγή σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία επιστρέφει και η κατεύθυνση διάδοσης του επιστρέφοντος μετώπου κύματος εξαρτάται από την θέση της δευτερογενούς πηγής. Η απόκλιση της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας από την αρχική απεικονίζεται σε ένα ανιχνευτή θέσης, με χρήση συστήματος φακών. Στη συνέχεια το σήμα από τον ανιχνευτή θέσης



Εικόνα 17: Μέθοδος Ray-Tracing

μεταφράζεται σε ψηφιακή πληροφορία και οι αποκλίσεις από όλες τις δέσμες σχηματίζουν τον χρωματικό χάρτη του μετώπου κύματος. (εικόνα 17)

Το εκτροπόμετρο Tracing , που στηρίζεται στην τεχνική Ray tracing κατασκευάστηκε από το Ινστιτούτο Βιοτεχνολογίας του Κιέβου σε συνεργασία με το BEMMO. (Στο BEMMO έγιναν οι πρώτες κλινικές μελέτες για το Διαθλασίμετρο Χωροταξικής Ανάλυσης Tracey.)

### 1.3.4 Μετρικές για την παρουσίαση και αξιολόγηση των εκτροπών

Ο πιο γνωστός τρόπος έκφρασης και ποσοτικοποίησης των αποκλίσεων (οπτικών σφαλμάτων ) για ένα οπτικό σύστημα είναι χρησιμοποιώντας τα πολυώνυμα Zernike. Τα πολυώνυμα αυτά είναι ορθογώνια, τα οποία αποτελούνται από τρία στοιχεία: τον παράγοντα κανονικοποίησης, ένα ακτινικά εξαρτώμενο πολυώνυμο και ένα γωνιακά εξαρτώμενο ημίτονο. Αποτελούν βάση του χώρου των συνεχών συναρτήσεων που είναι ορισμένες μέσα στον μοναδιαίο κύκλο. Τα πολυώνυμα αυτά μπορούν να εκφράσουν εκτροπές χαμηλής τάξης , όπως σφαίρωμα και αστιγματισμό καθώς και υψηλής τάξης, όπως κόμμα και σφαιρικές εκτροπές. Τα διαθλαστικά σφάλματα του οφθαλμού που διορθώνονται με σφαιροκυλινδρικούς φακούς ορίζονται σαν εκτροπές χαμηλής ( $1^{ηs}$  και  $2^{ηs}$ ) τάξης, ενώ τα πιο σύνθετα οπτικά σφάλματα αναφέρονται ως εκτροπές υψηλότερης τάξης ( $3^{ηs}$ ,  $4^{ηs}$ ,  $5^{ηs}$  κλπ)

Για την αξιολόγηση των σφαλμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε η απευθείας τιμή του συντελεστή του πολυωνύμου Zernike που αντιστοιχεί στο μέγεθος του σφάλματος ή η τιμή του RMS (Root Mean Square).

Το RMS (Root Mean Square) είναι μία παράμετρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει το μέγεθος ενός οπτικού σφάλματος και αναφέρεται στην απόκλιση ενός οπτικού συστήματος από το ιδανικό. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του RMS για ένα οπτικό σύστημα, τόσο περισσότερα είναι τα οπτικά σφάλματα του συστήματος αυτού.

Η μαθηματική έκφραση, ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση των οπτικών εκτροπών γίνεται εκτός από τα πολυώνυμα Zernike και την τιμή του RMS, που είναι και τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα, και με άλλες μετρικές αξιολόγησης, όπως η συνάρτηση Διασποράς σημείου PSF (Point Spread Function).

### 1.3.5. Μαθηματικές εκφράσεις για τα διάφορα μετρικά συστήματα:

#### Πολυώνυμα Zernike

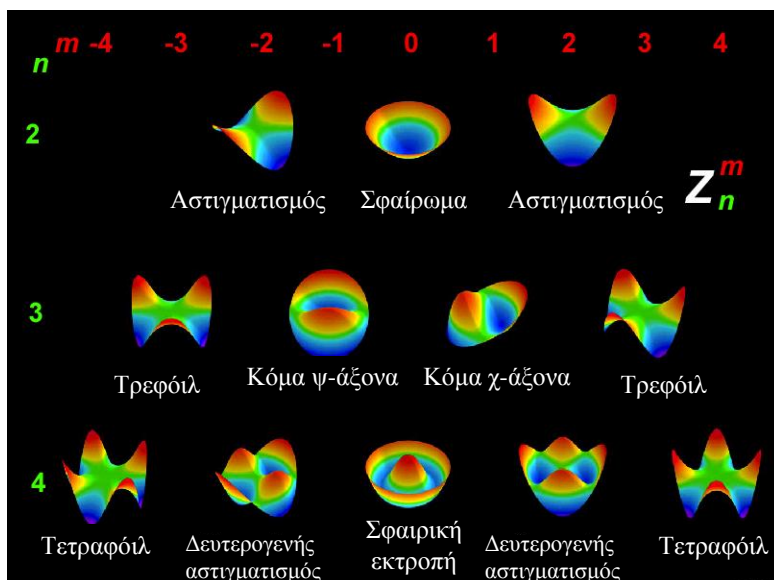
Τα πολυώνυμα αυτά πήραν το όνομά τους από τον Frederik Zernike. Το μέτωπο κύματος  $W(\rho, \theta)$ , μπορεί να περιγραφεί σαν επαλληλία των πολυωνύμων Zernike ως εξής:

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n,m} C_n^m Z_n^m(\rho, \theta)$$

Όπου  $C_n^m$  ο συντελεστής που προκύπτει από το ανάπτυγμα για το πολυώνυμο Zernike  $Z_n^m$ .

Όσο περισσότεροι όροι των πολυωνύμων προστίθενται στο παραπάνω άθροισμα, η ακρίβεια με την οποία προσεγγίζεται το μέτωπο κύματος αυξάνεται. Για χρήση στην οφθαλμολογία και δεδομένης της περιορισμένης ακρίβειας των αναλυτών μετώπου κύματος για μέτρηση οφθαλμικών εκτροπών, χρησιμοποιούνται συνήθως όροι έως και 4<sup>ης</sup> ή 6<sup>ης</sup> τάξης.

Οι τιμές των συντελεστών των πολυωνύμων συνδέονται κατά προσέγγιση και με τις συνήθειες εκτροπές. Για παράδειγμα, στο σχήμα, στο κέντρο φαίνεται το πολυώνυμο  $Z_2^0$  που περιγράφει το σφαιρώμα (μυωπία ή υπερμετρωπία) και είναι εκτροπή 2<sup>ης</sup> τάξης.



Εικόνα 18: Αναπαραγωγή πολυωνύμων Zernike 2<sup>ης</sup> 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> τάξης



Στο σχήμα, επίσης, φαίνεται η γραφική αναπαράσταση των πολυωνύμων Zernike έως και 4<sup>ης</sup> τάξης που φαίνεται η διάταξη με βάση τους δείκτες n,m ( $Z_n^m$ ). Με n σημειώνεται η τάξη της εκτροπής (ο ακτινικός όρος) ενώ με m ο γωνιακός.

### RMS ( root mean squared)

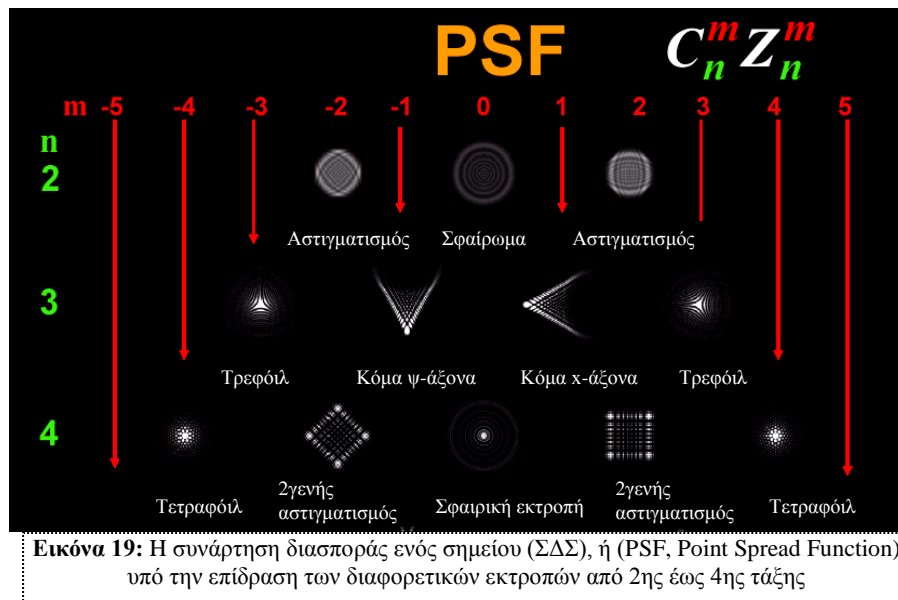
Η τιμή του RMS υπολογίζεται από τον έξης τύπο:

$$RMS = \sqrt{\sum_{n,m} C_n^{m2}}$$

Όπου  $C_n^m$  οι συντελεστές από τα πολυώνυμα Zernike

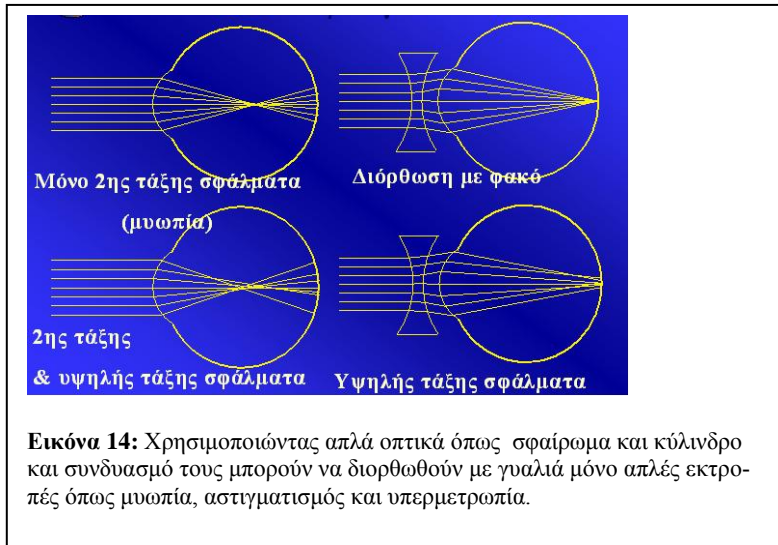
Εκτός από το RMS, μία άλλη μετρική που χρησιμοποιείται για την έκφραση των εκτροπών είναι η συνάρτηση διασποράς σημείου PSF ( Point spread function).

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η συνάρτηση διασποράς ενός σημείου υπό την επίδραση των διαφορετικών εκτροπών 2<sup>ης</sup> έως 4<sup>ης</sup> τάξης .

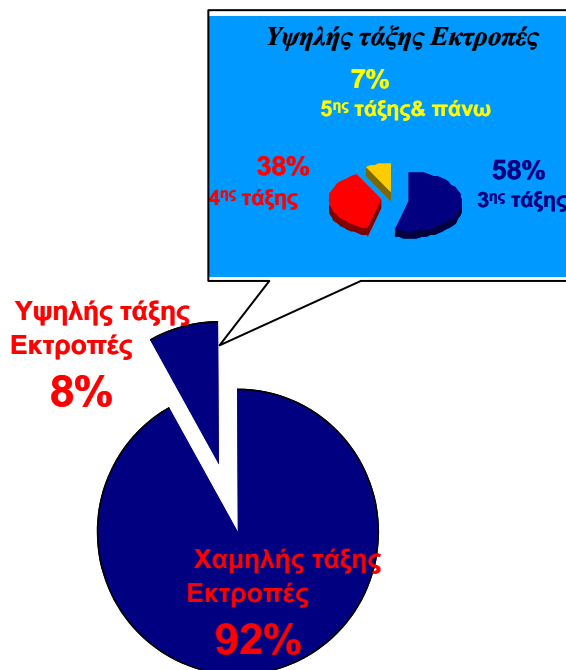


Εικόνα 19: Η συνάρτηση διασποράς ενός σημείου (ΣΔΣ), ή (PSF, Point Spread Function) υπό την επίδραση των διαφορετικών εκτροπών από 2ης έως 4ης τάξης

### 1.3.6 Η Ανάλυση Μετώπου Κύματος στην κλινική Εφαρμογή



Η διόρθωση του σφαιρώματος και του κυλίνδρου είναι αποτελεσματική για τις ακτίνες που είναι κοντά στον κεντρικό άξονα ενός οπτικού συστήματος, ενώ για έναν οφθαλμό για τις ακτίνες που βρίσκονται κοντά στο κέντρο της κόρης. Σε ένα οπτικό σύστημα με μεγάλο διάφραγμα, και αντίστοιχα σε ένα οφθαλμό με μεγάλη κόρη η συμπεριφορά των φωτεινών ακτίνων στην περιφέ-



Εικόνα 21: ποσοστά εκτροπών που υπάρχουν στους οφθαλμικούς φακούς και τον ανθρώπινο οφθαλμό.

ρεια θα είναι διαφορετική, όπως φαίνεται στην εικόνα 20. Εκεί παρατηρούμε την επίδραση των υψηλής τάξεως εκτροπών που κάνουν την εικόνα «θολή» ακόμα και μετά την διόρθωση τους με φακούς, για εκτροπές χαμηλής τάξεως. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στον γενικό πληθυσμό και για μέγεθος κόρης 6 mm, η συμμετοχή στην ποιότητα της όρασης των συνολικών εκτροπών ( εκτροπές χαμηλής και υψηλής τάξεως ), κατανέμεται ως εξής: οι εκτροπές χαμηλής τάξης (σφαιρώμα και κύλινδρος), συμμετέχουν κατά 92% ενώ από τις εκτροπές της υψηλής τάξης, η τρίτης τάξης (κόμη) κατά 58%, η τέταρτης (σφαιρικές) κατά 38% και η πέμπτης κατά 7% .

Η ποιότητα της εικόνας στον αμφιβλιστροειδή εξαρτάται από τρεις παράγοντες: τις οπτικές εκτροπές του οφθαλμού, το μέγεθος της κόρης (φαινόμενο περίθλασης), και την σταθερότητα της προσαρμοστικής ικανότητας του φακού (Charman, 1983, Lopez-Gill et al. 1998). Στο σχήμα παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των παραπάνω παραγόντων που περιορίζουν την οπτική οξύτητα (διακριτική ικανότητα του οφθαλμού).

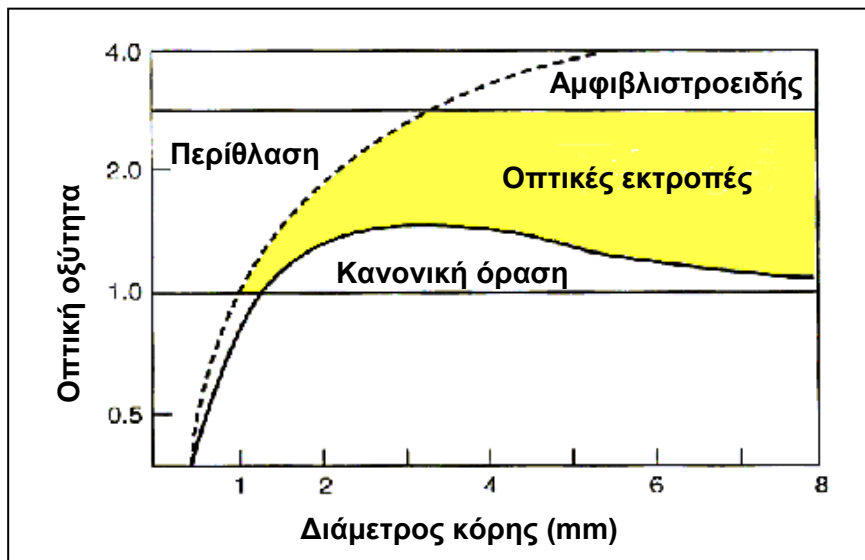
Η αύξηση της διαμέτρου της κόρης έχει σαν αποτέλεσμα:

α. Την αύξηση της οπτικής οξύτητας λόγω του φαινομένου της περίθλασης,

β. Την μείωση της οπτικής οξύτητας λόγω της αύξησης των μονοχρωματικών εκτροπών.

Ιδανική διάμετρος κόρης είναι περίπου 2.5mm (σχήμα κάτω).

Οι πιθανές επιδράσεις, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν διαφορετικές ακτίνες οι οποίες συγκλίνουν (εστιάζουν) σε διαφορετικά σημεία ονομάζονται σφάλματα ή εκτροπές. Αλλαγές σε οποιοδήποτε από τα μέσα που συμμετέχουν και συμβάλουν στην διαμόρφωση της εικόνας, όπως στον κερατοειδή, στον φακό ή στον αμφιβλιστροειδή, δημιουργούν εκτροπές και επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας που εστιάζεται στον αμφιβλιστροειδή χιτώνα.



Εικόνα 22: Διάγραμμα όπου φαίνεται η διαφορά της οπτικής οξύτητας όσο αλλάζει το μέγεθος της κόρης

Τιμή οπτικής οξύτητας (καμπύλη με συνεχόμενη γραμμή) σε σχέση με το μέγεθος της κόρης.

Η οπτική οξύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος της κόρης λόγω των εισαγόμενων οπτικών εκτροπών (ocular aberrations). Λόγω του φαινομένου της περίθλασης (diffraction) η οπτική οξύτητα επίσης μειώνεται σε μέγεθος κόρης μικρότερο από 2.5 χιλ. (διακεκομμένη γραμμή).

Κάθε πολυώνυμο αποτελείται από τρία στοιχεία. Για την κατηγοριοποίηση των πολυωνύμων Zernike χρησιμοποιείται ένα σύστημα συντεταγμένων  $n$ ,  $m$ . Το  $n$  εκφράζει την τάξη του ακτινικού μέρους, ενώ το  $m$  την συχνότητα του γωνιακού. Χωρίζονται σε μονά και ζυγά και οι σχέσεις που τα περιγράφουν είναι:

$$Z_n^m(\rho, \theta) = N_n^m R_n^{|m|}(\rho) \cos(m\theta) \quad (1) \text{ για } m \geq 0, \quad 0 \leq \rho \leq 1, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \text{ και}$$

$$Z_n^m(\rho, \theta) = -N_n^m R_n^{|m|}(\rho) \sin(m\theta) \quad (2) \text{ για } m < 0, \quad 0 \leq \rho \leq 1, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

Για κάθε  $n$  το  $m$  μπορεί να πάρει συγκεκριμένες τιμές οι οποίες είναι:  $-n, -n+2, -n+4, \dots, n$ .

Το  $N_n^m$  είναι ο παράγοντας κανονικοποίησης και ισούται με:

$$N_n^m = \sqrt{\frac{2(n+1)}{1+\delta_{m0}}} \quad (3) \text{ με } \delta_{m0} = 1 \text{ για } m = 0 \text{ και } \delta_{m0} = 0 \text{ για } m \neq 0.$$

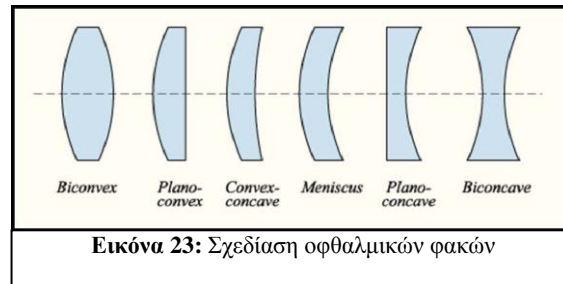
Ο πίνακας περιέχει μέχρι και 4ης τάξης πολυώνυμα Zernike.

Υπάρχουν, βέβαια, περιπτώσεις κατά τις οποίες χρειάζεται να εκφραστούν τα πολυώνυμα Zernike σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Μία τέτοια περίπτωση είναι οι μετρήσεις με χρήση ενός Shack-Hartmann αισθητήρα μετώπου κύματος. Στη περίπτωση αυτή η πληροφορία από τον αισθητήρα αναπαριστά τις μερικές παραγώγους των εκτροπών του μετώπου κύματος σαν συνάρτηση των  $x, y$ .

## ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 2.0 ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οι οφθαλμικοί φακοί μαζί με τους φακούς επαφής αποτελούν τις συνηθέστερες μεθόδους διόρθωσης των διαθλαστικών σφαλμάτων-αμετρωπιών του οφθαλμού. Ο σχεδιασμός των εμπορικά διαθέσιμων οφθαλμικών φακών διαφέρει ανάλογα με την επιθυμητή διόρθωση. (εικόνα 23)



Με την χρήση των οφθαλμικών φακών διορθώνονται οι αμετρωπίες του οφθαλμού, μετατρέποντας τον μυωπικό, υπερμετρωπικό, ή αστιγματικό οφθαλμό σε εμμετρωπικό. Με τους φακούς εξαλείφονται όσο τον δυνατόν καλύτερα τα σφαιροκυλινδρικά και άρα σφάλματα χαμηλής τάξης του οφθαλμού.

#### 2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ:

Οι οφθαλμικοί φακοί κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες:

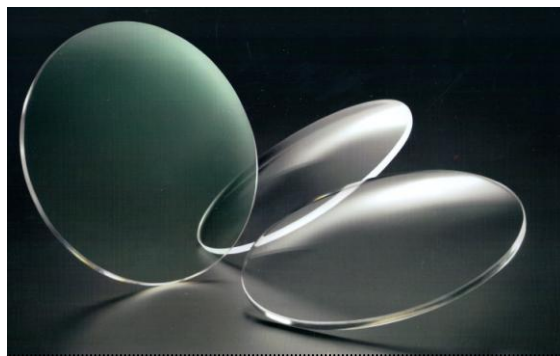
- Ανάλογα με τις εστίες που έχουν κατατάσσονται σε
  - Μονοεστιακούς φακούς
  - Διπλοεστιακούς φακούς
  - Τριπλοεστιακούς φακούς
  - Πολυεστιακούς φακούς
- Ανάλογα με τον σχεδιασμό κατασκευής τους διακρίνεται σε
  - Σφαιρικός σχεδιασμός
  - Ασφαιρικός σχεδιασμός
  - Ατορικός σχεδιασμός
  - Κυλινδρικός σχεδιασμός
  - Σφαιροκυλινδρικός σχεδιασμός
  - Αχρωματικός σχεδιασμός
- Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους
  - Οργανικοί ή πλαστικοί φακοί
  - Κρύσταλλο

- Polycarbonate
- Trivex

## 2.1.1 Ανάλογα με τις εστίες:

### 2.1.1.1 Μονοεστιακοί οφθαλμικοί φακοί

Μονοεστιακοί ονομάζονται οι φακοί που έχουν μία εστία και την ίδια δι-οπτρική ισχύ σε όλη τους την επιφάνεια. (εικόνα 24) Διορθώνουν μια αμετρω-πία είτε για μακριά είτε για κοντά. Έτσι όταν το φως εισέρχεται από έναν μονο-εστιακό φακό οι ακτίνες του κάμπτονται και υπάρχει η εστίαση τους σε ένα και μόνο σημείο του αμφιβληστροειδή του οφθαλμού. Τέτοιοι φακοί είναι οι σφαι-ρικοί, οι ασφαιρικοί, οι κυλινδρικοί και οι τορικοί (σφαιροκυλινδρικοί) φακοί.

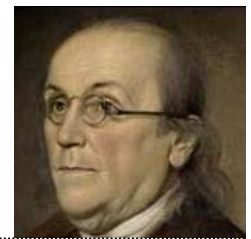


Εικόνα 24: Μονοεστιακοί φακοί (κατάλογος Rodestock)

### 2.1.1.2 Διπλεστιακοί οφθαλμικοί φακοί

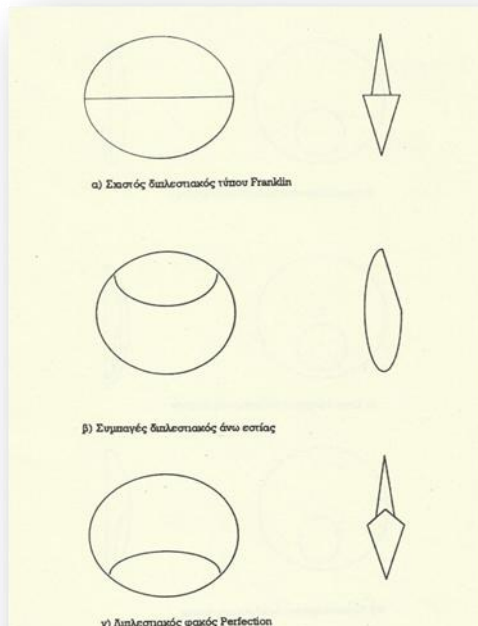
*Ιστορικά:*

- Ο Benjamin Franklin το 1785 ήταν αυτός που εφεύρε τους δι-πλεστιακούς φακούς (εικόνα 25). Έχοντας δύο φακούς, τον ένα για μακριά και τον άλλο για κοντά, αφού τους έκοψε τους ξανά ένωσε μεταξύ τους. Έτσι, ο φακός ήταν πλέον ένας για να κοιτάει μακριά και κοντά. Ο μισός φακός που ήταν για μα-κριά τοποθετήθηκε στο άνω μέρος του φακού και ο άλλος μισός που ήταν για κοντά τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος του φακού.
- Το 1838, ο Schnaitmann εφεύρε τα πρώτα “συμπαγή άνω εστίας” διπλε-στιακά. Η καμπυλότητα στο άνω μέρος της πίσω επιφάνειας των φακών δεν ήταν τόσο κυρτή όσο στο κατώτερο μέρος.

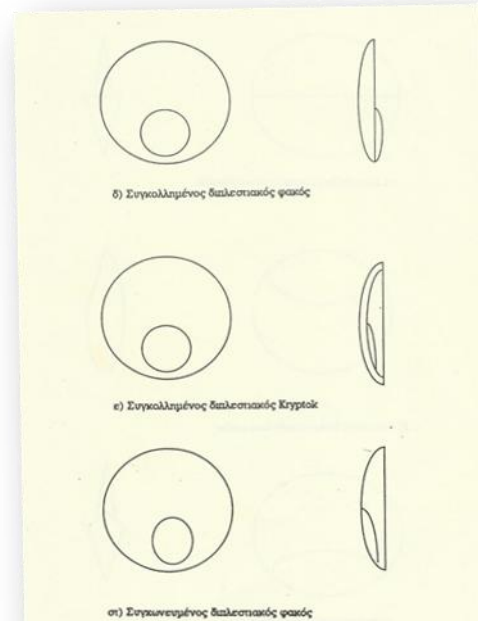


Εικόνα25: Benjamin Franklin( εικόνα Google)

- Το 1888, ο Morek εφεύρε τα “συγκολλημένα” διπλεστικά. Πάνω σε ένα φακό για μακρινή όραση κόλλησε ένα μικρό θετικό φακό.



**Εικόνα 26:** Τα πρώτα συγκολλημένα και χωνευτά διπλεστικά (Χανδρινός, Διπλοεστιακοί και πολυεστιακοί φακοί)



**Εικόνα 27:** Οι πρώτες κατασκευές διπλεστικών (Χανδρινός, Διπλεστικοί και πολυεστιακοί φακοί)

- Ο Borsch την επόμενη χρονιά σχεδίασε το “συγκολλημένο kryptok” (εικόνα 26), όπου ο δείκτης διάθλασης στην κοντινή εστία ήταν διαφορετικός από αυτόν της μακρινής.
- Το 1908 ο Borsch Junior, κατασκεύασε το “fused” διπλεστικό.
- Το 1910 ο Comer το τελειοποίησε με τη νέα ονομασία “Ultex”..

Στην ηλικία των 40 ετών η δυνατότητα προσαρμογής του ματιού μειώνεται και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να εστιάσει στα κοντινά αντικείμενα (πρεσβυωπία). Οι φακοί μονής όρασης δεν μπορούν σε αυτές τις περιπτώσεις να εξασφαλίσουν καλή όραση από μακρινές σε κοντινές αποστάσεις. Οι διπλοεστιακοί φακοί εξασφαλίζουν στους πρεσβύωπες καθαρή όραση για μακριά αλλά και για κοντά (35-40 cm). Διπλεστικοί ονομάζονται οι φακοί που δημιουργούν δύο διαφορετικές εστίες, από δύο διαφορετικά μέρη της επιφάνειας τους ανάλογα με την αναγκαία απόσταση όρασης. Ένα μέρος του οφθαλμικού φακού έχει διαφορετική ισχύ από τον υπόλοιπο φακό διαθλώντας διαφορετικά τις ακτίνες και σχηματίζοντας διαφορετική εστία. Η μακρινή εστία βρίσκεται στο πάνω σημείο του φακού και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του φακού και ονομάζεται “κύριος φακός”, ενώ η περιοχή για την κοντινή όραση βρίσκεται στο κάτω μέρος του φακού σαν “παραθυράκι” και καταλαμβάνει μικρότερη περιοχή όπου καλείται “εστία”. Με τους φακούς αυτούς ο χρήστης μπορεί να δει



καθάρια μακριά και κοντά, ανάλογα από το σημείο του φακού που περνάει το βλέμμα του, χρησιμοποιώντας ένα ζευγάρι γυαλιά και για τις δύο αποστάσεις. Παρότι οι συγκεκριμένοι φακοί έχουν εύκολη προσαρμογή, υπάρχει απότομη μετάβαση από την περιοχή της μακρινής στην κοντινή όραση, λόγω της διαχωριστικής γραμμής των δύο εστιών. Σε αυτούς τους φακούς δεν υπάρχει διόρθωση για τη μεσαία απόσταση, ενώ εμφανισιακά υστερούν καθώς το “παραθυράκι” της κοντινής όρασης είναι εμφανές, δίνοντας μια παλιομοδίτικη αίσθηση. Η θετική σφαιρική δύναμη που προσθέτουμε στην διόρθωση της μακρινής όρασης για να μας δώσει την διόρθωση για την κοντινή όραση, ονομάζεται “Addition”. Όταν στη συνταγή έχουμε κύλινδρο αυτός τοποθετείται σύμφωνα με τον άξονα που έχει οριστεί και σπάνια αλλάζει μοίρες από την μακρινή εστία προς την κοντινή. Το Addition παίρνει τιμές από + 0,75 DS έως + 3,50 DS.

### **Ενδείξεις για χορήγηση διπλεστικάκων γυαλιών**

Η χρήση των φακών αυτών δεν είναι μόνο σε ανθρώπους που εμφανίζουν πρεσβυωπία αλλά και σε περίπτωση όπου υπάρχει κάποια πάθηση του νευρικού συστήματος για την κοντινή όραση, που συνοδεύεται με προσωρινή ή μόνιμη παράλυση της προσαρμογής η οποία μπορεί να ξεκινήσει από μικρή ηλικία και χρειάζεται βοήθεια με την χορήγηση αυτών των γυαλιών. Ενώ σε περίπτωση διαταραχής ισορροπίας των μυών που κινούν το μάτι, η χρήση τους κρίνεται απαραίτητη.

Για να είναι πιο εύκολη η προσαρμογή του διοπτροφόρου στα διπλεστικά γυαλιά, σημαντικό ρόλο έχουν κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά τα οποία θα πρέπει να του παρέχονται. Μερικά από αυτά είναι: το βάρος τους (ένα βαρύστο σύνολο- γυαλί έχει ως αποτέλεσμα να ταλαιπωρεί και να κουράζει το χρήστη), το οπτικό τους πεδίο( να είναι μεγάλο για πιο σωστή και άνετη όραση), η έλλειψη σφαλμάτων- τόσο στην κοντινή όσο και στη μακρινή ζώνη, η ακρίβεια στην τοποθέτηση των οπτικών τους κέντρων και η σωστή κλίση του σκελετού, ώστε να μην αλλάζουν τα κέντρα και οι εστίες του φακού και τέλος η αποφυγή της παρουσίας του πλάγιου αστιγματισμού και η εξάλειψη της οπτικής “αναπήδησης”.

Στοιχεία που διακρίνουμε ως προς τη θέση της κοντινής εστίας (SEG):

Η θέση και το σχήμα της κοντινής ζώνης ενός διπλεστικού καθορίζεται από:

- **Ύψος**
- **Διάμετρος** της κοντινής εστίας

- Βάθος κοντινής εστίας
- Πτώση εστίας
- Θέση της κορυφής κοντινής εστίας
- Γεωμετρική εσοχή της κοντινής εστίας
- Οπτική εσοχή

Οι τύποι διπλεστικῶν φακῶν:

#### **Κατασκευαστικοί:**

1. Cemented (συγκολλημένα)
2. Solid (συμπαγή)
3. Fused (χωνευτά)
4. Split (σχιστά)
5. Prism-seg (πρισματικά)

#### **Σχήματος εστίας:**

1. Kryptok
2. Executive
3. Tillyer
4. Flat-top
5. Up-curve

Πιο συγκεκριμένα οι πιο σημαντικοί τύποι διπλεστικῶν αναλυτικά:

#### **Κατασκευαστικοί:**

1. Τα cemented, τα οποία είναι συγκολλημένα διπλεστικά απλής κατασκευής. Δύο φακοί οι οποίοι δεν έχουν κοπεί, ο ένας φακός έχει δύναμη για μακριά και ο άλλος φακός έχει δύναμη για κοντά, θα συγκολληθούν ο ένας πίσω από τον άλλο με ειδική κολλώδη ουσία.
2. Τα συμπαγή (τύπου solid) κατασκευάζονται από έναν φακό. Δεν είναι εύκολο να βελτιωθεί η οπτική αναπήδηση ενώ εμφανισιακά είναι τέλεια. Κατασκευάζονται σε μεγάλες διαμέτρους καθώς η διάμετρος και το οπτικό κέντρο του SEG διαμορφώνονται βάσει συνταγής.
3. Τα χωνευτά διπλεστικά (τύπου fused), κατασκευάζονται από μία πλάκα οπτικού γυαλιού με δείκτη διάθλασης 1.523 και από ένα μικρό φακό, με δείκτη διάθλασης 1.65-1.71. Ο πιο μικρός φακός για την κοντινή όραση θα τοποθετηθεί πάνω στην πλάκα και έπειτα μέσα στο μεγάλο φακό. Οι φακοί μετά από την ταυτόχρονη θέρμανση δεν αποχωρίζονται εύκολα ο ένας φακός από τον άλλο. Όσον αφορά την οπτική αναπήδηση της εικόνας είναι μικρή. Η διαχωριστική

γραμμή δεν υπάρχει στην συγκεκριμένη κατασκευή (στα FUSED) και έτσι εμφανισιακά είναι πολύ καλύτερα. Χάρη στις αντιανακλαστικές επιστρώσεις και στους βελτιωμένους τύπους γυαλιού που χρησιμοποιούνται, δεν υπάρχει πλέον το πρόβλημα της χρωματικής ανάλυσης που δημιουργούνται με την ένωση των δύο φακών.

### **Σχήμα εστίας:**

1. Τα “ KRYPTOK” έχουν χαρακτηριστικό σχήμα εστίας, με κυκλικό τμήματος εμφάνιση, και κατασκευάζονται με πολλούς τρόπους ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους. Τα “ KRYPTOK “ είναι “ περιστρεπτά “ όταν η κατασκευή τους είναι σφαιρική.
2. Στα “ executive “ δεν δημιουργείται οπτική αναπήδηση και γίνεται χρήση όλων των τύπων γυαλιού και πλαστικού, όσον αφορά την κατασκευή τους. Πιο συχνή κατασκευή τους είναι σε solid ή cemented.
3. Η κατασκευή στα “ tillyer “ είναι συνήθως solid ή seamless. Τα οπτικά τους είναι πολύ καλά και η οπτική αναπήδηση ελέγχεται.
4. Στα “ flat – top “ επειδή υπάρχει περιορισμός στα υλικά κατασκευής είναι πιο εύκολη η παραγωγή σε πλαστικό. Η οπτική αναπήδηση που προκαλούν είναι ελεγχόμενη και μπορεί να εξισορροπηθεί.. Τα “ flat – top “ είναι κατάλληλα για παιδιά και μπορεί να ενσωματωθεί πρίσμα στην κοντινή ζώνη.
5. Τα “ upcurve “ κατασκευάζονται απλά. Προτείνονται για κάποια συγκεκριμένα επαγγέλματα, όπου για να κοιτάξουν κοντά οι χρήστες των διπλεστικών αυτών πρέπει η όραση να είναι από τα πάνω τμήματα του φακού.

### **Διάκριση ως προς το υλικό κατασκευής των διπλεστικών φακών**

- Διπλεστικά από γυαλί
  - Πρώτα ήταν το κλασσικό crown
  - Μετά τα γυαλιά barita
  - Έπειτα τα flint Μολύβδου
  - Πρόσφατα τα flint Σπάνιων Γαιών και τα φωτοχρωμικά γυαλιά

Μπορούν να δεχτούν σχεδόν όλες τις επιφανειακές επεξεργασίες.

- Πλαστικά διπλεστικά

Τα πλαστικά μπορούν να ανταποκριθούν σε κάθε συνταγή. Η πρώτη τους εμφάνιση έγινε στην Αγγλία όπου έγινε χρήση πλαστικού υλικού για τους οφθαλ-

μικούς φακούς. Έπειτα εφευρέθηκε το CR-39 στην Αμερική με πολλές δυνατότητες. Το CR-39 έχει δείκτη διάθλασης 1,453.

Φορώντας κάποιος διπλεστικούς φακούς είναι αναγκαίο να κάθεται κοντά στην οθόνη του υπολογιστή και να δώσει κλίση στο κεφάλι του προς τα πίσω ώστε να μπορεί να δει από το κάτω μέρος του φακού του, από την κοντινή εστία. Αυτή η αφύσικη στάση του σώματος μπορεί να οδηγήσει σε ένταση των μυών, πόνο στον αυχένα αλλά και συμπτώματα του συνδρόμου Computer Vision Syndrome. Η εμφάνιση του συνδρόμου αυτή ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα μετά από παρατεταμένη χρήση του υπολογιστή, κάτι που πρέπει να περιοριστεί.

### 2.1.1.3 Τριπλεστικά

Παρόμοια με τους διπλεστικούς φακούς με τη διαφορά ότι παρέχουν και μια ενδιάμεση ζώνη που ικανοποιεί σχετικά τη διόρθωση της μεσαίας όρασης. Ο κύριος λόγος χρήσης των τριπλεστικών είναι η ανάγκη για όραση σε μεσαίες αποστάσεις. Όμως πλέον δεν χρησιμοποιούνται αφού υπάρχουν τα πολυεστικά γυαλιά.

Το 1826 στο Λονδίνο ο John Hawkins (εικόνα 28) κατασκεύασε τα πρώτα τριπλεστικά γυαλιά. Οι τριπλεστικοί φακοί έχουν τη διόρθωση για μακριά στην άνω ζώνη, τη διόρθωση για κοντά στην κάτω ζώνη και τη διόρθωση για μεσαίες αποστάσεις όπου είναι ανάμεσα στην άνω και στην κάτω ζώνη.



Εικόνα 28: John Hawkins (www.bbc.co.uk)

Παρόλο που τα τριπλεστικά έχουν τη διόρθωση για μεσαίες αποστάσεις συνεχίζουν να εμφανίζουν τα ίδια προβλήματα με τα διπλεστικά. Η διαχωριστική γραμμή που υπάρχει, η οποία είναι αντιαισθητική, με τα τριπλεστικά υπάρχουν δύο διαχωριστικές γραμμές και έτσι η αναπήδηση της εικόνας γίνεται δύο φορές. Επίσης τα τριπλεστικά δε συνιστώνται για τη διόρθωση της ανισομετροπίας και για πρίσματα όσον αφορά την κοντινή εργασία. Σε σχέση βέβαια με τα διπλεστικά εμφανίζουν περισσότερα πλεονεκτήματα κυρίως με την όραση στις μεσαίες αποστάσεις.

### Βασικοί τύποι τριπλεστικών

1. Χωνευτά τριπλεστικά
2. Ταινιωτά τριπλεστικά

#### 2.1.1.4 Πολυεστιακοί φακοί

Οι πολυεστιακοί φακοί εμφανίστηκαν γύρω στο 1900. Το 1907 ο Aves έκανε χρήση μίας κυρτής αστιγματικής επιφάνειας για την μπροστινή επιφάνεια και μίας κωνικής για την οπίσθια. Το 1914 ο Gowlland και το 1924 ο Bugbee έκαναν προσπάθειες, όπως και πολλοί άλλοι, για να μπορέσουν να ολοκληρώσουν από εκεί που σταμάτησε ο



Εικόνα 29: Bernard Maitenaz  
(εικόνες Google)

Aves, αλλά το 1959 η Essel Optics γνώρισε εμπορική επιτυχία. Το 1972 ο φακός " Varilux " από τον Maitenaz (εικόνα 29) γνώρισε επίσης επιτυχία. Η αρχική εφεύρεση του Maitenaz, το Varilux, παρουσιάστηκε στην αγορά από την Essilor πριν από μισό αιώνα περίπου. Σήμερα η Essilor ισχυρίζεται ότι πάνω από 300 εκατομμύρια φακοί από τη δυναστεία των Varilux έχουν πωληθεί παγκοσμίως, ενώ οι πολυεστιακοί φακοί γενικά έχουν αναπτυχθεί και διαφοροποιηθεί σε περισσότερα από 100 είδη.

Σχεδιασμένοι με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει προοδευτική μεταβολή της ισχύος του φακού από σημείο σε σημείο, ικανοποιούν τη διόρθωση σε όλες τις αποστάσεις. Επίσης, η απουσία διαχωριστικών γραμμών εξασφαλίζει άριστο αισθητικό αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση που κάποιος 40αρης χρησιμοποιεί γυαλιά οράσεως για την διόρθωση άλλου διαθλαστικού σφάλματος (μυωπία, υπερμετροπία, αστιγματισμός), τότε είναι απαραίτητη η χρήση φακών ειδικού σχεδιασμού, που θα προσφέρουν ταυτόχρονα ευκρινή όραση σε όλες τις αποστάσεις. Αυτοί οι φακοί είναι γνωστοί ως πολυεστιακοί φακοί, ή βαθμωτής διαθλαστικής ισχύος (progressive lenses). Η εμφάνιση τους έγινε πριν από περίπου 40 χρόνια. Στην πορεία τους μέχρι τώρα έχουν δεχθεί πολλές βελτιώσεις στο σχεδιασμό τους, με αποτέλεσμα σήμερα να μπορούν να σχεδιαστούν φακοί εξατομικευμένοι για τις ανάγκες και τα οφθαλμικά χαρακτηριστικά του κάθε διοπτροφόρου. Μάλιστα, οι πολυεστιακοί φακοί τελευταίας (6<sup>ης</sup>) γενιάς, είναι κατασκευασμένοι με τεχνολογία μετώπου κύματος (wave front technology) με σκοπό την ελάττωση των περιφερικών παραμορφώσεων (που είναι αισθητές σε πολυεστιακούς φακούς παλαιότερης γενιάς) και τη βελτίωση του ωφέλιμου οπτικού πεδίου του χρήστη. Το αποτέλεσμα είναι ο χρήστης να προσαρμόζεται άμεσα κι εύκολα στη χρήση των πολυεστιακών γυαλιών.



Εικόνα 30: Οραση μέσα από έναν πολυεστιακό φακό (εικόνα google)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυεστιακών φα-

κών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι πλέον δεν βλέπουμε καθαρά μόνο σε μια απόσταση των 40-50 εκατοστών, αλλά μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά σε όλες τις αποστάσεις. Οι διάφοροι τύποι πολυεστιακών φακών που υπάρχουν στην αγορά μπορούν να διαφέρουν ως προς την γεωμετρία κατασκευής τους, την καθαρότητα των φακών και το πάχος.

Η βασική ιδέα της λειτουργίας τους είναι σχετικά απλή και ακολουθεί τις φυσικές οφθαλμικές κινήσεις.

Υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής παραμετροποιημένου (individual) πολυεστιακού φακού όπου για την κατασκευή του λαμβάνονται υπόψη αρκετές παράμετροι του πελάτη όπως: τα στοιχεία της συνταγής, η διακορική απόσταση, ο σκελετός, η απόσταση του σκελετού από το πρόσωπο.

Στους πολυεστιακούς φακούς δημιουργούνται πολλές εστίες. Έτσι, η διαθλαστική ισχύ δεν είναι ίδια όταν κοιτάει ο χρήστης μέσα από τον πολυεστιακό φακό από διαφορετικά σημεία.

#### **Πλεονεκτήματα πολυεστιακών φακών:**

- Δεν εμφανίζεται η διαχωριστική γραμμή και έτσι αισθητικά είναι τέλεια
- Δεν υπάρχει πρόβλημα με την ‘ αναπήδηση της εικόνας ‘
- Η όραση είναι πολύ καλή για όλες τις αποστάσεις

Ένα **μειονέκτημα** των πολυεστιακών φακών είναι ότι δημιουργούνται περιφερικές εκτροπές. Οι αστιγματικές εκτροπές που υπάρχουν περιφερικά περιορίζουν ποιοτικά την όραση.

Μεταξύ μακρινής και κοντινής ζώνης σε εκείνη την περιοχή δεν εμφανίζονται εκτροπές. Η περιοχή αυτή ονομάζεται “κανάλι”. Η όραση μέσα από το κανάλι είναι ευκρινής και ο χρήστης θα κοιτάξει από εκείνο το σημείο του καναλιού για να δει το αντικείμενο που τον ενδιαφέρει. Για να δει κάποιο αντικείμενο το οποίο βρίσκεται μακριά τότε θα κοιτάξει από τη μακρινή ζώνη, δηλαδή από το πάνω σημείο του καναλιού, ενώ για να δει κάποιο αντικείμενο το οποίο βρίσκεται κοντά τότε θα κοιτάξει από την κοντινή ζώνη, δηλαδή από το κάτω σημείο του καναλιού και για να δει κάποιο αντικείμενο σε μεσαίες αποστάσεις τότε θα κοιτάξει από τα ενδιάμεσα σημεία του καναλιού.

## ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

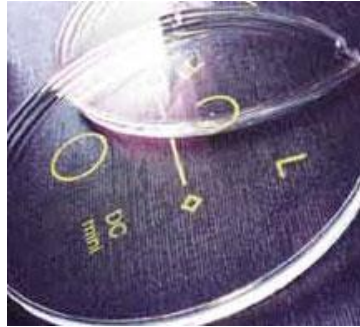
- 1) Η μέτρηση της κορικής απόστασης πρέπει να γίνεται με ακρίβεια για να εφαρμοστούν σωστά οι πολυεστιακοί φακοί. Η κορική απόσταση εξαρτάται από το μέγεθος του σκελετού. Για τη σωστή επικέντρωση των φακών και τη μη περικοπή της κοντινής εστίας θα πρέπει να κατοχυρώνεται το μέγεθος του σκελετού.
- 2) Η μέτρηση του ύψους με ακρίβεια για την τοποθέτηση του πολυεστιακού φακού είναι υποχρεωτική.
- 3) Στα πολυεστιακά γυαλιά ο σκελετός θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στα μάτια γίνεται. Το οπτικό πεδίο είναι μεγαλύτερο για το χρήστη και η διόρθωση είναι ακριβής.
- 4) Η επιλογή του σωστού σκελετού (κατά προτίμηση κοκάλινου) ώστε να εξασφαλιστεί μακροπρόθεσμη διατήρηση των οπτικών κέντρων.
- 5) Αν ο χρήστης του πολυεστιακού έχει ευαισθησία στη μύτη οι οργανικοί φακοί είναι καλύτερη επιλογή και σκελετός από OPTYL ή μέταλλο το οποίο είναι αρκετά λεπτό.

Απαραίτητα στοιχεία για την παραγγελία και τη σωστή εφαρμογή των φακών αυτών στον σκελετό είναι:

- Στοιχεία οφθαλμιατρικής συνταγής
- Το είδος σκελετού (για το πάχος και την ανθεκτικότητα του φακού. Για παράδειγμα δεν συνιστάται να υπάρχει πολύ λεπτός φακός για να τοποθετηθεί είτε σε σκελετό τύπου Nylon είτε τύπου Griff)
- Απόσταση που έχει ο σκελετός από το πρόσωπο του χρήστη (back vertex distance)
- Κλίση που έχει σκελετός ως προς το πρόσωπο του χρήστη (παντοσκοπική γωνία)
- Διακορική απόσταση
- Ύψος εφαρμογής (σκελετού)
- Ύψος απόστασης από την μέση της κόρης του χρήστη
- Διαστάσεις του σκελετού (μέγεθος γέφυρας, μέγεθος φακού)
- Καμπυλότητα/ κλίση που ίσως έχει ο σκελετός

## Έλεγχος των πολυεστιακών φακών

Τα τυπωμένα σημάδια τα αφήνουμε αφού γίνει τοποθέτηση των πολυεστιακών φακών στο σκελετό (εικόνα 31). Κάνουμε δοκιμή των πολυεστιακών



Εικόνα 31: πολυεστιακός φακός με τυπωμένα σημάδια (aslens.net)

φακών στον πελάτη. Ο σταυρός του πολυεστιακού φακού με το κέντρο της κόρης θα πρέπει να συμπίπτουν για να εφαρμόζονται σωστά όταν κοιτάει ο πελάτης μακριά.

Ανοχή στην κορική απόσταση: 0,5mm ανά φακό

Ανοχή στο ύψος: 0,5mm ανά φακό

Αν τυχόν υπάρχουν μικρές αποκλίσεις από τις μετρήσεις που έχουν γίνει μπορούν να διορθωθούν με κάποιο ελάχιστο στρίψιμο του φακού ή αν ο σκελετός έχει επιρρίνια, μπορούμε να αυξήσουμε ή να μειώσουμε το ύψος.

Όταν είναι σίγουρο ότι οι πολυεστιακοί φακοί κατασκευάστηκαν σωστά και πληρούν τις προϋποθέσεις τότε θα πρέπει να πληροφορήσουμε το χρήστη των πολυεστιακών γυαλιών για κάποιες δυσκολίες που θα αντιμετωπίσει στο ξεκίνημα που θα φοράει τα γυαλιά του.

Συνήθως η προσαρμογή κρατάει μέχρι ένα μήνα. Ο οπτικός θα πρέπει να βοηθήσει τον χρήστη πολυεστιακών να εξοικειωθεί, πληροφορώντας τον για τον τρόπο αντιμετώπισης της περιόδου προσαρμογής του.

Επίσης, θα πρέπει να του δείξουμε πώς να χρησιμοποιεί τη μακρινή, τη μέση αλλά και την κοντινή όραση δίνοντας του τον πίνακα ελέγχου της οπτικής οξύτητας για κοντά και καθώς ζαρώνει τη μύτη και κουνάει το πηγούνι πάνω και κάτω να εστιάζει σε αντικείμενα που βρίσκονται σε όλες τις αποστάσεις.





**Εικόνα33:** Διαφορά εμφάνισης ενός διπλοεστιακού και πολυεστιακού φακού (εικόνες google)

## 2.1.2 Ανάλογα με τις σχεδιαστικές αρχές των οφθαλμικών φακών

### 2.1.2.1 Σφαιρικοί φακοί:

Μπορούμε να τους διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, τους θετικούς και τους αρνητικούς.

Κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με την μορφή των επιφανειών τους. Η διαθλαστική δύναμη ενός φακού ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των διαθλαστικών δυνάμεων των επιφανειών του (πρόσθια και οπίσθια).

Η καμπυλότητα των σφαιρικών φακών είναι παντού ίδια, όπως επίσης και η διαθλαστική ισχύς.

Με τους σφαιρικούς φακούς γίνεται διόρθωση της μυωπίας, της υπερμετρωπίας και της πρεσβυωπίας.

Υπάρχουν οι θετικοί σφαιρικοί φακοί οι οποίοι είναι παχύτεροι στο κέντρο και λεπτότεροι στα άκρα και προκαλούν σύγκλιση των ακτίνων. Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Αμφίκυρτους
- Επιπεδόκυρτους
- Μηνίσκους (κοιλόκυρτος θετικός φακός)

Και υπάρχουν και οι αρνητικοί σφαιρικοί φακοί, οι οποίοι είναι λεπτότεροι στο κέντρο και παχύτεροι στα άκρα, οι οποίοι προκαλούν απόκλιση των ακτινών. Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Αμφικόιλους
- Επιπεδόκοιλους
- Μηνίσκους (κοιλόκυρτος αρνητικός φακός)

### 2.1.2.2 Ασφαιρικοί φακοί:

Οι φακοί αυτοί δημιουργήθηκαν με σκοπό να μειωθούν οι πλάγιες εκτροπές που υπάρχουν στην περιφέρεια των σφαιρικών φακών. Η ασφαιρικότητα του φακού συναντάται κυρίως στην πρόσθια επιφάνειά του, ενώ δεν είναι λίγες οι σχεδιαστικές αρχές όπου υπάρχει ασφαιρικότητα και στις δύο επιφάνειες (και πρόσθια και οπίσθια). Οι φακοί αποπλατύνονται προς την περιφέρεια, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η γωνία που προσπίπτουν οι περιφερειακές ακτίνες πάνω στον φακό, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκτροπών. Ασφαιρική κατασκευή μπορεί να σχεδιαστεί και σε αστιγματικούς φακούς.

Ένας ασφαιρικός σχεδιασμός μπορεί να μην έχει τα ίδια αποτελέσματα σε όλους τους οφθαλμούς. Επιπροσθέτως, η αλλαγή του σχήματος της πρόσθιας επιφάνειας του φακού, έχει ως σκοπό να πλησιάσει η περιφερειακή οπτική οξύτητα με την κεντρική οπτική οξύτητα που θα έχει ο διοπτροφόρος, όταν κοιτάζει από την περιφέρεια και από το οπτικό κέντρο αντίστοιχα όπου οι εκτροπές είναι ελάχιστες.

Οι φακοί αυτοί έχουν βαθμιαία μεταβλητές ακτίνες καμπυλότητας. Η επιφάνεια του φακού, αντί για σφαιρική, μοιάζει σε μια παραβολοειδή επιφάνεια, ελαχιστοποιώντας έτσι τη σφαιρική απόκλιση.

Ο σχεδιασμός αυτός προσφέρει πλεονεκτήματα για τους οφθαλμικούς φακούς θετικής ισχύος που χρησιμοποιούνται για την διόρθωση της υπερμετρωπίας και της πρεσβυωπίας. Πρακτικά προσφέρουν μειωμένο πάχος και καλύτερη αισθητική λόγω της πιο επίπεδης πρόσθιας επιφάνειας. Επίσης μειώνουν τις λεγόμενες περιφερειακές εκτροπές βελτιώνοντας την ποιότητα της όρασης και αυξάνοντας το οπτικό πεδίο.

Οι οφθαλμικοί φακοί είναι κατά βάση σφαιρικοί. Είναι δηλαδή διαμορφωμένοι κατά την παραγωγή τους από μια απλή σφαιρική επιφάνεια. Ο μόνος τρόπος για να διαμορφώσουμε τα χαρακτηριστικά ενός απλού σφαιρικού φακού είναι με την αλλαγή καμπυλότητας του. Στο σχεδιασμό των φακών χρησιμοποιείται και μια μέθοδος κατασκευής μη σφαιρικών φακών. Η μέθοδος αυτή δίνει την ασφαιρική επιφάνεια. Οι φακοί με ασφαιρικές επιφάνειες είναι συμμετρικοί στην περιφέρεια και την διάμετρο τους αλλά όχι και σφαιρικοί. Ενώ, ο σφαιρικός φακός αποτελεί τμήμα μίας σφαιρικής επιφάνειας, ο ασφαιρικός είναι ουσιαστικά ελλειπτικός. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί σημείο της τομής ενός κώνου. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια πολύ πιο επίπεδη και συμμετρική επιφάνεια, όσον αφορά την καμπυλότητα σε όλα τα τμήματα του φακού.

Λόγω της σφαιρικής εκτροπής που δημιουργείται από σφαιρικούς φακούς δημιουργήθηκαν ασφαιρικές επιφάνειες ώστε να γίνει διόρθωση της σφαιρικής εκτροπής.

Ο ασφαιρικός φακός:

- Έχει το λιγότερο μία ασφαιρική επιφάνεια
- Η οπτική εικόνα είναι πιο καλή
- Αισθητικά είναι πιο καλός και
- Είναι πιο λεπτός από ένα σφαιρικό φακό με ίδια ισχύ και δείκτη διάθλασης

#### 2.1.2.3. Ατορικοί φακοί:

Οι ατορικοί φακοί προϋποθέτουν την ύπαρξη κυλίνδρου για τη διόρθωση αστιγματισμού. Ατορικοί είναι οι φακοί με αστιγματική διόρθωση, στους οποίους τουλάχιστον ένα τεταρτημόριο τους δεν είναι σφαιρικής κατασκευής.

#### 2.1.2.4 Κυλινδρικοί φακοί:

Τους κυλινδρικούς φακούς τους χωρίζουμε σε δύο άξονες, έναν άξονα ο οποίος δεν έχει διαθλαστική δύναμη και έναν άλλο άξονα που είναι κάθετος στον πρώτο, που έχει την πιο μεγάλη διαθλαστική δύναμη. Ο άξονας χωρίς διαθλαστική δύναμη είναι ο κύριος άξονας ενός κυλινδρικού φακού. Μια παράλληλη δέσμη ακτινών καθώς περνάει μέσα από έναν κυλινδρικό φακό συγκεντρώνεται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής, παράλληλης προς τον κύριο άξονα, η οποία γραμμή ονομάζεται εστιακή γραμμή. Σαν διαθλαστική δύναμη του φακού θεωρείται η διαθλαστική δύναμη του μεγαλύτερου διαθλαστικού άξονα.

Υπάρχουν οι θετικοί κυλινδρικοί φακοί και οι αρνητικοί κυλινδρικοί φακοί.

Με τους κυλινδρικούς φακούς γίνεται διόρθωση του απλού αστιγματισμού (απλού μυωπικού και απλού υπερμετροπικού).

#### 2.1.2.5. Σφαιροκυλινδρικοί ή αναμορφικοί ή τορικοί φακοί:

Ένας σφαιροκυλινδρικός φακός χαρακτηρίζεται από δύο άξονες με μέγιστη και ελάχιστη διαθλαστική δύναμη. Οι δύο άξονες του τορικού φακού είναι κάθετοι μεταξύ τους.

Οι σφαιροκυλινδρικοί φακοί είναι συνδυασμός σφαιρικού και κυλινδρικού φακού. Δύο άξονες, ο ένας με μέγιστη διαθλαστική δύναμη και ο άλλος με ελάχιστη διαθλαστική δύναμη, αποτελούν τον τορικό φακό. Ένας σφαιροκυλιν-

δρικός φακός δεν μεταβάλλει την κλίση μιας φωτεινής δέσμης που τον διαπερνά ομοιόμορφα, όπως ένας σφαιρικός φακός, αλλά της δίνει μια ιδιάζουσα μορφή που ονομάζεται κωνοειδές του Sturm. Το φως δεν εστιάζεται σε ένα σημείο αλλά σχηματίζεται σε δύο ξεχωριστές εστιακές γραμμές, που είναι κάθετες μεταξύ τους. Η απόσταση που χωρίζει τις δύο εστιακές γραμμές ονομάζεται διάστημα του Sturm. Οι σφαιροκυλινδρικοί φακοί διορθώνουν σε συνδυασμό με σφαίρωμα, σύνθετο μυωπικό ή υπερμετρωπικό αστιγματισμό καθώς και μεικτό.

#### 2.1.2.6. Αχρωματικός φακός

Ένας αχρωματικός φακός σχεδιάζεται έτσι ώστε να ταυτίζονται η εστία στο κόκκινο και το μπλε.

#### 2.1.3. Διάκριση οφθαλμικών φακών με βάση το υλικό τους

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οργανικών σε σχέση με τα κρύσταλλα:

Υπέρ:

1. Τα οργανικά είναι πιο ελαφριά από τα κρύσταλλα
2. Τα οργανικά θαμπώνουν δύσκολα
3. Τα οργανικά σπάνε πιο δύσκολα από τα κρύσταλλα
4. Στα οργανικά υπάρχει δυνατότητα για ειδικές κατασκευές
5. Η προστασία των οργανικών από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι 90-100%
6. Τα οργανικά είναι κατάλληλα για ασφαιρικές ή πολυεστιακές επιφάνειες

Κατά:

1. Τα οργανικά χαράζονται πιο εύκολα από τα κρύσταλλα
2. Τα οργανικά είναι πιο ακριβά
3. Τα κρύσταλλα μπορούν να φτάσουν σε πιο μεγάλους δείκτες διάθλασης

Το Polycarbonate είναι ένα οργανικό υλικό το οποίο έχει δημιουργηθεί εδώ και μερικά χρόνια. Είναι πιο ανθεκτικό στο σπάσιμο και έχει καλύτερες φυσικές ιδιότητες αλλά έχει χειρότερες οπτικές. Προκαλεί μεγαλύτερες χρωματικές εκτροπές σε σύγκριση με τον απλό οργανικό φακό. Το Polycarbonate παρόλο που είναι άθραυστο χαράζεται πιο πολύ από τα υπόλοιπα οργανικά υλικά. Το υλικό του είναι κατάλληλο για κατασκευές griff. Γενικά, το υλικό αυτό προτείνεται σε σπορ και σε μικρά παιδιά, για να το χρησιμοποιούν όταν παίζουν. Διαφορετικά, για γενική χρήση οι φακοί θα πρέπει να έχουν τον πιο μικρό δείκτη διάθλασης. Ο δείκτης του υλικού αυτού είναι 1,59.

Το Trivex είναι ένα νέο υλικό που μοιάζει με το Polycarbonate και έχει τα ίδια ελαττώματα, εμφανίζει όμως πιο μεγάλο αριθμό Abbe από το Polycarbonate. Το Trivex μπορεί να είναι κατάλληλο για κατασκευές griff για χαμηλές αμετροπίες. Η χρήση του γίνεται όταν ο κύλινδρος της συνταγής ξεπερνάει της δύο διοπτρίες, και αντικαθιστά σε αυτή την περίπτωση του Polycarbonate

## 2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΚΩΝ

### 2.2.1 Σφαιρόμετρο

Το σφαιρόμετρο έχει τρεις ακίδες οι οποίες τοποθετούνται πάνω στο φακό. Εκτός από τη μεσαία ακίδα, οι άλλες δύο είναι ακίνητες. Όταν λοιπόν γίνει τοποθέτηση των ακίδων στο φακό, υπάρχει ένας δείκτης που δείχνει τη διαθλαστική δύναμη του φακού.

Η διαθλαστική δύναμη του φακού ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των διαθλαστικών δυνάμεων των δύο επιφανειών του .

Η ένδειξη που παίρνουμε καθώς περιστρέφουμε το σφαιρόμετρο είναι ίδια σε όλους τους μεσημβρινούς. Όταν γίνεται μέτρηση αστιγματικών φακών παίρνουμε δύο ενδείξεις στους δύο κύριους μεσημβρινούς. Παρόλο που στο σφαιρόμετρο γίνονται μετρήσεις που δεν είναι δυνατό να γίνουν με το φακόμετρο, η μέθοδος του δεν είναι ακριβής για τη μέτρηση της δύναμης ενός φακού.

### 2.2.2 Φακόμετρο

Το φακόμετρο χρησιμοποιείται για την ακριβή μέτρηση της διαθλαστικής δύναμης των φακών. Με το φακόμετρο μπορεί να προσδιοριστεί η σφαιρική και κυλινδρική δύναμη του φακού, μπορεί επίσης να προσδιοριστεί και να μετρηθεί ενσωματωμένη πρισματική δύναμη και να προσδιοριστεί το οπτικό κέντρο του φακού. (εικόνα 34)

Το φακόμετρο αποτελείται από:

- Μία φωτεινή πηγή
- Ένα κινητό στόχο
- Ένα φακό



Εικόνα 34: Φακόμετρο εσωτερικής ανάλυσης

- Ένα φωτεινό σταυρόνημα
- Ένα συγκρατητήρα για να συγκρατεί το φακό
- Ένα ειδικό στέλεχος με μελάνι για να μπορεί να μαρκάρει το φακό
- Ένα τηλεσκόπιο του οποίου ο προσοφθάλμιος φακός είναι ρυθμιζόμενος
- Βαθμολογημένη κλίμακα σε διοπτρίες από -20 έως + 20
- Τύμπανο που όταν περιστρέφεται μετακινεί τις ενδείξεις της βαθμολογημένης κλίμακας
- Μοιρογνώμονιο βαθμολογημένο από 0° έως 180° που καθορίζει τους άξονες στους αστιγματικούς φακούς

### 2.3 ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ

Οι επιστρώσεις σήμερα μπορούν να προσφέρουν αντί-ανακλαστικά, υδρόφοβα, λιπόφοβα και αντιστατικά χαρακτηριστικά στους οφθαλμικούς φακούς. Είναι δυνατό να κατασκευαστούν χωρίς να δημιουργούν έγχρωμες αντανακλάσεις.

Πιο συγκεκριμένα:

Ο Alexander Smakula το 1935 εφεύρε τις αντιανακλαστικές επιστρώσεις. Βέβαια, το 1886 ο Rayleigh ανακάλυψε το φαινόμενο της ελάττωσης της ανάκλασης ενός φακού. Έκανε σύγκριση της μεταδοτικότητας μεταξύ καινούργιων φακών με παλαιότερους φακούς. Η μεταδοτικότητα των παλιών διαβρωμένων φακών ήταν πιο μεγάλη από τους φακούς που ήταν καινούργιοι. Αυτή ήταν η διαπίστωση του Rayleigh.

Όταν το φως προσπίπτει σε ένα φακό, δεν εισέρχεται όλο το φως στο μάτι, δημιουργώντας ανατανακλάσεις στην πρόσθια επιφάνεια του φακού και λιγότερο στην οπίσθια. Η οπτική πληροφορία δεν εκλαμβάνεται ολόκληρη και υπάρχει απώλεια της καθαρής όρασης. Αυτά είναι τα οπτικά προβλήματα που δημιουργούνται. Υπάρχουν και αισθητικά προβλήματα στα οποία οι αντανακλάσεις, μπροστά από τα μάτια, είναι αντιαισθητικές.

Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται αντί-ανακλαστικές επιστρώσεις. Οι αντί-ανακλαστικές επιστρώσεις εφαρμόζονται πάνω στις επιφάνειες του φακού και έτσι περιορίζεται το ποσοστό του ανακλώμενου φωτός. Οι αντανακλάσεις που δημιουργούν οι σύγχρονες επιστρώσεις είναι 1%.

Το φαινόμενο που δημιουργείται από τις αντί-ανακλαστικές επιστρώσεις είναι αρνητικό. Οι αντανακλάσεις του λευκού φωτός δεν είναι λευκές. Ο τρό-

πος κατασκευής της επίστρωσης καθορίζει το χρώμα. Το μωβ και το πράσινο, σε διάφορες αποχρώσεις είναι τα χρώματα που συναντώνται συνήθως. Οι νέες γενιάς επιστρώσεις δεν εμφανίζουν έγχρωμες αντανακλάσεις αλλά λευκές. Όμως, η διαπερατότητα αυτών των επιστρώσεων δε φτάνουν στο 99% αλλά στο 96%.

Με τις αντί-ανακλαστικές επιστρώσεις γίνεται να τοποθετηθούν στο φακό και άλλες επιστρώσεις. Ο οφθαλμικός φακός αποκτά υδρόφοβη και λιπόφοβη συμπεριφορά. Έτσι, ο φακός δε λερώνεται εύκολα από υγρές και λιπαρές αποθέσεις (νερά, δαχτυλιές κλπ.) (εικόνα 35).

Κατά τον καθαρισμό των γυαλιών οι επιστρώσεις φορτίζονται αρνητικά και έτσι τραβάνε τα θετικά φορτισμένα σωματίδια τα οποία υπάρχουν στον αέρα. Στην ουσία, οι ανεπίστρωτοι φακοί λερώνονται πιο εύκολα με σκόνη. Έτσι, προστίθεται μία ακόμα επίστρωση η οποία προσδίδει αντί-στατικές ιδιότητες στο φακό, χωρίς να φορτίζεται και να επικάθεται σκόνη σε αυτόν.

Συχνά, οι επιστρώσεις ενός φακού καταστρέφονται και θολώνει η μεγαλύτερη επιφάνεια του. Ο χρήστης είναι αδύνατο να δει φυσιολογικά. Αυτό το φαινόμενο των σπασμένων επιστρώσεων έχει να κάνει με την κακή κατασκευή της επίστρωσης.

Οι επιστρώσεις τοποθετούνται πάνω στο βερνίκι σκλήρυνσης. Κάθε υλικό κατασκευής ενός φακού χρειάζεται συγκεκριμένο βερνίκι σκλήρυνσης. Εάν το βερνίκι που θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι το ίδιο, τότε η διαστολή και η συστολή θα γίνεται διαφορετικά από τον οφθαλμικό φακό και το βερνίκι. Όταν λοιπόν ο φακός πάει ξαφνικά από το κρύο στη ζέστη, το βερνίκι και οι επιστρώσεις θα ξεκολλήσουν από το φακό.



Εικόνα 35: Φακός που στο μισό του έχει αντανακλαστική επίστρωση



Εικόνα 36: Φακός που στο μισό του έχει αντι-χαρκτηκή επίστρωση

### Διάκριση των οφθαλμικών φακών με βάση το δείκτη διάθλασης

Η κατάταξη των υλικών των οφθαλμικών φακών γίνεται με βάση το δείκτη διάθλασης. Όσο πιο ψηλός είναι ο δείκτης διάθλασης, τόσο πιο λεπτός είναι ο φακός για μία συγκεκριμένη διαθλαστική ισχύ. Οι δείκτες διάθλασης κι-

νούνται από 1,5 έως 1,74 για τα οργανικά υλικά και από 1,53 έως 1,9 για τα ανόργανα υλικά. (εικόνα 37)

Ο πιο μεγάλος δείκτης διάθλασης όμως εμφανίζει πιο χαμηλό αριθμό Abbe και πιο πολλές αντανάκλασεις.



**Εικόνα 37:** Σκελετός με ίδιες διοπτρίες στους φακούς, αλλά με διαφορετικό δείκτη διάθλασης



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### 3.1 Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ.

Οι ασφαιρικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται πλέον σε πολλούς τύπους οφθαλμικών φακών. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι αντίθετα από τις σφαιρικές επιφάνειες, οι ασφαιρικές επιφάνειες παρουσιάζουν ένα μεγάλο ποσοστό επιφανειακού αστιγματισμού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σχεδιαστή για να εξουδετερώσει τις αστιγματικές εκτροπές που προκύπτουν από τις πλάγιες ακτίνες.

Σε αντίθεση με τους συνήθεις τύπους σφαιρικών και ασφαιρικών φακών, οι ασφαιρικές επιφάνειες δεν μπορούν να παραχθούν με απλούς τórνους περιστροφής και απαιτούνται ειδικοί μέθοδοι κατασκευής για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια της φόρμας και η αναπαραγωγισιμότητα των επιφανειών του φακού. Οι περισσότεροι ασφαιρικοί φακοί κατασκευάζονται από οργανικά υλικά και παράγονται με καλούπι. Τα καλούπια κατασκευάζονται από μέταλλα πολύ υψηλής λείανσης ή από γυαλί, αλλά σε κάθε περίπτωση, η παραγωγή των ασφαιρικών επιφανειών προϋποθέτει ηλεκτρονικά ελεγχόμενη επεξεργασία του καλούπιού (CNC).

Θεωρητικά οι ασφαιρικές επιφάνειες μπορούν να παραχθούν με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- a) Μορφοποίηση της επιφάνειας του φακού με συμπίεση
- b) Μορφοποίηση της επιφάνειας του φακού με αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης
- c) Τροποποίηση της επιφάνειας τοποθετώντας μια επιπλέον στοιβάδα άλλου υλικού σε κενό αέρος ή με άλλη μέθοδο επίστρωσης
- d) Διάβρωση της επιφάνειας με την αφαίρεση υλικού με ακτίνα ιόντων
- e) Μορφοποίηση της επιφάνειας με θέρμανση και κάμψη
- f) Μορφοποίηση της επιφάνειας με τórνο και γυάλισμα

A. Η πρώτη από αυτές τις μεθόδους, η μορφοποίηση της επιφάνειας με συμπίεση χρησιμοποιείται με επιτυχία στους οργανικούς φακούς, και συγκεκριμένα στον οφθαλμικό τομέα από την Combined Optical Industries Ltd που κατασκεύασε φακούς από PMMA με τη μέθοδο της συμπίεσης σε καλούπι μεταξύ δύο ανοξείδωτων μεταλλικών επιφανειών υψηλής λείανσης. Αρχικά οι δύο επιφάνειες ήταν κατασκευασμένες στο χέρι αλλά στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το CNC για την παρασκευή μεταλλικών επιφανειών υψηλής ποιότητας. Οι φακοί παρασκευάζονταν αρχικά με τη δημιουργία μιας πλαστικής προφόρμας από ένα επίπεδο φύλλο PMMA ο όγκος του οποίου έπρεπε να αντιστοιχεί

ακριβώς με αυτόν του έτοιμου φακού. Στη συνέχεια γινόταν η τοποθέτηση της προφόρμας ανάμεσα στις δύο μεταλλικές επιφάνειες και θερμαινόταν έως ότου να μαλακώσει όταν οι δύο επιφάνειες συμπιέζονταν. Το αποτέλεσμα ήταν μια ασφαιρική επιφάνεια ολοίδια με τη μεταλλική επιφάνεια. Σήμερα παρασκευάζουν τα ασφαιρικά στοιχεία από PMMA με μία διαδικασία έγχυσης σε καλούπι υψηλής ποιότητας, ενώ το υλικό παρέχεται σε μορφή κόκκου. Θεωρητικά, μία ασφαιρική επιφάνεια θα μπορούσε να κατασκευαστεί σε ένα γυάλινο στοιχείο συμπιέζοντας με τον ίδιο τρόπο που παράγονται οι οφθαλμικοί φακοί αλλά στην πράξη, η γυαλισμένη επιφάνεια δεν θα ήταν αρκετά ακριβής μετά τη σχετικά αργή περίοδο επαναφοράς.

B. Η δεύτερη μέθοδος, η μορφοποίηση της επιφάνειας με θερμοκρασία και πίεση στην άκρη μιας γυάλινης ράβδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή γυάλινων στοιχείων όταν η υψηλή ποιότητα δεν είναι σημαντική απαίτηση. Η γυάλινη ράβδος θερμαίνεται στο ένα άκρο για να μαλακώσει και μετά επανασχηματίζεται με πίεση. Αυτή η μέθοδος παραγωγής έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτείται μόνο η ελάχιστη ποσότητα θερμότητας για να γίνει το γυαλί αρκετά εύπλαστο έτσι ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί. Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη ποιότητα επιφάνειας από την απλή συμπίεση. Η τελική επιφάνεια εξαρτάται από το τελείωμα στο εργαλείο συμπίεσης και την επιφάνεια της γυάλινης ράβδου. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο καλύτερη είναι η τελειωμένη επιφάνεια ενός φακού, αλλά απαιτείται τόσο μεγαλύτερη ισχύς.

C. Η τρίτη μέθοδος, η τροποποίηση της επιφάνειας τοποθετώντας μια επιπλέον στοιβάδα άλλου υλικού σε κενό αέρος ή με άλλη μέθοδο επίστρωσης έχει μέχρι στιγμής εφαρμοστεί μόνο σε επιφάνειες καθρέπτη για να επιτύχουμε ασφαιρικούς ανακλαστήρες. Θεωρητικά, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιεί επιφάνειες οργανικών φακών εναποθέτοντας υλικό και έτσι κάνοντας τις επιφάνειες ασφαιρικές. Η επιφάνεια θα τροποποιηθεί με την ελεγχόμενη εναπόθεση υλικού σε υψηλό κενό. Αν και η αποχώρηση από τη σφαίρα είναι συχνά πολύ μικρή, είναι απαραίτητο να είναι ικανή η πλήρωση του θαλάμου με αρκετό υλικό για να καλυφθεί η σχετικά ευρεία επιφάνεια μιας επιφάνειας οφθαλμικού φακού με μία μόνο διαδικασία επίστρωσης.

D. Η αυξημένη απαίτηση για ασφαιρικούς φακούς χαμηλού κόστους έχει οδηγήσει στην εξερεύνηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στα πειράματα ατομικής ενέργειας σε σχέση με την τοποθέτηση ιόντων και την παραγωγή ημιαγωγών για τη βιομηχανία μικροκυκλωμάτων. Η έρευνα σε αυτούς τους τομείς έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ισχυρών επιταχυντών ιόντων οι οποίοι παράγουν ελεγχόμενες δέσμες ιόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση υλικού από γυάλινες επιφάνειες, άτομο-άτομο. Επειδή το σπάσιμο της επιφάνειας είναι σε νανομετρικό επίπεδο η επιφάνεια στο τέλος είναι γυαλισμένη σε υψηλό βαθμό. Αυτή η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί για το γυάλισμα ασφαιρικών με την ανάπτυξη ελεγχόμενων δεσμών ιόντων αλλά προς το παρόν δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή οφθαλμικών φακών.

Από τις πιθανές μεθόδους παραγωγής των ασφαιρικών φακών που αναφέρθηκαν, μόνο οι δύο τελευταίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ασφαιρικών οφθαλμικών φακών και φακών προοδευτικής ισχύος, η μορφοποίηση της επιφάνειας με θέρμανση και κάμψη και η μορφοποίηση της επιφάνειας με τόννο και γυάλισμα

Ε. Η διαδικασία κάμψης του υλικού για να δημιουργηθεί μία ασφαιρική επιφάνεια προϋποθέτει τη θέρμανση μιας πολύ καλά προετοιμασμένης πρώτης ύλης γυαλιού σε κεραμικό καλούπι έως ότου το γυαλί μαλακώσει και πάρει το σχήμα το οποίο είναι σχεδιασμένο το καλούπι να του δώσει. Η επιφάνεια που έχει καμφθεί στην πρώτη ύλη και η οποία προκύπτει από τη διαδικασία αυτή μπορεί να είναι η έτοιμη κυρτή επιφάνεια ενός πολυεστιακού φακού από γυαλί ή η κοίλη επιφάνεια ενός γυάλινου καλουπιού το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή οργανικών φακών στη συνέχεια.

### **3.2.ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ**

Η ιδέα διόρθωσης της όρασης για την αποφυγή “άλματος” της εικόνας μεταξύ των εστιών ενός διπλοεστιακού ή τριπλοεστιακού φακού ήρθε με την ανακάλυψη των πολυεστιακών φακών, όπου για πρώτη φορά κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1907 από τον Aves, αλλά λόγω της δύσκολης εφαρμογής του και της πολυπλοκότητας που παρουσίαζε δεν κυκλοφόρησε ποτέ στο εμπόριο.

Ο φακός Varilux ήταν ο πρώτος σύγχρονου σχεδιασμού του συστήματος PAL. Αναπτύχθηκε από τον Bernard Maitenaz, με κατοχυρωμένο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1953, και εισήχθη από την τότε εταιρεία Societe des Lunetiers (που αργότερα και ως τώρα είναι μέρος της εταιρείας οφθαλμικών φακών Essilor) το 1959.

#### **Πολυεστιακοί φακοί για τα γυαλιά του χρήστη**

Οι πολυεστιακοί φακοί χρησιμοποιούνται όταν πλέον η όραση για κοντά δεν είναι αρκετή για να μπορέσουμε να λειτουργήσουμε με άνεση στις σύγχρονες ανάγκες κοντινής όρασης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυεστιακών φακών που μπορούμε να χρησιμοποιηθούν. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι πλέον δεν βλέπουμε καθαρά μόνο σε μία απόσταση των 40 – 50 εκατοστών, αλλά μπορεί το άτομο να διακρίνει καθαρά σε όλες τις αποστάσεις. Οι διάφοροι τύποι πολυεστιακών φακών που υπάρχουν στην αγορά μπορούν να διαφέρουν ως προς την γεωμετρία κατασκευής τους, την καθαρότητα των φακών και το πάχος.

### 3.3 ΟΙ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΕΣΤΙΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ

Βρισκόμαστε στην εποχή των πολυεστιακών φακών . Έχουν περάσει αρκετοί μήνες από τότε που αναφέρθηκε ότι οι πολυεστιακοί φακοί ξεπέρασαν σε πωλήσεις τους διπλεστιακούς στην παγκόσμια αγορά. Οι φακοί αυτής της κατηγορίας σχεδιάζονται, παράγονται και πωλούνται από εταιρίες των Η.Π.Α., της Ευρώπης και της Ασίας. Ενώ οι αναπτυσσόμενες οφθαλμικές αγορές, όπως για παράδειγμα η Κίνα, αναφέρεται ότι παρακάμπτουν το στάδιο των διπλεστιακών φακών τελείως και πηγαίνουν απ' ευθείας από τη μονή όραση στους πολυεστιακούς φακούς.

Τα χρόνια πριν την δεκαετία του 1990 υπήρχαν μόνο πολυεστιακά γενικής χρήσης. Τότε παρουσιάστηκαν οι πρώτες προσεγγίσεις των “εξατομικευμένων” πολυεστιακών, όπου υπήρχε μια συνεχή αναζήτηση για τον ιδανικό πολυεστιακό φακό, για παράδειγμα ασυμμετρικών πολυεστιακών φακών για το δεξί και το αριστερό μάτι αντίστοιχα. Τα πρώτα “ειδικά ” πολυεστιακά σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες τις αυξημένης χρήσης υπολογιστών. Οι εταιρίες αναφέρουν ότι τα πολυεστιακά “γραφείου” αποτελούν έναν αναπτυσσόμενο τομέα ακόμα και σήμερα. Αυτό ακολουθήθηκε από σχεδιασμούς στους οποίους η προοδευτικότητα είχε βελτιστοποιηθεί για κάθε add για κοντινή όραση ξεχωριστά. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα πολυεστιακά με “κοντό” κανάλι , αφού σημαντικός κρίνεται και ο σκελετός όπου τα άτομα ψάχνουν να είναι συμβατός με την μόδα της κάθε εποχής και επιθυμούσαν να μην τους εμποδίζουν τα πολυεστιακά γυαλιά τους να ακολουθούν την μόδα όπου ήθελε μικρούς και στενούς σκελετούς, καθώς θεωρούνταν αντιαισθητικοί οι μεγάλοι μεγέθους σκελετοί.

Κατά τις χρονολογίες στα μέσα του 1990 έως το 2006, αναζητάτε ο ιδανικός πολυεστιακός φακός μέσα από διάφορα προϊόντα.

Με γνωστή την προοπτική κέρδους που προσφέρουν οι πολυεστιακοί φακοί στην αγορά, η εξέλιξη τους και όπως και η παραγωγή τους συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να πληθαίνουν. Τα τελευταία χρόνια η αγορά των πολυεστιακών οφθαλμικών φακών εστιάζει στα πολυεστιακά εσωτερικού χώρου, με κοντά κανάλια και ειδικά στα εξατομικευμένα πολυεστιακά, με την χρήση του ελεύθερου σχεδιασμού επιφάνειας, τα οποία συνήθως κατασκευάζονται σε υλικά με προστιθέμενη αξία. Οι συγχωνεύσεις και οι ανταλλαγές μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών καθώς και ιδιοτήτων των πολυεστιακών φακών έχει μεγαλώσει. Υπάρχει η ανάγκη για νέα, καινοτόμα και πρωτοποριακά προϊόντα με δυνατότητες και ιδιότητες που έχουν δοκιμαστεί από χρήστες και προσφέρουν άνεση.

Στον αναπτυσσόμενο κόσμο όπως είναι και η Ελλάδα, οι πολυεστιακοί φακοί έχουν μεταμορφώσει την πορεία όχι μόνο των κατασκευαστών οφθαλμικών φακών αλλά και των εργασθηρίων κοπής τους και των ίδιων των οπτικών που τα διαθέτουν στους χρήστες. Έχουν μεταμορφώσει τη ζωή πολλών πρεσβυώπων

που τα φορούν, παρά το γεγονός ότι κάθε πολυεστιακός φακός μέχρι τώρα, και πιθανώς κάθε σχεδιασμός που μπορεί να αναπτυχθεί κάτω από την πολυεστιακή έννοια, προϋποθέτει συμβιβασμό και χρόνο προσαρμογής από τον χρήστη. Ο συμβιβασμός των φακών συνεπάγεται στην αποδοχή σημαντικών εκτροπών στην κατώτερη περιφέρεια του φακού κατά το πλάγιο βλέμμα-όπου υπάρχουν οι λεγόμενες “νεκρές” περιοχές του φακού- το οποίο προκύπτει από την απαίτηση για καθαρή μακρινή και κοντινή κεντρική όραση. Ο συμβιβασμός που δημιουργείτε κατά την χρήση τους αφορά την αντιμετώπιση των προβλημάτων των εκτροπών στην περιφερειακή ζώνη του φακού. Αυτό είναι κάτι που θεωρήθηκε και χαρακτηρίστηκαν οι φακοί αυτοί ως “σκληρού” σχεδιασμού. Μερικοί χρήστες πολυεστιακών πρώτης γενιάς βρήκαν αυτή την κίνηση της εικόνας ενοχλητική σε σημείο να τους δημιουργεί ναυτία – αν και τα πολυεστιακά “σκληρού” σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται επιτυχώς από πολλούς χιλιάδες χρήστες. Τα προβλήματα ανοχής ήταν παρ’ όλα αυτά αρκετά ενοχλητικά για να προωθηθεί η ανάπτυξη των λεγόμενων “μαλακού” σχεδιασμού, ως το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη των πολυεστιακών φακών

Σήμερα, το κομμάτι των πολυεστιακών φακών έχει απομακρυνθεί πολύ και γρήγορα από την αρχική του προέλευση και τον τρόπο κατασκευής αλλά όλα πληρούν ορισμένα κριτήρια. Για τα πολυεστιακά γενικής χρήσης, αυτά τα κριτήρια αφορούν καλές ζώνες για μακρινή και κοντινή όραση, και ένα προοδευτικό κανάλι φιλικό προς το χρήστη που να τις ενώνει.

## **Σύστημα Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing CAD/CAM**

Είναι μια ηλεκτρονική διαδικασία. Η ύπαρξη του συστήματος αυτού αποτελείται από ένα λογισμικό όπου με την χρήση ενός υπολογιστή, και την ψηφιακή τεχνολογία γίνεται η επεξεργασία των φακών. Αντίθετα από τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής της επιφάνειας ενός φακού, όπου χρησιμοποιείτε ένας τροχός για να κόψει στο περίπου μία συνταγή σε ένα ημιτελή φακό. Η βελτίωση του οποίου βοήθησε στη δημιουργία των τελευταίων εξελίξεων. Σε αυτή την κατηγορία των εξελίξεων εμφανίζονται οι “εξατομικευμένοι” πολυεστιακοί φακοί ή πολυεστιακοί ελεύθερου σχεδιασμού, οι πολυεστιακοί οπίσθιας επιφάνειας και οι πρώτοι δύο επιφανειών.

Οι ειδικοί εφαρμοστές αντιλαμβάνονται τα πολυεστιακά οπίσθιας επιφάνειας ως μια δραματική εξέλιξη, σε ότι αφορά το γεγονός ότι η προοδευτική ζώνη είναι πιο κοντά στον οφθαλμό του χρήστη, επιτρέποντας ευρύτερο πεδίο όρασης και μεγαλύτερη άνεση στο πέρασμα από τη μακρινή στην κοντινή.

Ο σύμβουλος εφαρμογών του UK Norville Group, είχε προτείνει σε κάθε οπτικό να διαλέξει και να χρησιμοποιήσει μια ομάδα πολυεστιακών που θα περιλαμβάνει, ένα “σκληρό” σχεδιασμό με μεγάλη ζώνη για κοντά, μερικούς σχεδιασμούς γενικής χρήσης, ένα φακό με κοντό κανάλι, ένα πολυεστιακό ειδικής χρήσης και ένα φακό οπίσθιας επιφανείας. Πρότεινε επίσης οι οπτικοί να προσπαθήσουν να εξοικειωθούν με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σχεδιαστικών “οικογενειών” και τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα πολυεστιακά. Μία από τις πρώτες εξελίξεις στον τομέα των πολυεστιακών ήταν ο προστιθέμενης αξίας συνδυασμός πολυεστιακού σχεδιασμού και ειδικών ιδιοτήτων ενός υλικού, όπως υψηλοί δείκτες διάθλασης (είτε κρύσταλλα είτε πιο συχνά οργανικά πλέον) και φωτοχρωμικά. Αυτή η τάση παραμένει ισχυρή.

### ***Οπτικοί και τι προτείνουν στον χρήστη.***

Λίγοι είναι οι οπτικοί, αλυσίδες ή μεμονωμένοι, που περιορίζονται σε πολυεστιακά από ένα προμηθευτή, αλλά οι περισσότεροι περιορίζουν τις προτάσεις τους. Αυτό συμβαίνει γιατί η εμπιστοσύνη του οπτικού είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο, όχι μόνο στο τεχνικό κομμάτι αλλά και στο να “πουλήσει” την ιδέα της κάθε εταιρείας στον ενδιαφερόμενο χρήστη. Σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον όπου οι εταιρείες που ασχολούνται με τους πολυεστιακούς φακούς και φακούς τελευταίας και πιο εξελιγμένης τεχνολογίας, η καλή επικοινωνία των εταιριών με τους οπτικούς είναι πολύ σημαντική και σε πολλές περιπτώσεις απαραίτητη και αναγκαία. Ο προμηθευτής και ο οπτικός πρέπει να συνεργάζονται στενά και έξυπνα για να επιτύχουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για όλους. Τα πολυεστιακά είναι ένας συναρπαστικός τομέας όχι μόνο της αγοράς αλλά και της χρήσης τους.

#### ***3.3.1. Εξατομικευμένοι πολυεστιακοί φακοί***

Στις πρώτες κατασκευές των πολυεστιακών οι φακοί ήταν σχετικά ακατέργαστοι κατά την δημιουργία τους με αποτέλεσμα να υπάρχουν εκτροπές στην περιφέρεια μακριά από τον οπτικό άξονα, δίνοντας χαμηλή οπτική ανάλυση (blur). Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι δίνετε το εύρος πολλών εστιών σε μία ενιαία μονής όρασης επιφάνεια ισχύος. Κατά τις αρχές εμφάνισης και χρήσης των πολυεστιακών, ενθουσιασμένος ο χρήστης από το κάτι καινούργιο και διαφορετικό αποδέχθηκε αυτά τα μειονεκτήματα για τον πολύ απλό λόγο, οι πολυεστιακοί φακοί τους έδωσε νέο τρόπο να βλέπουν. Δεδομένου ότι οι διπλοεστιακοί φακοί αφορούν σχεδιασμό κυρίως για την τρίτη ηλικία και η έλλειψη των τμημάτων στην επιφάνεια του φακού των πολυεστιακών τον κάνουν να φαίνεται πιο νεανικός λόγω του ότι φέρει τη μορφή και αίσθηση που έχει ένας μονοεστιακός φακός που απευθύνεται σε άτομα ηλικίας πριν την έναρξη της πρεσβυωπίας που χρειάζονται τη μονοεστιακή διόρθωση, όπου ο φακός είναι χωρίς τμήματα ή γραμμές στην επιφάνεια του.

Η λογική της αγοράς εκείνης της εποχής ήταν να αναπτύξουν το προσχέδιο ενός πολυεστιακού φακού για να ικανοποιεί μεγάλο εύρος των αναγκών των χρηστών. Ωστόσο η φιλοσοφία ένας φακός που ταιριάζει σε όλους, σαν έννοια δεν προϋποθέτει και δεν βοηθά στην ανάπτυξη της αγοράς για τα άτομα που χρειάζονται και χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο προϊόν.

Από τις μεγάλες βιομηχανίες των πολυεστιακών φακών υπήρξε αυξημένη ζήτηση των καταναλωτών που να προσφέρουν φακούς οι οποίοι να συνδυάζουν την άνεση με την μόδα. Μικρότεροι σκελετοί έγιναν της μόδας, όπως και οι σκελετοί χωρίς πλαίσιο (τύπου griff) και γυαλιά ειδικά για αθλητισμό περιπλέκουν ακόμα περισσότερο το έργο τους.

Το πρόσωπο του κάθε ανθρώπου είναι διαφορετικό καθώς και ο τρόπος ζωής και οι ανάγκες του. Για αυτό το λόγο οι εταιρείες κατασκευής των εξατομικευμένων φακών υπολογίζουν και τη θέση που θα έχει ο φακός μπροστά από το μάτι, εκτός από τις παραμέτρους που δίνει μια συνταγή .

Επιπλέον, τα ατομικά χαρακτηριστικά του χρήστη όπως για παράδειγμα η διακορική απόσταση καθώς και το σχήμα και η εφαρμογή που έχει ο σκελετός μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν στη βελτιστοποίηση του φακού του χρήστη. Το αποτέλεσμα είναι οπτικά πεδία μέγιστου εύρους για κάθε χρήστη και πολύ υψηλή άμεση προσαρμογή. Ο μοναδικός σχεδιασμός επιφάνειας, μαζί με τη σφαιρική πρόσθια επιφάνεια και την προοδευτική, ατορική επιφάνεια ελεύθερου σχεδιασμού, παρέχουν ελαχιστοποίηση της αίσθησης ότι κινούνται τα αντικείμενα (swim effect).

Η πολυεστιακή και ατορική επιφάνεια ελεύθερου σχεδιασμού βελτιστοποιείται και για τη συνταγή και για την ξεχωριστή θέση των φακών μπροστά από το μάτι.

Οι πρόσφατες εξελίξεις όμως στην κατασκευή των οφθαλμικών φακών έχουν κάνει δυνατή την υψηλή ευκρίνεια των φακών που διορθώνουν τις αποκλίσεις αυτές, δίνοντας καλύτερη όραση από ότι με τους συμβατικούς φακούς. Οι φακοί αυτοί έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν καλύτερη όραση σε όλες τις συνθήκες φωτισμού και της μείωσης των αντανάκλασεων κατά την νυχτερινή οδήγηση και σε άλλες περιπτώσεις νυχτερινής εργασίας.

### **Τα πλεονεκτήματα που έχει ο χρήστης των εξατομικευμένων πολυεστιακών φακών:**

- Πολύ υψηλή άμεση προσαρμογή
- Μεγάλη άνεση στην όραση -καθώς υπολογίζονται οι παράμετροι του κάθε χρήστη-.
- Βελτιστοποίηση για τη θέση χρήσης του φακού αυτού
- Η εσωκέντρωση είναι απόλυτα ακριβής καθώς λαμβάνονται υπόψη όλες οι εξατομικευμένες παράμετροι σε εξάρτηση με την αμετροπία και το

addition. Μπορεί επίσης να παραγγελθεί για σύγκλιση άλλη από 100% (π.χ. για μονόφθαλμο).

- Πανομοιότυπες ζώνες όρασης για δεξί και αριστερό φακό, ακόμα και σε περιπτώσεις ανισομετροπίας των οφθαλμών
- Μειωμένη αίσθηση ότι κινούνται τα αντικείμενα, ειδικά όταν ο χρήστης κινείται στον χώρο (swim effect)
- Συνεχής ενσωματωμένη μεγέθυνση και ομοιογενείς αντανάκλασεις πρόσθιας επιφάνειας
- Η ισχύς για μακριά μπορεί να παραγγελθεί σε βήματα του 0,12D.
- Η καμπυλότητα του φακού μπορεί να προσαρμοστεί στο σκελετό (όπου είναι τεχνικά δυνατό)
- Υπάρχει ευρύτερο οπτικό πεδίο σε όλες τις αποστάσεις, ανεξάρτητα από την συνταγή
- Έχουμε λιγότερη παραμόρφωση εικόνας στην περιφερειακή όραση
- Εκτροπές ανάλογες των φακών μονής όρασης
- Μείωση του αριθμού των κινήσεων της κεφαλής
- Υπάρχει γρήγορη και αποτελεσματική περιστροφή των ματιών.
- Πιο σταθερή και ταχύτερη αντίληψη των σημείων μίας εικόνας σε όλες τις αποστάσεις και τις κατευθύνσεις
- Υπάρχει εγγύηση προσαρμογής καθώς και εγγύηση ποιότητας

Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι όραση που ήταν ανέφικτη μέχρι τώρα και άνεση στη χρήση με φακούς που είναι τόσο μοναδικοί όσο και το άτομο που τους φοράει. Αποτελεί ατομική κατασκευή για κάθε άτομο που τον επιλέγει. Πληρεί όλες τις απαιτήσεις της καλύτερης όρασης: περισσότερη μακρινή, κοντινή, περισσότερη δεξιά, αριστερά άρα περισσότερες ζώνες όρασης. Αποτελούν μέγιστη ασφάλεια πρότασης χάρις τους φακούς που είναι πάντα ιδανικοί για κάθε απαίτηση όρασης.

### **3.3.2. Ελεύθερος σχεδιασμός επιφάνειας ή Free form technology.**

Το free form είναι μια ηλεκτρονική διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής παρόμοια με το CAD/CAM (με την κατασκευή μέσω υπολογιστή). Οι διαδικασίες κοπής των επιφανειών γίνεται χρησιμοποιώντας ένα διαμάντι όπου καθοδηγείται από ένα λογισμικό υπολογιστικού προγράμματος, το οποίο κόβει ακριβώς τη συνταγή πάνω στο φακό. Ο ελεύθερος σχεδιασμός επιφάνειας (free form) είναι το αποτέλεσμα της νέας τεχνολογίας κοπής. Μια τυπική διαδικασία αρχίζει με τη δημιουργία της επιφάνειας του φακού χρησιμοποιώντας ένα σύστημα 3<sup>ov</sup> αξόνων ψηφιακού υπολογιστικού ελέγχου (ή CNC) γεννήτριας. Με τρεις άξονες πιθανής κίνησης, ενός σημείου κοπής μπορεί να παράγει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα επιφάνειας του φακού με έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας και



λείας όψης (smoothness). Η επιφάνεια του φακού στη συνέχεια γυαλίζεται σε υψηλή λάμψη χρησιμοποιώντας ένα εύκαμπτο επίθεμα γυαλίσματος που ελέγχεται επίσης δυναμικά από τον υπολογιστή.

Οι προοδευτικοί φακοί free-form έχουν έναν καλό αριθμό από πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά, που μπορεί να βοηθήσει στην απόκτηση καθαρότερης, οξύτερης όρασης με πιο ευρεία πεδία αυτής.

Το άτομο μπορεί να εκτιμήσει τις διαφορές μεταξύ αυτών των καινούργιων φακών σε σχέση με των συμβατικών. Καλά σχεδιασμένοι, υπολογισμένοι, και ταιριαστοί free-form φακοί προσφέρουν ενίσχυση αποτελεσμάτων πάνω σε συμβατικά σχεδιασμένων και παραγόμενων πολυεστιακών φακών. Ο σχεδιασμός αυτός βρήκε διάφορους τρόπους για να απομακρύνει τις εκτροπές από το κανάλι, μειώνοντας ελαφρώς την καθαρή κεντρική όραση. Ο νέος σχεδιασμός απαιτεί περισσότερες κινήσεις του κεφαλιού για να εντοπιστούν οι καλύτερες περιοχές όρασης. Κάτι το οποίο ο χρήστης το συνηθίζει, κυρίως όταν είναι νέος χρήστης όπου η προσαρμογή και η εξοικείωση είναι απαραίτητη. Οι φακοί με την συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κατάλληλοι για όλους τους χρήστες. Κρίνονται αποτελεσματικοί για κοντά σε οποιονδήποτε πρεσβύωπα ασθενή, όχι μόνο εξαιτίας της προχωρημένης επεξεργασίας των επιφανειών του, αλλά επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις, οι κατασκευαστές αναπτύσσουν προχωρημένους σχεδιασμούς για να χρησιμοποιούν μαζί με την επεξεργασία των τεχνικών Free-Form. Αυτό σημαίνει ότι οι ασθενείς παραλαμβάνουν τον πιο τελευταίο σχεδιασμό του φακού και της τεχνολογίας μαζί με την πιο ακριβή μέθοδο για την επεξεργασία αυτών των φακών.

### ***Παρουσιάζοντας τους φακούς τεχνολογίας Free Form***

Ιστορικά:

Ήταν μια μικρή Ισραηλινή εταιρεία (Shamir), που εισάγει για πρώτη φορά την επόμενη επαναστατική ιδέα, απομακρύνοντας από την ιδέα του ιδανικού σχεδιασμού για τον ατομικά προσαρμοσμένο φακό για κάθε χρήστη, βελτιστοποιώντας όλα τα προβλήματα όρασης ανάλογα με τον τρόπο ζωής του. Η επανάσταση υλοποιήθηκε με την εμπορική εφαρμογή που κυκλοφόρησε στην αγορά το 2001. Αυτό συμβαίνει καθώς αυτοί οι πρωτοπόροι ήρθαν από το εξωτερικό στον τομέα της φροντίδας των ματιών, συνδυάζοντας μαθηματικό, λογισμικό και ρομποτικά αρχιτεκτονικό χαρακτήρα. Σκεπτόμενοι πέρα από τα δεδομένα έχουν καταφέρει να εφαρμόσουν οικονομικά την αποδοτική επιφάνεια εργασίας, την τεχνολογία που επιτρέπει την κατασκευή εργαστηρίων για την παραγωγή υψηλής ποιότητας εξατομικευμένων φακών όπως και για μονή όραση εκτός από την πολυεστιακή.

Με αφορμή αυτή την εξέλιξη της τεχνολογίας των οφθαλμικών φακών που εισήγαγε μια εταιρεία, ήρθε η επανάσταση στην αγορά καθώς οι προσδοκίες των καταναλωτών για νέα προϊόντα αυτής της τεχνολογίας αυξήθηκαν.

Μεγάλες βιομηχανίες, προσπάθησαν να δημιουργήσουν αντίστοιχα εμπορικά προϊόντα. Αυτό έδωσε πραγματικά μια ποικιλία φακών με εφαρμογές τεχνολογίας free-form.

### ***Συμπεράσματα***

Μέχρι στιγμής:

- Υπάρχει μια αύξηση του πληθυσμού των καταναλωτών για φακούς με ταυτόχρονη όραση για κοντά και μακριά, που απαιτούν γυαλιά που μπορούν να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες και τον τρόπο ζωής που δεν υπήρχε τα προηγούμενα χρόνια. Πλέον υπάρχει μια ποικιλία λύσεων, όπως για παράδειγμα για το γραφείο, και οι οποίες ανταποκρίνονται στη ζήτηση των καταναλωτών, αλλά κυρίως από τους κατασκευαστές φακών, και περιορίζεται σε προκατασκευασμένες ιδιότητες.
- Υπάρχει η σκοπιμότητα και η διαθεσιμότητα περισσότερης ελευθερίας που επιτυγχάνεται με την τεχνολογία, όπου το εργαστήριο πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα από την εξάρτηση που είχε ως τώρα σε συγκεκριμένες κατασκευές.

### **Ποιο είναι το μέλλον;**

Στις βιομηχανίες όταν τελειώσουν τα αποθέματα που έχουν από τους συμβατικούς και προκατασκευασμένους φακούς, θα μειώσουν το κόστος των φακών της νέας τεχνολογίας –που τώρα είναι αυξημένο- με αποτέλεσμα να είναι πιο προσιτά στο χρήστη και επίσης οι κατασκευαστές θα ασχοληθούν αποκλειστικά με τον νέο τρόπο κατασκευής και θα εξελίσσουν συνεχώς το συγκεκριμένο προϊόν. Παρόμοιες διαδικασίες συνέβη με τους υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, τα GPS και τα iPhone και άλλου είδους τεχνολογικά εργαλεία πολυτελείας. Το μέλλον με την εξέλιξη κατασκευής των φακών καθώς και τη χρήση τους με τεχνολογία free form δεν θα αργήσει να παρουσιαστεί στην αγορά των οφθαλμικών φακών.

### ***Πλεονεκτήματα φακών ελεύθερου σχεδιασμού.***

- Μεγάλα πεδία όρασης
  - Υπάρχει εξάλειψη των παραμορφώσεων
  - Σχεδιασμός με βάση το wave front
  - Εσωτερική πολυεστιακότητα
  - Ομαλή μετάβαση από κοντινή σε μακρινή όραση μέσω του καναλιού που διαθέτει ο φακός
  - Υπάρχουν λιγότερες παραμορφώσεις των αντικειμένων
  - Απαιτείται μικρότερος χρόνος προσαρμογής του χρήστη
  - Μεγάλη ελευθερία στην επιλογή σκελετού ως προς το μέγεθος και το σχήμα. Λόγω του ότι υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μικρότερου καναλιού με πολύ καλή μετάβαση στις εστίες του
  - Τεχνολογία individual free form
- **Η Χρήση γίνεται σε άτομα:**
    - Μονοεστιακοί φακοί
    - Μονοεστιακοί υπερασφαιρικοί- ατορικοί οφθαλμικοί φακοί
    - Που ασχολούνται με διάφορα σπορ
    - Που κάνουν εργασία γραφείου όπου χρειάζονται πολυεστιακούς φακούς (κοντινών και μεσαίων αποστάσεων)
    - Οφθαλμικοί φακοί ξεκούρασης

### ***Επιφάνειες συμβατικών πολυεστιακών φακών $\neq$ Επιφάνειες πολυεστιακών φακών με τεχνολογία free form***

Ένας Συμβατικός πολυεστιακός φακός έχει την μπροστινή επιφάνεια του ως πολυεστιακή και την πίσω επιφάνεια ως σφαιρική ή τορική. Σε αντίθεση με τους πολυεστιακούς φακούς με τεχνολογία free form όπου οι φακοί αυτοί έχουν την εμπρός επιφάνεια σφαιρική, ενώ η πίσω επιφάνεια του φακού είναι ασφαιρική-ατορική πολυεστιακή.

Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται εξαρχής για τη συγκεκριμένη συνταγή, όπου για κάθε συνταγή δημιουργείται ένας νέος σχεδιασμός. Στην περίπτωση αυτή του φακού παρουσιάζεται το φαινόμενο της κλειδαρότρυπας, όπου υπάρχει μεγάλο πεδίο όρασης στην επάνω επιφάνεια του φακού και όταν το βλέμμα πηγαίνει προς την κάτω επιφάνεια του φακού (εκεί υπάρχει το λεγόμενο κανάλι) στενεύει η περιοχή της τέλειας όρασης.

Ανεξάρτητα από το τύπο του ελεύθερου σχεδιασμού, η τοποθέτηση της πολυεστιακής επιφάνειας, είτε στην μπροστινή είτε στην οπίσθια επιφάνεια ή διάσπαση μεταξύ των δυο, έχει ελάχιστη επίδραση επί του μεγέθους του ανεπι-

θύμητου αστιγματισμού του σχεδιασμού. Επειδή ένα οφθαλμικός φακός αντιπροσωπεύει ένα οπτικό σύστημα με αρκετά αμελητέο πάχος, οι οπτικές ιδιότητες κάθε επιφάνειας είναι ουσιαστικά κάτι πρόσθετο. Κατά συνέπεια, ο υπάρχων (inherent) ανεπιθύμητος αστιγματισμός των πολυεστιακών φακών δεν επηρεάζεται σημαντικά από την τοποθέτηση πολυεστιακής επιφάνειας.

Παρά το γεγονός ότι ο υπάρχων αστιγματισμός δεν μπορεί να διαφοροποιηθεί αισθητά, τοποθετώντας τη πολυεστιακή επιφάνεια στην πίσω επιφάνεια μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι ανεπιθύμητες επιδράσεις της μεγέθυνσης. Λοξή στρέβλωση προκαλεί εκτροπή που κάνουν τα αντικείμενα να εμφανίζονται κομματιασμένα μέσα από την περιφέρεια των πολυεστιακών φακών, όπου αυτό οφείλεται τόσο στις αλλαγές μεγέθυνσης που δημιουργούνται από τις διαφορές στην καμπυλότητα σε όλη την μπροστινή επιφάνεια, όσο και σε αλλαγές στην μεγέθυνση ως αποτέλεσμα του ανεπιθύμητου κυλίνδρου, που παράγεται από τις διαφορές στην καμπυλότητα. Έτσι, τοποθετώντας την πολυεστιακή δύναμη στην πίσω επιφάνεια του φακού εξαλείφει τη συμβολή της πρόσθιας σε αλλαγές της μεγέθυνσης που ίσως δημιουργείται. Αυτό συμβαίνει περισσότερο επειδή οι πολυεστιακές ζώνες τοποθετήθηκαν πλέον πιο κοντά στο μάτι, έχοντας έτσι ελαφρός ευρύτερα πεδία προβολής που μπορούν να υπάρξουν όταν οι πολυεστιακές επιφάνειες βρίσκονται στην πίσω επιφάνεια.

Παρόλα αυτά, οι διαφορές στην οπτική απόδοση, που οφείλεται στη θέση της πολυεστιακής επιφάνειας, είναι μικρές. Όταν ο ελεύθερος σχεδιασμός επιφάνειας χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το εξελιγμένο λογισμικό οπτικής σχεδίασης, με δυνατότητα άμεσης κατασκευής πολυεστιακών φακών, καθίσταται δυνατόν να ταιριάζουν ακριβώς με τις οπτικές απαιτήσεις ενός χρήστη, πριν από την κατασκευή τους. Λόγω των περιορισμών των παραδοσιακών πολυεστιακών, η εφαρμογή της τεχνολογίας ελεύθερου σχεδιασμού προσφέρει τα πιο σημαντικά οπτικά οφέλη.

Κάθε συνταγή απαιτεί ένα μοναδικό οπτικό σχεδιασμό για να εξαλείψει πλήρως τις εκτροπές του φακού. Η θέση που τοποθετείτε ο φακός μπορεί να εισάγει πρόσθετα σφάλματα. Επιπλέον, αν το μήκος του καναλιού της σχεδίασης του φακού ταιριάζει με το ιδανικό μήκος που σχετίζεται με ένα δεδομένο σκελετό, όπου η οπτική χρησιμότητα προκαλεί περαιτέρω κίνδυνο. Παρά το γεγονός ότι ορισμένοι χρήστες μπορούν να απολαύσουν την προβλεπόμενη οπτική απόδοση στους παραδοσιακούς πολυεστιακούς φακούς, πολλοί χρήστες πρέπει να ανεχτούν την μειωμένη οπτική απόδοση.

### 3.3.3. Free form ή υψηλής ψηφιακής ευκρίνειας (digital high-definition lenses)

Το πιο δημοφιλές είδος υψηλής ευκρίνειας φακού ονομάζεται free form-ελεύθερου σχεδιασμού. Ο όρος ελεύθερου σχεδιασμού αναφέρεται σε μια εξελιγμένη διαδικασία κατασκευής που μειώνει τις υψηλής τάξης εκτροπές, όπως σφαιρική εκτροπή όπου υπάρχει στους συμβατικούς φακούς.

Οι υψηλής ευκρίνειας φακοί σχεδιάστηκαν για να παρέχουν καλύτερη όραση σε όλες τις συνθήκες φωτισμού και τις αντανάκλασης κατά τη νυχτερινή οδήγηση. Στην πραγματικότητα η free form τεχνολογία μπορεί να εμφανίσει φακούς σε κλίμακες ισχύος 0,01 D (διοπρίες), σε σύγκρισή με 0,125 έως 0,25 D προσαυξήσεις των συμβατικών μεθόδων των οφθαλμικών φακών.

Για την κατασκευή ορισμένων ψηφιακών, ελεύθερης μορφής φακών λαμβάνεται υπόψη και ο τρόπος όπου οι φακοί θα τοποθετηθούν μπροστά από τα μάτια του χρήστη, όταν εφαρμοστούν στο σκελετό για να παρέχει πιο ακριβή διοπτρική δύναμη και την καλύτερη δυνατή όραση που είναι εφικτή.

Άλλοι παράγοντες που μπορούν να θεωρηθούν σημαντικοί είναι η γωνία μεταξύ του ματιού και της πίσω επιφάνειας του φακού στις διάφορες βλεμματικές θέσεις (π.χ. όταν ο χρήστης κοιτάζει μακριά προς την πλευρά και όχι κατευθείαν μέσα από το κέντρο του φακού), το μέγεθος του σκελετού και η θέση της κόρης του χρήστη μέσα στο σκελετό.

Με αυτούς και ενδεχομένως και άλλους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των οφθαλμικών φακών υψηλής ευκρίνειας, προσφέρουν σε πρωτοποριακό βαθμό προσαρμογής και μπορούν να μειώσουν ή ακόμα και να εξαλείψουν ορισμένες ανώτερης τάξης εκτροπές.

Η ακρίβεια και η εξατομικευμένη επιφάνεια υψηλής ευκρίνειας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκτροπών για την αντιμετώπιση των φαινομένων όπου δημιουργούν φωτοστέφανα γύρω από τα αντικείμενα και το σχηματισμό κομήτη λόγω στρέβλωσης των φώτων κυρίως την νύχτα. Το αποτέλεσμα είναι ότι η υψηλής ευκρίνειας φακοί μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη ποιότητα εικόνας, καλύτερη περιφερειακή όραση, αυξημένη ευαισθησία αντίθεσης και λιγότερο έντονο φως την νύχτα.

***Συσκευές μέτρησης διάφορων παραμέτρων για την κατασκευή φακών με την τεχνολογία Free Form.***

Επειδή η δημιουργία υψηλής ευκρίνειας φακών απαιτεί και αυτή πρόσθετες πληροφορίες πέρα από αυτές που καταγράφονται από μια ιατρική συνταγή- όπως και όλοι οι πολυεστιακοί ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής- ο οπτι-

κός συνήθως είναι αυτός ο οποίος θα λάβει τις επιπλέον μετρήσεις αφότου γίνει η επιλογή του σκελετού από τον πελάτη. Σε κάποιες περιπτώσεις μια ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης χρησιμοποιείται για να λάβει τις απαραίτητες μετρήσεις, όπως είναι η διακορική απόσταση, η μέτρηση του ύψους, η κλίση μεταξύ του σκελετού και του προσώπου του ατόμου (παντοσκοπική γωνία) και την απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των φακών μέχρι το εμπρός τμήμα του οφθαλμού (back vertex distance). Επίσης, κάποιες συσκευές κάνουν μια 3-D μέτρηση που ονομάζεται κέντρο περιστρεφόμενου ματιού (Eye rotation center ERC) και παρατηρούνται οι κινήσεις των ματιών. Οι συσκευές αυτές με μία



Εικόνα 38: σύστημα Visioffice  
([www.normansalmoniopticians.com](http://www.normansalmoniopticians.com))



Εικόνα 39: Σύστημα Zeiss i.Terminal 2  
([www.zeiss.com](http://www.zeiss.com))

φωτογραφία συστήματος μετράει αυτόματα αρκετές παραμέτρους. Αρκετές είναι οι εταιρείες οι οποίες κατασκεύασαν τέτοιου είδους συστήματα. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι της Zeiss η Zeiss i.Terminal 2 (εικόνα 39), και της Essilor το σύστημα Visioffice (εικόνα 38).

### **Οι ασθενείς που βλέπουν καλά με τους PAL φακούς τους, γιατί θα πρέπει να αλλάξουν?**

Αρκετές φορές το άτομο δεν συνειδητοποιεί τι του λείπει μέχρι να βρεθεί μια διαφορετική επιλογή. Π.χ. η τηλεόραση, στην αρχή εξέπεμπε ασπρόμαυρη

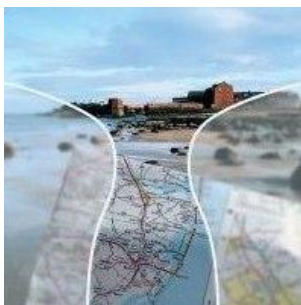
εικόνα, μέχρι που εμφανίστηκε το χρώμα. Τώρα οι τηλεοράσεις υψηλής ευκρίνειας είναι πολύ διαδεδομένες. Είναι η ίδια ιδέα με τους φακούς ελεύθερου σχεδιασμού. Η εμπειρία με τους συμβατικούς φακούς θα είναι μόνο καλύτερα. Είναι αναμενόμενο ότι σε λίγα χρόνια, οι περισσότεροι φακοί, αν όχι όλοι, θα πρέπει να κατασκευάζονται με τη χρήση ελεύθερου σχεδιασμού.

### **Ελεύθερος σχεδιασμός και γυαλιά ηλίου.**

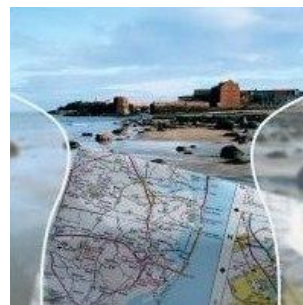
Έχουν ήδη βγει στην αγορά γυαλιά ηλίου με ελεύθερο σχεδιασμό σε διάφορα χρώματα. Ενώ τα περισσότερα από τα υλικά έχουν 100% απορρόφηση UV. Υπάρχουν και φωτοχρωμικοί καθώς και πολωτικοί φακοί με τη μορφή του ελεύθερου σχεδιασμού.

### **Κόστος φακών με ελεύθερο σχεδιασμό.**

Στην πραγματικότητα, λαμβάνοντας υπόψη τα οφέλη των ιδιοτήτων των φακών αυτών, το κέρδος είναι μεγαλύτερο παρά την αύξηση τους κόστους τους. Οι κατασκευαστές των φακών έχουν ξοδέψει πολύ χρόνο και χρήμα για να κάνουν τους φακούς αυτούς να έχουν μεγαλύτερες και καλύτερες επιδόσεις. Η αύξηση του κόστους σε σχέση με τα ωφέλει από τη βελτίωση της όρασης δεν μπορεί να συγκριθεί. Η όραση είναι μία από τις αισθήσεις του ανθρώπου που χρησιμοποιεί όλη την ώρα. Θυμηθείτε τα μεγάλα ποσά που έχουν επενδυθεί στην τηλεόραση για την υψηλή ευκρίνεια, χρησιμοποιώντας την μόνο λίγες ώρες κάθε μέρα. Τα μάτια όμως από την άλλη πλευρά τα χρησιμοποιούμε από την ώρα που θα ξυπνήσουμε και όλη την υπόλοιπη μέρα. Χρήσιμο θεωρείτε οι διοπτροφόροι να δουν την αγορά φακών ελεύθερου σχεδιασμού ως επένδυση, μια επένδυση για καλύτερη όραση.



**Εικόνα 40:** όραση από συμβατικό πολυεστικό φακό ([www.grandoptical.gr](http://www.grandoptical.gr))



**Εικόνα 41:** όραση από πολυεστικό φακό τεχνολογίας free form ([www.grandoptical.gr](http://www.grandoptical.gr))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### 4.0 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ FREE FORM ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ:

Η χρήση των οφθαλμικών φακών με τη χρήση της τεχνολογίας του ελεύθερου σχεδιασμού, αναπτύσσεται συνεχώς και με γρήγορους ρυθμούς στην ελληνική αγορά. Παρόλο που οι εταιρείες των οφθαλμικών φακών παρουσιάζουν νέα προϊόντα συνεχώς.

Πιο συγκεκριμένα:

#### 4.1. HOYA ( πολυεστιακοί και μονοεστιακοί φακοί. [www.hoya.gr](http://www.hoya.gr))

Η εταιρεία Hoya μας προσφέρει φακούς μονοεστιακής και πολυεστιακής ισχύς με την τεχνολογία αυτή.

#### Μονοεστιακοί φακοί:

- Nulux ep
  - Ασύμμετρος διπλοσφαιρικός σχεδιασμός βασισμένος στην Free-Form Design Technology
  - Νέα γενιά σχεδιασμού υψηλής ποιότητας
  - Επιτυγχάνεται μηδαμινή παραμόρφωση στα άκρα διότι λαμβάνονται υπόψη οι κινήσεις του οφθαλμού στην κατασκευή του φακού
  - Η επίπεδη καμπυλότητα προσφέρει καλαίσθητα αποτελέσματα ακόμα και σε φακούς με μεγάλες διοπτρίες
  - Τέλεια φυσική όραση σε όλες τις κατευθύνσεις
  - Ιδανικός συνδυασμός αισθητικής και οπτικής τελειότητας
  - Διαθέσιμος σε δείκτη διάθλασης 1.60 1.67 – 1.70

#### Πολυεστιακοί φακοί:

- *Hoyalux ID My Style*
  - 100% προσωπικός σχεδιασμός λαμβάνοντας υπόψη το προσωπικό lifestyle και μια μεγάλη γκάμα μετρήσεων και παραμέτρων.
  - Βασισμένο στη μεγάλη επιτυχία του iD Free Form Design Technology™ .
  - Τελειοποιημένος χάρη στην σχεδιαστική φιλοσοφία του iDEA [Intelligent Design by Extensive Analysis].



- Επιτυγχάνεται ο μέγιστος βαθμός προσωποποίησης χάρη στις μετρήσεις του MyStyle iDentifier επιλέγοντας μέσα από 9 διαφορετικές κατευθύνσεις συνδυασμών σχεδιασμού.
- Ο διοπτροφόρος συμμετέχει ενεργά στην επιλογή του δικού του πολυεστιακού iD MyStyle καθώς λαμβάνεται υπόψη η καθημερινότητα και οι προσωπικές του ασχολίες.

## **Πλεονεκτήματα**

- Φυσική και εστιασμένη 3D δίοφθαλμη όραση προς όλες τις αποστάσεις και κατευθύνσεις.
  - Σταθερή αντίληψη των αντικειμένων σε όλες τις περιστάσεις.
  - Ευρύ πεδίο όρασης χωρίς παραμορφώσεις
  - Ξεκούραστη μετάβαση μεταξύ μακρινής και κοντινής ζώνης.
  - Αίσθηση ασφάλειας.
- *Hoyalux ID Lifestyle*
    - Το μέγιστο δυνατό οπτικό πεδίο ευκρίνειας χωρίς παραμορφώσεις
    - Άμεση προσαρμοστικότητα χάρη στο Balanced View Control
    - Τέλεια όραση προς όλες τις κατευθύνσεις
    - Μεγάλη άνεση κατά την οδήγηση
    - Διαθεσιμότητα σε 11mm και 14mm κανάλι σύμφωνα με τις ανάγκες του σύγχρονου διοπτροφόρου
  - *HoyaluxID Work Style 200*
    - Ο πιο εξελιγμένος εργονομικά σχεδιασμένος φακός για υπολογιστή και κοντινές αποστάσεις ως 200cm
    - Ευρύτερο πεδίο αντίληψης αντικειμένων χωρίς παραμορφώσεις
    - Ευκρινής όραση που υπολογίζεται βάσει της οπτικής οξύτητας
    - Κατάλληλος για όλους τους εργασιακούς χώρους και επαγγέλματα όπως τεχνικοί υπολογιστών, οδοντίατροι, ηχολήπτες κ.τ.λ
  - *Hoyalux ID Work style 400*
    - Ο πιο εξελιγμένος εργονομικά σχεδιασμένος φακός για περιβάλλον γραφείου και ενδιάμεσες αποστάσεις ως 400cm
    - Ευρύτερο πεδίο αντίληψης αντικειμένων χωρίς περιφερειακές παραμορφώσεις
    - Μεγαλύτερη ακρίβεια και ελαστικότητα της όρασης σε βάθος και εύρος χώρου

- ο Κατάλληλος για το χώρο εργασίας, για το γραφείο, για διάβασμα και επαγγέλματα όπως σχεδιαστές, αρχιτέκτονες, σεφ κ.τ.λ

#### 4.2. AMVIS ( οργανικοί εξατομικευμένοι φακοί [www.amvis.gr](http://www.amvis.gr))

Η εταιρεία Amvis (Zeiss) μας προσφέρει φακούς μονοεστιακής και πολυεστιακής ισχύς με την τεχνολογία αυτή.

##### *Μονής όρασης*

##### Φακός Clarlet<sup>®</sup> Individual

Υψηλής τεχνολογίας εξατομικευμένος οργανικός φακός μονής όρασης, ο οποίος έρχεται να προσφέρει απόλυτη ευκρίνεια όρασης ακόμη και στις πιο απαιτητικές συνταγές.

Στον Clarlet<sup>®</sup> Individual οι εκτροπές υψηλής τάξης του φακού αξιολογούνται με την τεχνολογία κυματικού μετώπου, με στόχο τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του φακού για τη διασφάλιση άριστης οπτικής ποιότητας για το διοπτροφόρο.

Προσδιορίζοντας με ακρίβεια όλες τις προσωπικές παραμέτρους και τη διαδικασία βελτιστοποίησης, προσαρμοσμένη στις ανάγκες κάθε μεμονωμένου χρήστη, ο Clarlet<sup>®</sup> Individual εξασφαλίζει ένα βαθμό εξατομίκευσης που θα εντυπωσιάσει αμέσως τους διοπτροφόρους – εξατομίκευση που αποδεικνύεται από τη δυνατότητα ενσωμάτωσης προσωπικών εγχαράξεων πάνω στο φακό.

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό του φακού περιλαμβάνουν:

- Τη διακορική απόσταση
- Το ύψος εφαρμογής
- Την απόσταση Back Vertex
- Την παντοσκοπική γωνία
- Τις διαστάσεις του σκελετού
- Την καμπυλότητα/κλίση του σκελετού

Οι πληροφορίες που αντλούνται από τις παραπάνω προσωπικές παραμέτρους, σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση σε «πραγματικό χρόνο» και την τεχνολογία freeform, εγγυώνται μοναδική ποιότητα όρασης με τον Clarlet<sup>®</sup> Individual.

Ο Clarlet<sup>®</sup> Individual έρχεται να προσφέρει εξαιρετική όραση σε όλη την επιφάνεια και την περιφέρεια του φακού, ακόμη και σε συνταγές με υψηλό αστιγματισμό ή πρίσματα, ανώτερη οπτική ευκρίνεια και αντίληψη των χρωμάτων, άνετη όραση με ελαχιστοποίηση της οπτικής κόπωσης και φυσική ευαισθησία στο contrast.

Ιδανικός για όσους διοπτροφόρους αναζητούν κορυφαία οπτική απόδοση.

Διατίθενται σε:

- Clarlet 1.74 Individual
- Clarlet 1.67 Individual
- Clarlet 1.67 Individual Transitions
- Clarlet 1.6 Individual
- Clarlet 1.6 Individual Transitions
- Clarlet 1.6 Individual Pol
- Clarlet 1.5 Individual
- Clarlet 1.5 Individual Transitions
- Clarlet 1.5 Individual Pol

### *Πολυεστιακοί φακοί*

- Gradal gt2 3d

Νέας γενιάς πολυεστιακός φακός με ευρεία οπτικές ζώνες που διασφαλίζουν φυσική και ανεμπόδιστη τρισδιάστατη όραση, προσφέροντας μια νέα διάσταση στην αντίληψη του βάθους και του χώρου για τον χρήστη.

Χρησιμοποιώντας τεχνολογία freeform, μεταβλητή εσωκέντρωση, οριζόντια συμμετρία, ελέγχοντας τις εκτροπές υψηλής τάξης και βελτιστοποιώντας τη συνταγή σε «πραγματικό χρόνο» καθίσταται δυνατή η κατασκευή ενός φακού ο οποίος εξασφαλίζει 40% μεγαλύτερα πεδία όρασης σε σχέση με τους συμβατικούς πολυεστιακούς φακούς και γρήγορη και εύκολη προσαρμογή. Παράλληλα, μέσω της εναρμονισμένης ευθυγράμμισης των οπτικών διαδρομών των δύο ματιών διαμέσου των οπτικών ζωνών του πολυεστιακού φακού, ο GT2 3D προσφέρει άριστη διόφθαλμη και στερεοσκοπική όραση σε όλες τις αποστάσεις.

Ο GT2 3D διαθέτει 2 διαφορετικά μήκη προοδευτικού καναλιού (GT2 3D: ελάχιστο ύψος εφαρμογής 18mm & GT2 3D Short: ελάχιστο ύψος εφαρμογής 14mm), που μπορούν να ικανοποιήσουν πρακτικά οποιαδήποτε επιλογή σκελετού.

- Gradal plus

Νέας γενιάς πολυεστιακός φακός ο οποίος προσφέρει κορυφαία οπτική άνεση σε όλες τις αποστάσεις. Όπως κάθε πολυεστιακός φακός ZEISS, έτσι και ο Gradal Plus, ενσωματώνει το DNA του σχεδιασμού της ZEISS, το οποίο εγγυάται 100% άνεση κατά τη χρήση και άμεση προσαρμογή.

Χρησιμοποιώντας τεχνολογία FreeForm, μεταβλητή εσωκέντρωση, οριζόντια συμμετρία, ελέγχοντας τις εκτροπές υψηλής τάξης και βελτιστοποιώντας τη συνταγή σε «πραγματικό χρόνο» καθίσταται δυνατή η κατασκευή ενός φακού ο οποίος εξασφαλίζει 15% μεγαλύτερα πεδία όρασης σε σύγκριση με παραδοσιακούς πολυεστιακούς φακούς και συνεπώς βελτιωμένη οπτική άνεση.

Ο Gradal Plus διαθέτει 2 διαφορετικά μήκη προοδευτικού καναλιού (ελάχιστο ύψος εφαρμογής 18mm & 14mm), που μπορούν να ικανοποιήσουν πρακτικά οποιαδήποτε επιλογή σκελετού.

- Gradal classic

Η κορυφαία ποιότητα ZEISS σε ελκυστική τιμή. Νέος πολυεστιακός φακός κατασκευασμένος με τεχνολογία αιχμής Freeform, μεταβλητή εσωκέντρωση, οριζόντια συμμετρία και όπως πάντα το DNA του σχεδιασμού της ZEISS, ο οποίος προσφέρει 100% εγγύηση προσαρμογής και άνετη όραση σε όλες τις αποστάσεις.

Ο Gradal Classic διαθέτει 2 διαφορετικά μήκη προοδευτικού καναλιού (ελάχιστο ύψος εφαρμογής 18mm & 14mm), που μπορούν να ικανοποιήσουν πρακτικά οποιαδήποτε επιλογή σκελετού.

#### 4.3. Rodenstock (Κατάλογος εταιρείας)

##### *Μονοεστιακοί φακοί τεχνολογίας Freeform*

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Εξαιρετικά λεπτοί δίνουν απίστευτες δυνατότητες επιλογής σκελετού
- Κατασκευάζεται με βάση τη συνταγή και το επιθυμητό δυναμικό πεδίο όρασης

## I view sport

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Εξαιρετικά λεπτοί δίνουν απίστευτες δυνατότητες επιλογής σκελετού
- Κατασκευάζεται με βάση τη συνταγή και το επιθυμητό δυναμικό πεδίο όρασης
- Βάση 6-9 ειδικά για κουρμπέ σπορ γυαλιά

## I mono

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Κατασκευάζεται με βάση τη συνταγή του διοπτροφόρου
- Διευκολύνουν τα μάτια με φυσικό τρόπο, χαρίζοντας ξεκούραστη όραση από όλο το πεδίο του φακού

## *Πολυεστιακοί φακοί*

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με βάση τη συγκεκριμένη συνταγή του διοπτροφόρου και του συγκεκριμένου σκελετού

## Sport

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Σχεδιάζεται και κατασκευάζεται εξ αρχής με βάση τη συγκεκριμένη συνταγή του διοπτροφόρου και του συγκεκριμένου σκελετού
- Βάση 6-9 ειδικά για σπορ γυαλιά με καμπυλότητα

## i Office

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Κατασκευάζεται με βάση τη συνταγή και την επιθυμητή απόσταση που θέλει ο διοπτροφόρος
- Ιδανικά για κοντινές-μεσαίες αποστάσεις. Ειδικά για χρήση στο γραφείο

Το I office έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει ευρεία και ευκρινή όραση στη μεσαία και κοντινή απόσταση.

Για να δει καθαρά ο διοπτροφόρος στη μεσαία απόσταση (1 μέτρο) δεν χρειάζεται να έχει το κεφάλι σε άβολη θέση.

Για παράδειγμα, με το I office ο διοπτροφόρος βλέπει απευθείας την οθόνη του υπολογιστή, γιατί έχει ευρεία και ευκρινή όραση σε όλο το περιβάλλον του υπολογιστή. Είναι ο ιδανικός φακός για χρήση σε εσωτερικούς χώρους.

Χάρη στην free form τεχνολογία, υπάρχει η δυνατότητα να διαλέξει ο διοπτροφόρος την απόσταση μέχρι την οποία θέλει να βλέπει καθαρά. Έτσι, ένας διοπτροφόρος με 2.50 ADD μπορεί να διαλέξει αν θέλει να βλέπει καθαρά μέχρι τα 0,80m, τα 1,35m, ή τα 4m.

### I rest

- Νέα κατηγορία φακών που συγκεντρώνει όλες τις τελευταίες τεχνολογίες
- Κατασκευάζεται με βάση τη συνταγή
- Διευκολύνουν τα μάτια με φυσικό τρόπο, χαρίζοντας ξεκούραστη όραση ειδικά στον υπολογιστή
- Για διοπτροφόρους νέων ηλικιών- πριν το στάδιο της πρεσβυωπίας

#### 4.4. ΔΟΥΝΙΑΣ (Νέα οικογένεια φακών Iris με τη χρήση της νέας τεχνολογίας Free Form. Οπτικά νέα, τόμος 66. Σελ. 40-41)

Η εταιρεία ΔΟΥΝΙΑΣ παρουσιάζει τη νέα οικογένεια φακών Iris, που κατασκευάζονται με την νέα τεχνολογία Free form. Η ιδέα της τεχνολογίας free form βασίζεται στην κατασκευή του ατορικού φακού με γεωμετρία που αναπτύσσεται στη εσωτερική του επιφάνεια και επιτυγχάνει βέλτιστη όραση σε ολόκληρη την επιφάνεια του φακού και άριστο αισθητικό αποτέλεσμα. Οι προηγμένοι φακοί Iris , είναι επίτευξη της απόλυτης απόδοσης των διοπτριών με κριτήριο την απόλυτα φυσική όραση, και όχι πια ο καλύτερος δυνατός συμβιβασμός δεδομένων, όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς φακούς.

*Μονοεστικός φακός:*

#### Elegante Personalized φακός:

Με την εφαρμογή της free form τεχνολογίας στην κατασκευή των μονοεστιακών φακών μειώνονται οι αστιγματικές παραμορφώσεις των συμβατικών μονοεστιακών φακών και έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη οπτική και αισθητική ποιότητα. Επιπλέον με το “Personalization”, οι φακοί κατασκευάζονται για τις ανάγκες του κάθε χρήστη ξεχωριστά.

## Πολυεστιακοί φακοί:

- Persona personalized φακός:

Με το Personalization δίνεται η δυνατότητα κατασκευής του κάθε φακού με βάση τις απαιτήσεις και τις ιδιαιτερότητες του χρήστη (απόσταση κοντινής όρασης) και την επιλογή του σκελετού οράσεως (κανάλι εφαρμογής, ύψος, βάση, γωνία σκελετού). Έτσι, ο κάθε φακός έχει εξατομικευμένο σχεδιασμό και κατασκευάζεται με γνώμονα τις ανάγκες του κάθε πελάτη.

- Emphasis:

Οι πολυεστιακοί φακοί αποτελούν το βασικό πεδίο στο οποίο αναπτύσσεται η free form τεχνολογία. Αποτέλεσμα είναι η μείωση των πλευρικών παραμορφώσεων, η επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού πεδίου όρασης μακρινή, αλλά, και κοντινή απόσταση, και η άριστη απόδοση των εικόνων σε όλες αυτές τις αποστάσεις.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι οφθαλμικοί φακοί συνεισφέρουν αρκετά στον κλάδο της οπτικής, εξελίσσονται διαρκώς δίνοντας περισσότερες δυνατότητες στην όραση των διοπτροφόρων. Η εξέλιξη της κατασκευής των οφθαλμικών φακών και η παρουσία των νέων τεχνολογιών στον τομέα αυτό, όπως είναι οι εξατομικευμένοι φακοί έχουν βοηθήσει και έχουν αλλάξει τον τρόπο χρήσης και άνεσης των φακών του χρήστη. Η παρουσία της τεχνολογίας free form όσο αφορά τους μονοεστιακούς, αλλά και τους πολυεστιακούς φακούς προσφέρει στον χρήστη πολύ πιο καθαρή όραση χάρις την εξατομικευμένη κατασκευή των φακών αυτών σε σχέση με τους απλούς φακούς μονοεστιακής και πολυεστιακής κατασκευής. Είναι φακοί οι οποίοι είναι φτιαγμένοι αποκλειστικά με τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του κάθε χρήστη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Artal P et al (2001) *Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye, laboratorio de optica*, Universidad de muncia, campus de Espinardo (Edificio C), 30071 Murcia, Spain, 1(1):1-8

Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. (2001) *Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye*. J Vis 1:1-8

Guirao A, Porter J, Williams DR, Cox IG. 2002. *Calculated impact of higher-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes*. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 19:620-8

Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF. (1994) Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 11:1949-57

Liang J, Williams DR. (1997) *Aberrations and retinal image quality of the normal human eye*. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 14:2873-83

Molebny VV, Panagopoulou SI, Molebny SV, Wakil YS, Pallikaris IG. (2000) *Principles of ray tracing aberrometry*. J Refract Surg 16:S572-5

Moreno-Barriuso E, Marcos S, Navarro R, Burns SA. (2001) *Comparing laser ray tracing, the spatially resolved refractometer, and the Hartmann-Shack sensor to measure the ocular wave aberration*. Optom Vis Sci 78:152-6

Pallikaris IG, Panagopoulou (2009) SI, Molebny VV. (2000) *Clinical experience with the Tracey technology wavefront device*. J Refract Surg 16:S588-91

Thibos LN, Hong X, Bradley A, Cheng X. (2002) *Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes*. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 19:2329-48

Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, Webb R. (2002) Standards for reporting the optical aberrations of eyes. J Refract Surg 18:S652-60

Ασημέλλης Γ, Κατσούλος Κ, Καραγεωργιάδης Α, Μακρυνιώτη Δ, Βασιλείου Ν, Μουσαφειρόπουλος Θ, Μπαχάρης Κ. (2008) *Οπτική και Υπερόραση*. Δεύτερη Έκδοση. Αθήνα. Σύγχρονη Γνώση

Ασημέλλης Γ. (2006) *Μαθήματα Οπτικής*. Αθήνα. Σύγχρονη Γνώση

Δαμανάκης Α. (1999) *Διάθλαση*, Αθήνα. 2<sup>η</sup> Έκδοση, Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσα

Δεμεστίχα Α. (2010) *Η ποιότητα ειδώλου στη περιφέρεια μετά από διαθλαστικές επεμβάσεις και ο ρόλος τους στα οπτικά πεδία*, Ηράκλειο Κρήτης. Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Ζερβός Χ. (2008) *Μέτρηση και σύγκριση των εκτροπών υψηλής τάξης σε εμμέτρως νεαρής και πρεσβυωπικής ηλικίας*, Ηράκλειο Κρήτης. Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Ζευγώλης Δ. (2007) *Εφαρμοσμένη Οπτική*, Αθήνα. Β' Έκδοση, Τζιόλα,

Παλημέρης Γ. (1996) *Οπτική, Διάθλαση και Φακοί επαφής*, τόμος 3, American Academy of Ophthalmology, Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδης

Παπάζογλου Δ. (2011) *Οπτική και Όραση*, Ηράκλειο Κρήτη, Σημειώσεις μαθημάτων φυσικής Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Περδικάκης Ν. (ακαδημαϊκό έτος 2007-2008) *Μέτρηση και αξιολόγηση της δυναμικής προσαρμογής του οφθαλμού πριν και μετά από διαθλαστικές επεμβάσεις διόρθωσης μυωπίας με Excimer laser*, Ηράκλειο Κρήτης. Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Πλαΐνης Σ. (2005) *Οφθαλμικοί Φακοί-Φακοί Επαφής*, ΒΕΜΜΟ Οπτική και όραση

Ρούγγας Κ (2003) *Βασικές αρχές της οπτικής*, μάθημα προς τους ειδικευόμενους γιατρούς στην Οφθαλμολογία, Αθήνα

Τσιχλής Ν.( Ακαδημαϊκό έτος 2005-2006) *Η επίδραση των οφθαλμικών Εκτροπών Υψηλής Τάξης στην Κλινική Διάθλαση* , Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Χανδρινός Α. (2012) *Σημειώσεις Ιστορία & Οπτική Οφθαλμικών Φακών (Ασκήσεις Εργαστηρίου)*, Αθήνα. ΤΕΙ Αθηνών

Χανδρινός Α.*Διπλεστικά & Πολυεστικά Φακοί*. Δεύτερη Έκδοση, 4<sup>ος</sup> τόμος, Ιών

Φιλίππακη Ε. (2010) *Χαρτογράφηση Υψηλών εκτροπών σε μονοεστιακούς και πολυεστιακούς οφθαλμικούς φακούς*. Ηράκλειο Κρήτης. Μεταπτυχιακή Εργασία Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Οπτική & Όραση»

Σημειώσεις μαθημάτων φοίτησης μας στο Τει. *Τεχνολογία οφθαλμικών φακών θεωρία και εργαστήριο*