



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ
(SIDEPORT) ΣΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ
ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ**

ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΟΥ ΣΟΦΙΑ

ΟΦΘΑΛΜΙΑΤΡΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2018



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ
(SIDEPORT) ΣΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ
ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ**

**ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΟΥ ΣΟΦΙΑ
ΟΦΘΑΛΜΙΑΤΡΟΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2018

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2 (νομική κατοχύρωση του Ιατρικού Τμήματος)».

Ημερομηνία αίτησης της κ. Θεοδουλίδου Σοφίας: 17-5-2010

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: 693^α/21-9-2010

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων

Ασπρούδης Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη

Ασπιώτης Μιλτιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Καλογερόπουλος Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 12-11-2010

«Επίδραση της βοηθητικής τομής (siderport) στη διάθλαση του οφθαλμού μετά από επέμβαση καταρράκτη»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ 838^α/13-2-2018

Ασπιώτης Μιλτιάδης	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Ασπρούδης Ιωάννης	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Καλογερόπουλος Χρήστος	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Κίτσος Γεώργιος	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Στεφανιώτου Μαρία	Καθηγήτρια Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Καστανιουδάκης Ιωάννης	Αναπληρωτής Καθηγητής Ωτορινολαρυγγολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Κατσάνος Ανδρέας	Επίκουρος Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

ΑΝΑΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: 859^α/21-6-2018

Ασπρούδης Ιωάννης	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Καλογερόπουλος Χρήστος	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Κίτσος Γεώργιος	Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Κονιτσιώτης Σπυρίδων	Καθηγητής Νευρολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Στεφανιώτου Μαρία

Καθηγήτρια Οφθαλμολογίας του Τμήματος Ιατρικής του
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Καστανιουδάκης Ιωάννης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ωτορινολαρυγγολογίας του
Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Κατσάνος Ανδρέας

Επίκουρος Καθηγητής Οφθαλμολογίας του Τμήματος
Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 7-9-2018

ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Αννα Μπατιστάτου

Καθηγήτρια Παθολογικής Ανατομίας



Η Γραμματέας του Τμήματος

ΜΑΡΙΑ ΚΑΠΙΤΟΠΟΥΛΟΥ

«Όσο πιο σκληρά δουλεύω, τόσο πιο τυχερός γίνομαι»

Τόμας Τζέφερσον

Στη Δέσποινα, την Ελένη και τη Ρωζάνη....

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επέμβαση καταρράκτη μικρής τομής θεωρείται πλέον διαθλαστική επέμβαση, που στόχο έχει όχι μόνο την άμεση οπτική αποκατάσταση, αλλά και την εμμετροπία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των μηχανημάτων, τη χρήση νέας γενιάς αλγορίθμων στην προεγχειρητική βιομετρία, καθώς και με τη δημιουργία εξελιγμένων ενδοφακών, ο χειρουργός είναι σε θέση να διορθώσει πλήρως τη σφαιρική συνιστώσα του διαθλαστικού σφάλματος.

Ο αστιγματισμός επηρεάζει μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Στο μεγαλύτερο ποσοστό είναι ομαλός, διορθώνεται με γυαλιά ή με φακούς επαφής. Άλλες διαθλαστικές ανωμαλίες ή υψηλής τάξης εκτροπές διορθώνονται μερικώς ή πλήρως με ημίσκληρους φακούς επαφής ή με διαθλαστική επέμβαση. Στις περιπτώσεις του καταρρακτικού ασθενή ο αστιγματισμός μπορεί να προϋπάρχει ή να δημιουργηθεί μετά την επέμβαση καταρράκτη, κυρίως εξαιτίας των τομών που εφαρμόζονται. Αναλύοντας τον αστιγματισμό και τους παράγοντες που τον επηρεάζουν, μελετήσαμε τις αλλαγές που υφίσταται ο κερατοειδής μετά από την εφαρμογή των τομών και καταλήξαμε σε συμπεράσματα που αφορούν την ορθή προεγχειρητική μελέτη, συμπεριλαμβάνοντας μετρήσεις παραμέτρων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, αν θέλουμε να μειώσουμε τον προεγχειρητικό αστιγματισμό ή να μην τον επηρεάσουμε.

Η διατριβή αυτή εκπονήθηκε στην Οφθαλμολογική Κλινική της Ιατρικής Σχολής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, σε συνεργασία με την Οφθαλμολογική Κλινική του Γενικού Νοσοκομείου Πειραιά «Τζάνειο».

Κατ' αρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Οφθαλμολογίας κ. Ασπρούδη Ιωάννη για την ανάθεση του θέματος της Διατριβής, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή του καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης.

Ευχαριστώ τον καθηγητή Οφθαλμολογίας κ. Ασπίωτη Μιλτιάδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Οφθαλμολογίας, κ. Καλογερόπουλο Χρήστο για το ενδιαφέρον και τη βοήθειά του στη διεκπεραίωση αυτής της μελέτης.

Θερμά ευχαριστώ και τους οφθαλμιάτρους Παπαπαυλίδη Αχιλλέα, τους διευθυντές του Γ.Ν.Πειραιά «Γζάνειο» Κυριαζόπουλο Ιωάννη, Δημητρίου Ταξιάρχη και Τυραδέλλη Χαράλαμπο, καθώς και τον επιμελητή Α΄ Αθανασιάδη Αριστείδα, που με συμπαραστάθηκαν σε αυτή την προσπάθεια και των οποίων η βοήθεια ήταν καταλυτική.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού του ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας, Κυράτση Παναγιώτη για τη μεγάλη βοήθεια και καθοδήγησή του στο σχεδιασμό του κερατοειδικού μοντέλου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν με την υπομονή τους και με την παρουσία τους, τις στιγμές εκείνες που τους είχα περισσότερο ανάγκη. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους γονείς μου, καθώς και το σύζυγό μου, χωρίς τους οποίους δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω τη μελέτη αυτή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΣ	1
1.1 Ορισμός.....	1
1.2 Ιστορικά στοιχεία	3
1.3 Επιδημιολογία	3
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τον αστιγματισμό	3
1.4.1 Ηλικία	4
1.4.2 Κρυσταλλοειδής φακός	5
1.4.3 Βλέφαρα	6
1.4.4 Κερατοειδής	7
1.4.5 Μέγεθος κόρης	8
1.4.6 Προσαρμογή και σύγκλιση.....	8
1.4.7 Κυκλοστροφή και διόφθαλμη όραση	9
1.4.8 Δακρυϊκό φιλμ.....	10
1.4.9 Αμφιβληστροειδικός αστιγματισμός.....	10
1.4.10 Φύλο	11
1.4.11 Μετεγχειρητική εμφάνιση αστιγματισμού	11
1.4.12 Υπεξάρθρημα ενδοφακού.....	12
1.5 Ταξινόμηση	12
1.6 Συμπτώματα	14
1.7 Διάγνωση.....	15
2. ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ	17
2.1 Ανατομικά στοιχεία.....	17

2.2 Οπτικές ιδιότητες κερατοειδή	21
2.3 Νεύρωση κερατοειδή	21
2.4 Αγγείωση κερατοειδή.....	22
2.5 Εμβιομηχανική κερατοειδή.....	23
2.6 Προσομοίωση κερατοειδή.....	24
2.7 Αλλαγές στην εμβιομηχανική του κερατοειδή σε σχέση με την ηλικία	29
2.8 Αλλαγές στην εμβιομηχανική του κερατοειδή σε επέμβαση καταρράκτη	30
2.9 Ανώμαλος αστιγματισμός μετά επέμβαση καταρράκτη	33
3. ΤΟΜΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ.....	34
3.1 Ιστορικά στοιχεία	34
3.2 Επιδημιολογικά στοιχεία.....	34
3.3 Τομές και οφθαλμικές παράμετροι	35
3.3.1 Τομές επί του κυρτότερου άξονα (on-axis) και κατά ζεύγη αντίθετες τομές (opposite clear corneal incisions-OCCI's)	40
3.3.2 Τομές ανώτερες, κροταφικές, άνω-κροταφικές και ρινικές τομές.....	44
3.3.3 Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της εντόπισης της τομής.....	47
4. ΣΚΟΠΟΣ.....	51
<u>ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	
ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	53
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	57
1.0 Διάμετρος κερατοειδή ως παράγοντας επίδρασης του κερατοειδικού αστιγματισμού στην επέμβαση καταρράκτη	58

2.0 Η επίδραση της βοηθητικής τομής στον αστιγματισμό μετά από επέμβαση
καταρράκτη.....66

ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....82

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....91

ABSTRACT.....92

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ93

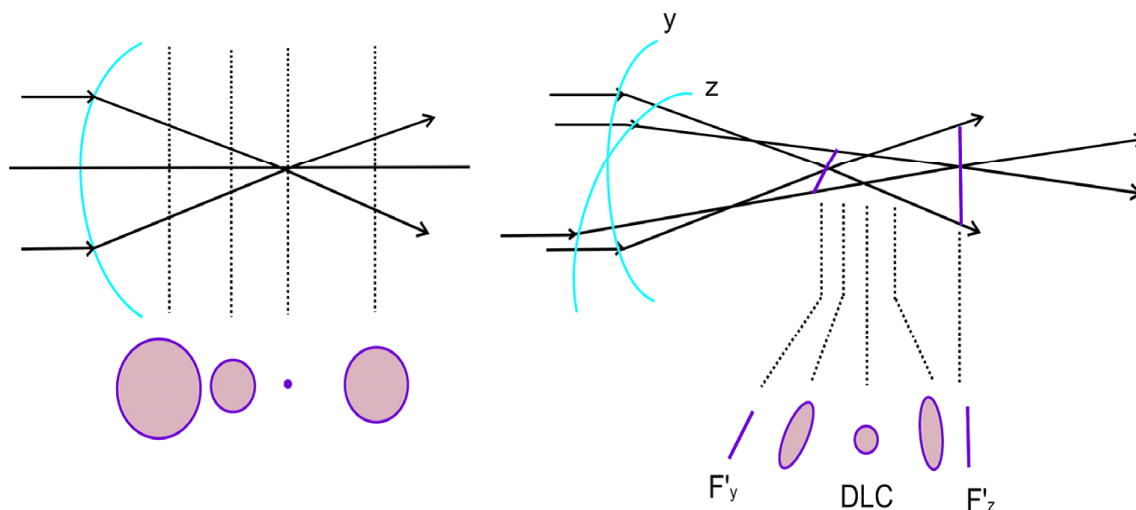
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΣ

1.1 Ορισμός

Πρόκειται για διαθλαστική ανωμαλία (αμετροπία), η οποία εμφανίζεται όταν παράλληλες ακτίνες φωτός εισερχόμενες σε οφθαλμό που δεν προσαρμόζει, δεν συγκλίνουν σε ένα εστιακό σημείο επί του αμφιβληστροειδή. Η διαθλαστική δύναμη του αστιγματικού ματιού δεν είναι ίδια σε όλους τους μεσημβρινούς με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η συγκέντρωση των εισερχόμενων στο μάτι φωτεινών ακτινών σε ένα σημείο.

Σε ένα εμμετρικό μάτι ή ένα μάτι με σφαιρική αμετροπία, οι ακτίνες του ειδώλου συγκλίνουν σε ένα σημείο. Σε ένα μάτι με ομαλό αστιγματισμό, το είδωλο ενός σημειακού αντικειμένου δεν είναι ένα σημείο, εξαιτίας των διαφορετικών διαθλαστικών δυνάμεων που αντιστοιχούν στους δυο κύριους άξονες. Σε αυτή την περίπτωση το είδωλο ενός σημείου είναι έλλειψη, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Αριστερά φαίνεται η διαμόρφωση του ειδώλου ενός εμμετρικού ματιού ή ενός ματιού με σφαιρική αμετροπία. Δεξιά απεικονίζεται η διαμόρφωση του ειδώλου σε ένα μάτι με «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμό. Οι κύριοι άξονες είναι οι y και z , η πρώτη και δεύτερη εστιακή γραμμή F'_y και F'_z και ο κύκλος της ελάχιστης σύγχυσης (disc of least confusion) DLC.

Οι κύριοι άξονες συμβολίζονται με y και z σε κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο άξονας με τη μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ είναι ο κάθετος (y) και η εστιακή γραμμή $F'y$. Αυτό σημαίνει ότι παράλληλες ακτίνες που περνάνε από τον κάθετο άξονα, συγκλίνουν σε ένα σημείο επί της εστιακής γραμμής, ενώ οι παράλληλες ακτίνες που περνάνε από το οριζόντιο επίπεδο συγκλίνουν στην εστιακή γραμμή $F'z$. Σε οποιαδήποτε απόσταση διαφορετική από αυτές τις δυο εστιακές γραμμές, η διασταύρωση των ακτίνων του ανακλώμενου αντικειμένου δημιουργούν μια έλλειψη, τον «κύκλο της ελάχιστης σύγχυσης». Η περιοχή ανάμεσα στις 2 εστιακές γραμμές λέγεται το κωνοειδές ή το διάστημα του Sturm. Τα χαρακτηριστικά αυτής της έλλειψης εξαρτώνται από το μέγεθος της κόρης και από τον τύπο του αστιγματισμού.¹

Ο αστιγματισμός συνήθως είναι συγγενής και οφείλεται σε απουσία συμμετρίας των οπτικών επιφανειών κυρίως του κερατοειδή και του κρυσταλλοειδή φακού. Ο κερατοειδής του φυσιολογικού οφθαλμού έχει ομοιόμορφη καμπυλότητα, με ίση διαθλαστική ισχύ σε όλη του την επιφάνεια. Μερικοί κερατοειδείς όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερη καμπυλότητα σε ένα επίπεδο (άξονα). Οι φωτεινές ακτίνες που διέρχονται από τέτοιους κερατοειδείς διαθλώνται, αλλά δεν εστιάζονται σε ένα σημείο, με αποτέλεσμα η αμφ/δική εικόνα αντικειμένων κοντινών ή μακρινών να είναι θολή ή επιμηκυσμένη (AAO, 2007).² Ο μεσημβρινός με τη μεγαλύτερη ακτίνα καμπυλότητας είναι λιγότερο κυρτός και έχει μικρότερη διαθλαστική δύναμη, ενώ ο μεσημβρινός με τη μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας είναι κυρτότερος και έχει μεγαλύτερη διαθλαστική δύναμη.

Ο οφθαλμικός αστιγματισμός εμφανίζεται ως αποτέλεσμα διαφορετικής καμπυλότητας μεταξύ των δυο κύριων μεσημβρινών (αξόνων) του πρόσθιου κερατοειδή και/ή του οπίσθιου κερατοειδή (κερατοειδικός αστιγματισμός), διαφορετικής καμπυλότητας της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας του κρυσταλλοειδή φακού, αποκέντρωση ή κλίση του φακού ή διαφορετικούς δείκτες διάθλασης στο εσωτερικό του φακού (εσωτερικός ή μη-κερατοειδικός αστιγματισμός). Ο συνδυασμός του κερατοειδικού και του εσωτερικού αστιγματισμού δίνει τον ολικό αστιγματισμό.³

1.2 Ιστορικά στοιχεία

Ο αστιγματισμός σαν ιδέα είναι τουλάχιστον 200 ετών, ενώ με την ονομασία του είναι γνωστός εδώ και 150 χρόνια. Ο Javal περιγράφει πρώτος την ιδέα του αστιγματισμού στον T. Young το 1800 και την ονομασία του στον W. Whewell,⁴ η οποία προέρχεται από το στερητικό γράμμα «α» και τη λέξη «στίγμα».

Το 1890 ο Javal πρότεινε ένα γενικό κανόνα υπολογισμού του ολικού αστιγματισμού του οφθαλμού βασιζόμενο στον κερατοειδικό αστιγματισμό.^{3,5}

Κανόνας του Javal:

$$A_t = k + p(A_c),$$

όπου A_t -ολικός αστιγματισμός

A_c -κερατοειδικός αστιγματισμός

k σταθερά=0,5

p σταθερά=1,25

Οι Grosvenor, Quintero, Perrigin⁶ και Keller⁷ απλοποίησαν τον κανόνα σε

$$A_t = A_c - 0,5$$

Οι παραπάνω εξισώσεις πλέον έχουν μικρή κλινική σημασία, αφού οι σημερινοί τοπογράφοι και αμπερρόμετρα (εκτροπόμετρα) μετρούν με ακρίβεια τον κερατοειδικό και εσωτερικό αστιγματισμό.

1.3 Επιδημιολογία

Αστιγματισμός >0,5 διοπτρίες αποτελεί το 13% του συνόλου των διαθλαστικών ανωμαλιών του ανθρώπινου οφθαλμού.^{3,8}

Ανάμεσα σε διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες υπάρχει διαφορετική εμφάνιση του μεγέθους και του τύπου του αστιγματισμού. Για παράδειγμα στη Γερμανία <1 διοπτρία αστιγματισμού εμφανίζει το 63,96% του πληθυσμού,⁹ ενώ στην Ταϊλάνδη $\geq 0,5$ και <1 διοπτρία σε 42,49% του πληθυσμού.¹⁰

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τον αστιγματισμό

Ο αστιγματισμός είναι ένα δυναμικό φαινόμενο και μπορεί να παρουσιάσει διακυμάνσεις όταν υπάρχουν αλλαγές στο σχήμα των οπτικών επιφανειών, στο δείκτη διάθλασης, στο

μέγεθος της κόρης, στις εξωφθάλμιες δομές (βλέφαρα και εξωφθάλμιοι μύες), στην προσαρμογή, στην κατάσταση του δακρυϊκού φιλμ και στη θέση του σώματος.

1.4.1 Ηλικία

Σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες υπάρχει συσχέτιση της εξέλιξης του αστιγματισμού με την ηλικία.¹¹⁻²⁰ Νεογνά ηλικίας 3 μηνών είχαν τουλάχιστον 1 διοπτρία αστιγματισμό, ο οποίος μειώθηκε ως την ηλικία των 18 μηνών.¹² Σε άλλη μελέτη βρέθηκε 1 διοπτρία αστιγματισμός σε 40% των νεογνών έως 3 μηνών, ενώ μέχρι τους 36 μήνες το ποσοστό αυτό μειωνόταν σε 4%. Η μείωση αυτή φαίνεται ότι οφείλεται στην μείωση της τορικότητας του κερατοειδή και της πρόσθιας επιφάνειας του κρυσταλλοειδή φακού.²¹

Η διαδικασία αυτή της αλλαγής του αστιγματισμού με την ηλικία φαίνεται ότι αποτελεί μέρος της φυσιολογικής διαδικασίας ωρίμανσης του οφθαλμού και της διαδικασίας «εμμετροποίησης».²² Επίσης ο υψηλός αστιγματισμός στην πρώιμη ηλικία προκαλεί και ενεργοποιεί την προσαρμογή.²³⁻²⁵

Ο «παρά τον κανόνα» αστιγματισμός είναι ο συχνότερος τύπος αστιγματισμού στους ενήλικες >40χρ. και ιδιαίτερα στους άντρες.²⁶ Ο μέσος ολικός αστιγματισμός αλλάζει από 0,62D «συμφώνως με τον κανόνα» στον ενήλικα σε 0,37D «παρά τον κανόνα» σε ηλικιωμένους. Από την εξέταση της πρόσθιας επιφάνειας και του κερατοειδή σαν σύνολο, οι περιπτώσεις με «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμό μειώνονται με την πάροδο της ηλικίας σε αντίθεση με τις περιπτώσεις με πλάγιο και «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό, οι οποίες αυξάνονται. Από την εξέταση της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή, η πλειοψηφία των περιπτώσεων παρουσίαζαν «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό σε όλες τις ηλικιακές ομάδες.

Οι Gudmundsdottir και συν. μελέτησαν την αλλαγή του αστιγματισμού στην πενταετία και βρήκαν αλλαγή σε «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό κατά 0,14 διοπτρίες σε άτομα ηλικίας άνω των 70 ετών.^{27,28} Η αύξηση του «παρά τον κανόνα» αστιγματισμού οφείλεται στην κύρτωση του κερατοειδή στον οριζόντιο μεσημβρινό που παρατηρείται σε ηλικιωμένους ανθρώπους.¹⁴ Στην Blue Mountains Eye Study η μέση τιμή της ισχύος του ολικού αστιγματισμού αυξάνεται με την ηλικία από 0,6 διοπτρίες σε 49-59χρ. σε 1,2 διοπτρίες σε 80-97χρ.¹³ Σε σχετική μελέτη καταγράφηκε αλλαγή στον ολικό

κερατοειδικό αστιγματισμό κατά μέσο όρο 1,6 διοπτρίες για κάθε 5 χρόνια αύξησης της ηλικίας.²⁵

Η μείωση της δράσης των εξωφθάλμιων μυών, ειδικά του έσω ορθού, η συναίρεση και ρευστοποίηση του υαλοειδούς, η μείωση του τόνου του σφιγκτήρα μυ και κατ'επέκταση η μείωση της ασκούμενης από το άνω βλέφαρο πίεσης που παρατηρούνται στους ηλικιωμένους μπορεί επίσης να συμβάλλουν σε αλλαγές του αστιγματισμού.^{29,30}

Αναφορικά με αλλαγές του σχήματος του κερατοειδή φάνηκε ότι ένας επίπεδος άξονας τείνει να έχει πιο κάθετη κατεύθυνση με την πάροδο της ηλικίας (0,0295 και 0,0224χιλιοστά/5ετία στην πρόσθια και οπίσθια επιφάνεια αντίστοιχα). Φάνηκε επίσης ότι η οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή τείνει να εξισορροπεί τον αστιγματισμό της πρόσθιας επιφάνειας σε 91,4% και 47,7% των ματιών σε ηλικίες 21-30 και ≥ 71 χρ. αντίστοιχα.²⁵

1.4.2 Κρυσταλλοειδής φακός

Η δημιουργία φακικού αστιγματισμού μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο της «εμμετροποίησης», αφού δραστικά μειώνει τον εμφανή κερατοειδικό αστιγματισμό τις πρώτες δεκαετίες της ζωής. Στις μεγαλύτερες ηλικίες ο φακικός αστιγματισμός εμφανίζεται ως «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό, οπότε και αντιρροπείται ο «συμφώνως με τον κανόνα» κερατοειδικός αστιγματισμός.^{15,31,32} Όταν σχετική κύρτωση στον κάθετο άξονα μετριάζεται, ο εσωτερικός φακικός «παρά τον κανόνα» αστιγματισμός θα εμφανιστεί.

Οι Shankar και Bobier εξέτασαν παιδιά προσχολικής ηλικίας ($51,1 \pm 8,4$ μηνών). Υπολόγισαν τον φακικό αστιγματισμό αφαιρώντας τον κερατοειδικό από τον ολικό διαθλαστικό αστιγματισμό. Αυτή η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη τον οπίσθιο κερατοειδικό αστιγματισμό. Από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης φάνηκε ότι το μέγεθος του ολικού και κερατοειδικού αστιγματισμού ήταν μεγαλύτερο σε άτομα με υψηλό αστιγματισμό, αλλά ο φακικός ήταν παρόμοιος και στις δυο περιπτώσεις. Με την βοήθεια της ανάλυσης Fourier φάνηκε ότι οι υψηλοί αστιγματικοί έχουν ιδιαίτερα χαμηλό φακικό J0 (συμφώνως ή παρά τον κανόνα αστιγματισμό) και υψηλό φακικό J45 (πλάγιο αστιγματισμό στους φυσιολογικούς αστιγματικούς. Και στις δυο ομάδες υψηλού και χαμηλού αστιγματισμού είχαν μεγαλύτερο κερατοειδικό και όχι ολικό αστιγματισμό,

έτσι ώστε η φακική συνιστώσα (και ουσιαστικά και η οπίσθια κερατοειδική επιφάνεια) εξυπηρετούν στη μείωση της αστιγματικής δράσης της πρόσθιας κερατοειδικής επιφάνειας.³³

Η σκλήρυνση του κρυσταλλοειδή φακού και η αλλαγή στο δείκτη διάθλασης του φακού σε μεγαλύτερες ηλικίες συμβάλλουν στην εμφάνιση του μυωπικού αστιγματισμού.³⁴ Έχουν αναφερθεί περιστατικά δημιουργίας καταρράκτη και εμφάνισης φακικού αστιγματισμού μέχρι και 12 διοπτρίες, ενώ σε άλλη περίπτωση σε διάστημα 20 μηνών αλλαγή του αστιγματισμού από 0,25 διοπτρίες σε 5 διοπτρίες και μείωση του αστιγματισμού σε 0,25 διοπτρίες μετά την αφαίρεση του καταρρακτικού φακού.³⁵⁻³⁷

Η επίδραση του φακού στον οφθαλμικό αστιγματισμό είναι σχετικά σταθερή στη διάρκεια της ζωής.³⁸

Σε περιπτώσεις όμως τραυμάτων (πχ. διατιτραίνοντα τραύματα του σκληρού/κερατοειδή) μπορεί να εμφανιστούν πτυχές στο πρόσθιο/οπίσθιο περιφάκιο ή υπεξάρθρημα φακού, και αυτό με τη σειρά του να οδηγήσει στην εμφάνιση διαφόρου βαθμού αστιγματισμού ανάλογα με την περίπτωση.^{39,40}

1.4.3 Βλέφαρα

Αλλαγές στο μέγεθος και τον άξονα του αστιγματισμού παρατηρούνται επίσης και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στην πίεση των βλεφάρων, στην τάση των εξωφθάλμιων μυών, το μέγεθος της κόρης και την προσαρμογή. Σε διάφορες μελέτες έχουν καταγραφεί διακυμάνσεις στα μέτωπα κύματος και στην ασφαιρικότητα του κερατοειδή με τη βοήθεια της τοπογραφίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.^{41,42} Ο κερατοειδής έχει το επιπεδότερο σχήμα κατά την αφύπνιση και κυρτώνει ελαφρά μέχρι το απόγευμα.⁴³

Ακόμη πολλοί ερευνητές παρατήρησαν παροδική αμφοτερόπλευρη μονόφθαλμη διπλωπία μετά από κοντινή εργασία.⁴⁴⁻⁴⁷ Στην κοντινή όραση ο συνδυασμός της προς τα κάτω βλεμματικής κίνησης, όπου τα κεντρικά δχιλ. του κερατοειδή πιέζονται από το κάτω βλέφαρο, και της συνεχούς δράσης του έσω ορθού, επιδρούν στον κερατοειδή αυξάνοντας την ακτίνα καμπυλότητας στον οριζόντιο μεσημβρινό με αποτέλεσμα στροφή σε «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό.⁴⁸⁻⁵⁰ Οι Buehrlen και συν. κατέγραψαν αλλαγή της τορικότητας του κερατοειδή μετά από διάβασμα με τη βοήθεια των πολωνύμων του

Zernike σε «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό.⁵¹ Σύμφωνα με τα παραπάνω εξεταζόμενος θα πρέπει να αποφεύγει το διάβασμα 30 λεπτά τουλάχιστον πριν τη διαθλαστική ή τοπογραφική εκτίμηση.

Επίσης αλλαγές στον αστιγματισμό παρατηρούνται και ανάλογα με την προς τα πάνω ή προς τα κάτω κλίση της βλεφαρικής σχισμής.³ Οι άντρες παρουσιάζουν μεγαλύτερη κλίση προς τα κάτω, ενώ οι γυναίκες προς τα πάνω,⁵² ενώ άτομα με σύνδρομο Down ή Treacher Collins παρουσιάζουν πλάγιο αστιγματισμό.⁵³⁻⁵⁵

Παχύτερα ή σφιχτότερα βλέφαρα, χαρακτηριστικά δηλαδή των Ασιατών και των αυτοχθόνων Αμερικανών, έχουν την τάση να συνδέονται με μεγαλύτερους βαθμούς αστιγματισμού.⁵⁶ Επίσης ο «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμός μειώνεται όταν τα βλέφαρα απομακρύνονται από τον κερατοειδή.⁵⁷

1.4.4 Κερατοειδής

Ο κερατοειδής είναι μια φυσική δομή που προσλαμβάνει το σχήμα της υπό την επίδραση εσωτερικά ασκούμενης πίεσης. Οποιαδήποτε αλλαγή της δομής του κερατοειδή ιατρογενής ή όχι, αποτελεί πιθανή αιτία αλλαγής του σχήματος και των οπτικών ιδιοτήτων του κερατοειδή.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το μεγαλύτερο μέρος του ολικού αστιγματισμού οφείλεται στην τορικότητα της επιφάνειας του κερατοειδή.^{25,58}

Η ελαστικότητα/πλαστικότητα ως χαρακτηριστικά του κερατοειδή επηρεάζουν τον αστιγματισμό αλλάζοντας τη συμπεριφορά του κερατοειδή στα εξωτερικά ερεθίσματα. Σε περιπτώσεις διατροφικής ανεπάρκειας μειώνεται η ελαστικότητα του κερατοειδή και προκαλείται επιπέδωση του οριζόντιου άξονα, ενώ ταυτόχρονα κυρτώνει ο κάθετος.⁵⁹

Εκφυλιστικές διαταραχές του κερατοειδή, όπως κερατόκωνος, pellucid marginal degeneration, Terrien's marginal degeneration, κερατόσφαιρα, ή διαταραχές που σχετίζονται με φλεγμονή και νέκρωση όπως η περιφερική ελκωτική κερατίτιδα και το έλκος Mooren, καθώς και ιατρογενής κερατεκτασία μετά από διαθλαστικό laser αποτελούν παράγοντες λέπτυνσης του κερατοειδή. Όλοι αυτοί οι παράγοντες σχετίζονται με ομαλό ή ανώμαλο αστιγματισμό που κυμαίνεται από χαμηλό μέχρι υψηλό αστιγματισμό.^{60,61}

1.4.5 Μέγεθος κόρης

Η κόρη είναι το σημείο εισόδου του φωτός στον οφθαλμό. Υπάρχει μια φυσιολογική προς τα έξω απόκλιση του κέντρου της κόρης σε σχέση με τον οπτικό άξονα. Αυτή η φυσιολογική ασυμμετρία έχει περιγραφεί ως «κόμα». Το μέγεθος της κόρης και η θέση της σε σχέση με τον οπτικό άξονα αλλάζουν είτε λόγω φαρμάκων, είτε λόγω συνθηκών φωτισμού, συναισθηματικής φόρτισης ή προσαρμογής.^{57,62,63}

Μεγαλύτερο μέγεθος μεσοπικής κόρης εντοπίζεται σε περιπτώσεις υψηλού αστιγματισμού και είναι συνήθως «συμφώνως με τον κανόνα».⁶⁴

Οι μεγαλύτερου μεγέθους κόρες-σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού- αυξάνουν της υψηλής τάξης εκτροπές, όπως το κόμα, καθώς και την ισχύ του κυλίνδρου στην υποκειμενική/αντικειμενική διάθλαση. Το κόμα έχει φανεί ότι σχετίζεται με μεγαλύτερο αστιγματισμό.⁶⁵

Αντίθετα η προσαρμοστική κορική μύση μειώνει τις υψηλής τάξης εκτροπές, συμπεριλαμβανομένου και του φακικού αστιγματισμού.⁶⁶

Η οπτική οξύτητα είναι μειωμένη στον αδιόρθωτο αστιγματισμό. Η όραση σε αυτές τις περιπτώσεις εξαρτάται από το μέγεθος του αστιγματισμού και το μέγεθος της κόρης. Σε μια μελέτη που έγινε με περιπτώσεις οφθαλμών με 1, 2 και 3 διοπτρίες αστιγματισμού βρέθηκε ότι παρουσίαζαν μη διορθωμένη οπτική οξύτητα μετρημένη με logMAR $0,04\pm 0,08$, $0,09\pm 0,09$ και $0,16\pm 0,16$ για κόρη διαμέτρου 1 χιλιοστού, $-0,01\pm 0,09$, $0,12\pm 0,15$ και $0,33\pm 0,24$ για 2 χιλιοστά και $0,02\pm 0,09$, $0,20\pm 0,19$ και $0,46\pm 0,30$ για 3 χιλιοστά, $0,02\pm 0,08$, $0,24\pm 0,20$ και $0,48\pm 0,21$ για 4 χιλιοστά και $0,08\pm 0,10$, $0,33\pm 0,18$ και $0,53\pm 0,22$ για 5 χιλιοστά αντίστοιχα. Οι διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων ήταν στατιστικά σημαντικές. Τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονταν από τον τύπο του αστιγματισμού.⁶⁷

1.4.6 Προσαρμογή και σύγκλιση

Ο Brzezinski το 1982 εισήγαγε τον όρο «προσαρμοστικός αστιγματισμός» και υποστήριξε ότι αλλαγές στον φακικό αστιγματισμό μπορούν να εξουδετερώσουν τον κερατοειδικό αστιγματισμό και να μειώσουν στο σύνολό της την τορικότητα του ματιού,⁶⁸ ενώ άλλοι ερευνητές υποστήριζαν ότι όσο αυξάνεται η προσαρμογή αυξάνεται και ο αστιγματισμός.^{69,70} Σύμφωνα με τον Brzezinski ο προσαρμοστικός αστιγματισμός

σχετίζεται με διαταραχή του φακού λόγω ανομοιογενούς ελαστικότητας, ανομοιομόρφης σύσπασης του ακτινωτού και των εξωφθάλμιων μυών κατά τη διάρκεια της σύγκλισης. Αυτό μπορεί να εξηγήσει την 'lag of accommodation', το φαινόμενο δηλαδή μικρότερης προσαρμοστικής απάντησης από το ερέθισμα στον οριζόντιο άξονα και την εμφάνιση «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμού.

Η μύση της κόρης συμβάλλει σε παρόμοιες αλλαγές. Σε μια μελέτη φάνηκε ότι όλα τα εμμετρωπικά υποκείμενα γίνονταν αστιγματικά κατά τη διάρκεια της προσαρμογής, 93% «συμφώνως με τον κανόνα» (μέση τιμή -1,96διοπτρίες). Τα μάτια επέστρεφαν στην εμμετρωπική τους κατάσταση αμέσως μετά τη χαλάρωση της προσαρμογής.^{71,72}

1.4.7 Κυκλοστροφή και διόφθαλμη όραση

Υπάρχει μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση ανάμεσα στην προσαρμογή, την στροφική επικέντρωση και τον αστιγματισμό,^{73,74} συμβάλλοντας στη «σύγχυση» και την αντίληψη του βάθους πεδίου.⁷⁵

Η κυκλοστροφή γύρω από τον Z άξονα τροποποιεί τον άξονα του οφθαλμικού αστιγματισμού σε σχέση με τον εξωτερικό περιβάλλον.

Σε μονόφθαλμη εστίαση παρατηρείται φυσιολογική κυκλοστροφή για παράδειγμα σε περιπτώσεις αλλαγής της θέσης σώματος από καθιστή σε ύπτια θέση.⁷⁶⁻⁸² Κυκλοστροφή παρατηρείται επίσης σε αλλαγή από διόφθαλμη σε μονόφθαλμη όραση, ειδικά σε αυτούς που παρουσιάζουν κυκλοφορία.⁷⁷ Οι αλλαγές αυτές είναι μεγάλης κλινικής σημασίας όταν κάποιος εξετάζεται σε καθιστή θέση, αλλά υφίσταται διαθλαστική επέμβαση σε κεκλιμένη θέση. Αρκετές μελέτες έδειξαν σημαντική προς τα έξω ή προς τα έσω στροφή περίπου 2-4° (το μέγιστο 9-14°) ως αποτέλεσμα αλλαγής της θέσης από καθιστή σε ύπτια,⁸⁰⁻⁸³ ενώ σε άλλες μελέτες η αλλαγή του άξονα είναι ασήμαντη μικρότερη των 2° και ελάχιστα επηρεάζει τον αστιγματισμό.^{76,84} Πολλοί υποστηρίζουν ότι αλλαγή του άξονα κατά 4° κατά τη διάρκεια laser φωτεκτομής, όπου οι απαιτήσεις ακρίβειας είναι μεγαλύτερες, μπορεί να οδηγήσει σε 14% υποδιόρθωση του κυλίνδρου.^{82,83}

Στις επεμβάσεις καταρράκτη οι απαιτήσεις για ακρίβεια στην εφαρμογή των τομών είναι μικρότερες. Παρ'όλα αυτά αν υπάρχει κακή επικέντρωση κατά 30°, η επιπέδωση στον επιθυμητό άξονα μειώνεται στο μισό, ενώ το υπόλοιπο της ασκούμενης δράσης προκαλεί κλίση του άξονα. Αν το λάθος επικέντρωσης της τομής είναι 45° δεν υπάρχει καθόλου

επιπέδωση και η μόνη δύναμη που ασκείται στον κερατοειδή προκαλεί κλίση, ενώ σε περιπτώσεις $>45^\circ$ παρατηρείται αντίθετα επιπλέον κύρτωση του ήδη κυρτού άξονα.⁸⁵

1.4.8 Δακρυϊκό φιλμ

Όταν το φως περνά από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον στον κερατοειδή ο δείκτης διάθλασης αλλάζει από 1,003 που είναι του αέρα σε 1,33 που είναι του δακρυϊκού φιλμ. Η δακρυϊκή στιβάδα έχει δείκτη διάθλασης παρόμοιο με αυτό του κερατοειδή (1,33 και 1,376 αντίστοιχα). Η αλλαγή αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στη διαθλαστική ισχύ της πρόσθιας οφθαλμικής επιφάνειας.⁸⁶

Το άνω βλέφαρο ασκεί πίεση στον κερατοειδή και δάκρυ συσσωρεύεται στο κάτω βλεφαρικό χείλος. Ο συνδυασμός αυτός προκαλεί εκτροπή (κάθετο κόμα), η οποία εμφανίζεται ως κύλινδρος.⁸⁷

Η επίδραση του δακρυϊκού φιλμ επιβεβαιώνεται και από τις μικροδιακυμάνσεις στον αστιγματισμό και τις εκτροπές υψηλής τάξης που καταγράφονται κατά τη διάρκεια βλεφαρισμού, με τη βοήθεια υψηλής ταχύτητας βιντεοκερατοσκοπιών.⁸⁷⁻⁹²

Οι Zhu και συν. κατέγραψαν αύξηση της οφθαλμικής επιφάνειας στον υψομετρικό χάρτη κατά 2χιλ. το πρώτο μισό δευτερόλεπτο μετά από βλεφαρισμό στον άνω κερατοειδή στην τοπογραφία.⁹³

Σε άλλη μελέτη ανώμαλος αστιγματισμός προκαλείται από διάσπαση της δακρυϊκής στιβάδας, με αποτέλεσμα σημαντική αύξηση των εκτροπών κόμα, σφαιρική και υψηλής τάξης εκτροπές.⁹⁰

Έτσι λοιπόν συνιστάται η μέτρηση του αστιγματισμού και των εκτροπών σε διαθλαστικές επεμβάσεις να γίνεται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, 1 έως 4 δευτερόλεπτα, μετά το βλεφαρισμό.^{87,93-95}

1.4.9 Αμφιβληστροειδικός αστιγματισμός

Οι Mitchell και συν. πρότειναν ως άλλο παράγοντα αστιγματισμού, την κατεύθυνση των φωτοϋποδοχέων. Με άλλα λόγια τα λειτουργικά αμφ/δικά στοιχεία μπορεί να είναι πυκνότερα ή παχύτερα σε κάποιο άξονα σε σχέση με άλλο άξονα.^{96,97}

Οι Flüeler και Guyton έκαναν μια προσομοίωση κεκλιμένου αμφ/δή και παρατήρησαν την εμφάνιση κάποιου βαθμού αστιγματισμού.⁹⁸

Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί λόγω της ανομοιόμορφης επιμήκυνσης του σκληρού σε διαφορετικό άξονα κατά τη διάρκεια της αύξησης του αξονικού μήκους.

1.4.10 Φύλο

Οι Goto και συν. μελετώντας την καμπυλότητα του κερατοειδή σε νεαρούς άνδρες και γυναίκες δεν βρήκαν διαφορές, όμως σε ηλικίες μεγαλύτερες των 50 ετών υπήρχαν διαφορές. 81,1% των μεγαλύτερης ηλικίας ανδρών είχαν «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό και 18,9% «συμφώνως με τον κανόνα» ή καθόλου αστιγματισμό. Οι μεγαλύτερης ηλικίας γυναίκες παρουσίαζαν 22,5% «παρά τον κανόνα» και 77,5% «συμφώνως με τον κανόνα» ή καθόλου αστιγματισμό. Οι διαφορές μεταξύ των δυο φύλων ήταν στατιστικά σημαντικές.⁹⁹

1.4.11 Μετεγχειρητική εμφάνιση αστιγματισμού

Η διατιτραίνουσα κερατοπλαστική είναι η επέμβαση με το μεγαλύτερο μήκος τομής, όπου ο κερατοειδής από δότη συγκρατείται στο δέκτη με ράμματα. Η συνηθέστερη επιπλοκή μετά από μια τέτοια επέμβαση είναι ο αστιγματισμός, που μπορεί να κυμαίνεται από 4,2 έως 3,9 διοπτρίες 2 και 8 χρόνια μετά την επέμβαση αντίστοιχα. Στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για ανώμαλο αστιγματισμό.¹⁰⁰

Η διαθλαστικές επεμβάσεις στόχο έχουν να μειώσουν τα διαθλαστικά λάθη, συμπεριλαμβανομένου και του αστιγματισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις αστιγματισμός προκαλείται μόνο σε έδαφος επιπλοκών δι- ή μετεγχειρητικά. Έτσι λοιπόν κεντρικές νησίδες, εκτασίες και αποκεντρωμένη φωτεκτομή μπορεί να προκαλέσουν ομαλό ή ανώμαλο αστιγματισμό.¹⁰¹

Επίσης μερικές τεχνικές τομών μπορεί να προκαλέσουν αστιγματισμό, υπό- ή υπερδιορθώνοντας τον. Η ακτινωτή κερατοτομή που σκοπό έχει να διορθώσει το σφαίρωμα, μπορεί να προκαλέσει αστάθεια στον περιφερικό κερατοειδή. Οι Waring και συν στη μελέτη τους αναφέρουν ότι σε 10% των ασθενών που υποβλήθηκαν σε ακτινωτή κερατοτομή αυξήθηκε ο αστιγματισμός >1 διοπτρία.¹⁰³

Η επέμβαση του καταρράκτη είναι η πλέον συχνή διαθλαστική επέμβαση. Στην εξωπεριφακική αφαίρεση καταρράκτη εκτελείται τομή 12-14 χιλιοστών στο

σκληροκερατοειδές όριο (ΣΚΟ), ενώ στη φακοθρυψία εκτελείται τομή 3,2 χιλιοστών χωρίς ένθεση ράμματος.

1.4.12 Υπεξάρθρημα ενδοφακού

Η κλίση ή η αλλαγή θέσης (εκκέντρωση) του ενδοφακού μπορεί να αποτελούν αιτία μετεγχειρητικής εμφάνισης αστιγματισμού και να απαιτείται η επανατοποθέτηση ή συρραφή του ενδοφακού για τη διόρθωσή του.¹⁰⁴

Τραύματα επίσης μπορεί να προκαλέσουν την εμφάνιση αστιγματισμού. Σε μελέτη που έγινε σε περιπτώσεις αμβλύς τραύματος του οφθαλμού βρέθηκε ότι το 14% των οφθαλμών εμφάνισε 1,75-3,6 διοπτρίες αστιγματισμό, ενώ το 7% των περιπτώσεων σχετίστηκε με υπεξάρθρημα φακού. Σύμφωνα με τη μελέτη μικρά και σκληρά αντικείμενα προκαλούν συχνότερα αστιγματισμό.¹⁰⁴

1.5 Ταξινόμηση

Ο ολικός αστιγματισμός μπορεί να χωριστεί σε κερατοειδικό (ή κερατομετρικό) αστιγματισμό, φακικό και αμφιβληστροειδικό αστιγματισμό. Στο μεγαλύτερό του μέρος ο αστιγματισμός είναι κερατοειδικός. Ο φακικός είναι αποτέλεσμα διαφορετικής καμπυλότητας και διαφορετικών δεικτών διάθλασης εσωτερικά του κρυσταλλοειδή φακού.¹⁰⁵

Στην κλινική πράξη θεωρείται ότι ο αστιγματισμός μιας επιφάνειας μπορεί να εξουδετερώνει τον αστιγματισμό άλλης επιφάνειας. Έτσι ο φακός τείνει να εξισορροπεί τον μέτριο κερατοειδικό αστιγματισμό. Παρόλα αυτά ο βαθμός εξισορρόπησης μεταξύ φακού και κερατοειδή είναι διαφορετικός σε διαφορετικά άτομα και εξαρτάται από την ηλικία.^{106,107}

Ο αστιγματισμός μπορεί να είναι συγγενής ή επίκτητος. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να οφείλεται σε τραύμα, σε επέμβαση ή δευτεροπαθώς σε ορισμένες παθολογικές καταστάσεις.¹⁰⁸

Ο κερατοειδικός αστιγματισμός περιγράφεται ως ομαλός και ανώμαλος. Στον ομαλό αστιγματισμό, που είναι και η συνηθέστερη μορφή, ο κερατοειδής παρομοιάζεται με μπάλα του ράγκμπυ, η οποία στέκεται στο άκρο ή στην πλευρά της. Οι δυο κύριοι άξονες, με τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη ισχύ, απέχουν μεταξύ τους πάντα 90°, η καλύτερα

διορθωμένη οπτική οξύτητα φτάνει τα 10/10 και μπορεί να διορθωθεί με εφαρμογή κυλινδρικού φακού σε γυαλιά, με τορικό φακό επαφής ή με τορικό ενδοφθάλμιο φακό. Στην περίπτωση του κερατοειδικού αστιγματισμού η τοπογραφία εμφανίζει μια συμμετρική «κλεψύδρα» ή «παπιγιόν».^{2,108,109}

Οι κύριοι μεσημβρινοί (άξονες) του αστιγματισμού με τη μέγιστη και την ελάχιστη καμπυλότητα είναι κάθετοι μεταξύ τους. Ο κερατοειδικός αστιγματισμός ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονά του χωρίζεται σε «συμφώνως με τον κανόνα» (WTR-with the rule) αστιγματισμό (όταν ο άξονας με τη μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ/με τη μικρότερη καμπυλότητα σε χιλιοστά εντοπίζεται στις 90° (60-120°)), σε «παρά τον κανόνα» (ATR-against the rule) αστιγματισμό (όταν ο άξονας με η μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ/με τη μικρότερη καμπυλότητα σε χιλιοστά εντοπίζεται στις 180° (0-30° ή 150-180°)) και σε πλάγιο (όταν ο άξονας με τη μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ εντοπίζεται μεταξύ 30-60° ή 120-150°).

Επίσης ο ομαλός αστιγματισμός ανάλογα με το σημείο εστίασης των δυο αξόνων χωρίζεται στις κατηγορίες που φαίνονται στο πίνακα 1.

Αστιγματισμός

Απλός μυωπικός: ο ένας άξονας εστιάζει το φως μπροστά από τον αμφ/δή, ενώ ο άλλος επί του αμφ/δή

Απλός υπερμετρωπικός: ο ένας άξονας εστιάζει το φως επί του αμφ/δή και ο άλλος θεωρητικά πίσω από τον αμφ/δή

Σύνθετος μυωπικός: και οι δυο άξονες εστιάζουν το φως μπροστά από τον αμφ/δή

Σύνθετος υπερμετρωπικός: και οι δυο άξονες εστιάζουν το φως θεωρητικά πίσω από τον αμφ/δή

Μικτός αστιγματισμός: ο ένας άξονας εστιάζει το φως μπροστά από τον αμφ/δή και ο άλλος πίσω από τον αμφ/δή.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση του αστιγματισμού ανάλογα με το σημείο εστίασης.

Ο ανώμαλος αστιγματισμός μπορεί να είναι ομαλώς ανώμαλος ή ανωμάλως ανώμαλος. Στον ομαλό ανώμαλο αστιγματισμό, οι κύριοι μεσημβρινοί υπάρχουν, αλλά είναι είτε σε διαφορετική των 90° απόσταση μεταξύ τους ή εμφανίζουν στην τοπογραφία άνιση κλειψύδρα (με διαφορετικού μεγέθους σκέλη ή με διαφορετική γωνία μεταξύ των σκελών ή συνδυασμός των δυο).¹¹⁰

Ο Duke-Elder¹¹¹ το 1970 έδωσε τον παρακάτω ορισμό για τον ανωμάλως ανώμαλο αστιγματισμό. Πρόκειται για διαθλαστική κατάσταση, στην οποία η διάθλαση στους διαφορετικούς μεσημβρινούς δεν υπακούει σε κανένα γεωμετρικό επίπεδο και οι διαθλώμενες ακτίνες δεν παρουσιάζουν συμμετρία. Επίσης ορίζεται ως αστιγματική κατάσταση μη διορθούμενη με σφαιρο-κυλινδρικό φακό.¹¹²

Σε ανώμαλο αστιγματισμό που είναι κλινικά σημαντικός σε καταστάσεις όπως κερατόκωνος ή άλλες εκτασίες κερατοειδή, σε δυστροφίες της βασικής μεμβράνης ή του στρώματος, σε ουλοποίηση κερατοειδή μετά από τραύμα ή φλεγμονές ή μετά από επεμβάσεις όπως διατιτραίνουσα κερατοπλαστική, ακτινωτή κερατοτομή, επιπλεγμένη επέμβαση καταρράκτη, αφαίρεση πτερυγίου, αστιγματική κερατοτομή, LASIK, PRK, το μέγεθος του αστιγματισμού παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις από σημείο σε σημείο στην κεντρική περιοχή εισόδου στην κόρη.^{2,113,114} Σε τέτοιες περιπτώσεις η τοπογραφία δεν μπορεί να παρουσιάσει ομαλή εικόνα και ο κερατοειδής περιγράφεται ως ανώμαλος ή τραχύς.¹¹⁰ Χαρακτηριστική είναι η μειωμένη οπτική οξύτητα, η οποία δεν επιδέχεται διόρθωση, παρά μόνο με σκληρούς ή ημίσκληρους φακούς επαφής.

Το 2006 οι Read και συν. παρουσίασαν μελέτη βασιζόμενοι σε τοπογραφία σύμφωνα με την οποία ο αστιγματισμός ταξινομείται με βάση τις αλλαγές στον περιφερικό κερατοειδή, σε σταθερό, αυξανόμενο ή μειούμενο στην περιφέρεια του κερατοειδή.¹¹⁵

1.6 Συμπτώματα

Το συχνότερο σύμπτωμα είναι διαταραχή και το θάμβος όρασης σε όλες τις αποστάσεις. Τα αντικείμενα εμφανίζονται επιμυκησμένα καθέτως, οριζοντίως ή διαγωνίως ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα του αστιγματισμού, οι κύκλοι φαίνονται ωοειδείς και τα φώτα παρουσιάζουν ακτίνες. Κοπιωπία, φωτοφοβία, μονόφθαλμη διπλωπία, δυσχέρεια

νυχτερινής οδήγησης, διαταραχές οπτικού πεδίου είναι άλλα συμπτώματα που συναντώνται σε άτομα με αστιγματισμό.¹¹⁶

Οι Wiggins και συν.¹¹⁷ μελέτησαν την όραση σε περιπτώσεις μικρού μεγέθους αστιγματισμού. Οι εθελοντές φόρεσαν μαλακούς φακούς επαφής με υποδιόρθωση αφήνοντας υπολειπόμενο 0,5 και 1 διοπτρία αστιγματισμό σε κάθε μάτι (μέση τιμή 0,68 διοπτρίες). Εξετάστηκαν τότε είτε με γυαλί με πλήρη διόρθωση είτε χωρίς διόρθωση (γυαλί ελέγχου=0,12 διοπτρίες). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων φάνηκε μεγαλύτερη δυσφορία στην όραση με το γυαλί ελέγχου.

1.7 Διάγνωση

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων για την εκτίμηση του αστιγματισμού αρκούν η διάθλαση (αντικειμενική, υποκειμενική), η κερατομετρία και η εξέταση στη σχισμοειδή λυχνία για ανίχνευση τυχόν ανωμαλιών στον κερατοειδή και το φακό.^{118,119}

Με την κερατομετρία μπορούμε να μετρήσουμε την διοπτρική ισχύ του κερατοειδή. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να μετρηθεί η καμπυλότητα μόνο της πρόσθιας επιφάνειας του κερατοειδή. Παρέχει αντικειμενική και ποιοτική μέτρηση του κερατοειδικού αστιγματισμού, ενώ η μέτρηση αφορά τέσσερα σημεία στα κεντρικά 3χιλ. του κερατοειδή και δεν παρέχει πληροφορίες για τα υπόλοιπα σημεία ή την περιφέρεια του κερατοειδή. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η μέτρηση επηρεάζεται από την ποιότητα του δακρυϊκού φιλμ και ότι βασίζεται στη ιδέα ότι ο κερατοειδής είναι μια σφαιροκυλινδρική επιφάνεια με μια ακτίνα καμπυλότητα σε κάθε μεσημβρινό και με τους δυο κύριους άξονες σε απόσταση πάντα 90° μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν η κερατομετρία αφορά κερατοειδείς οι οποίοι δεν παρουσιάζουν κάποια παθολογία ή ανωμαλία (κερατόκωνο, μετά διαθλαστική επέμβαση).¹²⁰

Σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητος περαιτέρω έλεγχος εκτός των παραπάνω χρειάζεται σκιασκοπία (για ανίχνευση π.χ. της αντανάκλασης «ψαλιδιού» σε κερατόκωνο), τοπογραφία, παχυμετρία, ανάλυση μετώπου κύματος (καταγράφει τη διαθλαστική κατάσταση του οφθαλμού σε όλη τη διαδρομή του φωτός στον οφθαλμό).

Η σκιασκοπία είναι μια άλλη μέθοδος μέτρησης του σφαιροκυλινδρικού διαθλαστικού λάθους, ενώ ταυτόχρονα μας δίνει εικόνα για το αν ο αστιγματισμός είναι ομαλός ή ανώμαλος. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης τοποθετούνται φακοί σφαιρικοί και

κυλινδρικοί μπροστά από τον εξεταζόμενο οφθαλμό μέχρι να μην υπάρχει κίνηση της αμφ/δικής αντανάκλασης σε σχέση με την κίνηση του σκιασκοπίου. Οποιαδήποτε ανωμαλία παραμένει στη μορφολογία της αντανάκλασης μετά την εξουδετέρωση με τους φακούς πρόκειται για εκτροπές υψηλής τάξης.

Υπάρχουν δυο είδη τοπογραφίας. Η τοπογραφία που χρησιμοποιεί τη μέθοδο ανακλάσεως (placido disc) και η τοπογραφία που χρησιμοποιεί τη μέθοδο προβολής (scheimpflug camera). Και στις δυο περιπτώσεις δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης και εκτίμησης του κερατοειδή σε περιπτώσεις διαθλαστικής χειρουργικής, κερατοειδικών δυστροφιών, κερατοπλαστικής, διερεύνησης αιτίων χαμηλής όρασης αγνώστου αιτιολογίας, εφαρμογής φακών επαφής. Η οπίσθια κερατοειδική επιφάνεια μπορεί να εξετασθεί μόνο με τη βοήθεια της περιστρεφόμενης scheimpflug κάμερας (Pentacam).

Ο δίσκος Placido αποτελείται από πολλούς συγκεντρικούς φωτεινούς δακτυλίους, οι οποίοι αντανάκλωνται επί του κερατοειδή. Από το μέγεθος και το σχήμα αυτών των αντανάκλασεων, τη μεταξύ τους απόσταση και με τη βοήθεια υπολογιστικών συστημάτων δημιουργείται ένα έγχρωμο χάρτη, όπου καταγράφονται η καμπυλότητα του κερατοειδή σε χιλιάδες σημεία. Μερικοί τοπογράφοι παρέχουν πληροφορίες για την ισχύ και την κατεύθυνση του κυρτότερου και του επιπεδότερου άξονα στην οπτική ζώνη των 3 χιλιοστών με το δείκτη προσομοίωση της κερατομετρίας (SimK-simulated keratometry).

Η γραφική αναπαράσταση του αστιγματισμού στην τοπογραφία περιγράφεται ως μια ομοιόμορφη σφαιρική επιφάνεια όταν δεν υπάρχει καθόλου αστιγματισμός, με συμμετρική κλεψύδρα όταν έχουμε ομαλό αστιγματισμό. Μπορεί επίσης να περιγραφεί ως ανώτερη κύρτωση, κατώτερη κύρτωση ή ασύμμετρη κλεψύδρα με παραμορφωμένους άξονες σε ανώμαλο αστιγματισμό.

Στην τοπογραφία με τη μέθοδο προβολής χρησιμοποιείται μια scheimpflug κάμερα, η οποία συλλέγει στοιχεία από πολλαπλές τομές σάρωσης του κερατοειδή και δίνει εικόνα της πρόσθιας αλλά και της οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή, καθώς και πληροφορίες για τον πρόσθιο θάλαμο. Γίνεται τρισδιάστατη απεικόνιση των επιφανειών του κερατοειδή και υπολογίζεται η διαθλαστική ισχύς όλου του κερατοειδή. Πρόκειται ουσιαστικά για κερατοειδική τομογραφία.

Ο αναλυτής μετώπου κύματος και ο αμφ/δικός ιχνηλάτης. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των χαμηλής και υψηλής τάξης εκτροπών όλου του οφθαλμού. Πρόκειται ουσιαστικά για μελέτη του σχήματος των φωτεινών ακτίνων όπως αυτές εισέρχονται στον οφθαλμό και επηρεάζονται από τα οπτικά μέσα του οφθαλμού. Το ιδανικό οπτικό σύστημα χωρίς εκτροπές θα έδινε ένα επίπεδο μέτωπο κύματος. Οποιαδήποτε εκτροπή διαταράσσει το σχήμα του μετώπου κύματος. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μέτρησης αυτού του κύματος. Στην εκτροπομετρία Hartmann-Shack (εκτροπομετρία εκπομπής-outgoing aberrometry) ένα σημειακό φως πέφτει στον αμφ/δή και το αντανακλώμενο φως καταγράφεται. Στην αμπερομετρία Tscherning το εισερχόμενο φως περνάει μέσα από μια επιφάνεια με οπές πριν εισέλθει στο μάτι. Ως αποτέλεσμα επί του αμφ/δή αποτυπώνεται το σύνολο των κηλίδων φωτός με μια υψηλής μεγέθυνσης κάμερα και υπολογίζεται το σχήμα του μετώπου κύματος. Μια άλλη παρόμοια μέθοδος είναι το αμφ/δικό raytracing όπου μια ακτίνα λέιζερ σκανάρει τον αμφ/δή σε όλη την επιφάνεια της κόρης. Σε κάθε θέση της ακτίνας λέιζερ, μετριέται το μέγεθος της απόκλισης και από εκεί μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της εκτροπής.

2. ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗΣ

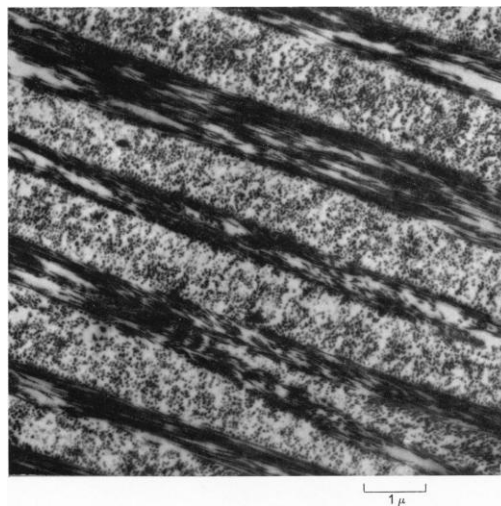
2.1 Ανατομικά στοιχεία

Στην ανατομία του οφθαλμού διακρίνονται τρεις στιβάδες. Μια εξωτερική ινώδης στιβάδα, η μέση χοριοειδική στιβάδα και η στιβάδα του νευροαμφιβληστροειδή. Ο κερατοειδής αποτελεί τμήμα του εξωτερικού ινώδους ιστού του οφθαλμού (το 1/6 της εξωτερικής στιβάδας, ενώ ο σκληρός τα υπόλοιπα 5/6), αποτελεί τη συνέχεια προς τα εμπρός του σκληρού, είναι διαφανής και επιτρέπει την είσοδο των οπτικών ερεθισμάτων από το περιβάλλον στον οφθαλμό. Ο κερατοειδής συναντά τον αδιαφανή σκληρό στο ΣΚΟ. Ιστολογικά διακρίνονται 5 στιβάδες: το επιθήλιο, η μεμβράνη του Bowman, το στρώμα (90% του κερατοειδή), το ενδοθήλιο και η δεσκεμέτειος μεμβράνη.

Στη εξελικτική διαδικασία της όρασης ο κερατοειδής απέκτησε ανατομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τέτοια που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της όρασης. Είναι ανάγγειος, οξυγονώνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της πρόσθιας κερατοειδικής επιφάνειας και λαμβάνει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά από το υδατοειδές υγρό

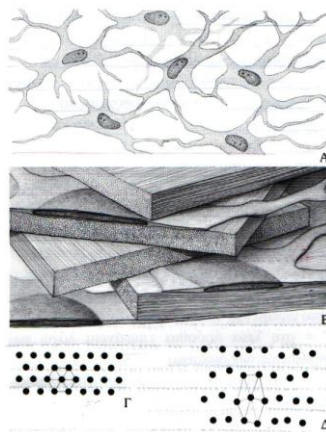
μέσω της οπίσθιας κερατοειδικής επιφάνειας. Οι γειτονικοί δακρυϊκοί αδένες και ο επιπεφυκότας λειτουργούν επικουρικά στην προστατευτική και οπτική λειτουργία του κερατοειδή εκκρίνοντας ουσίες, οι οποίες διασπείρονται με το βλεφαρισμό και συμβάλλουν στη διατήρηση λείας πρόσθιας κερατοειδικής επιφάνειας.

Οι μηχανικές του ιδιότητες βοηθούν στη διατήρηση του σχήματος του οφθαλμού στη διάθλαση του εισερχόμενου στο μάτι φωτός, ενώ παράλληλα αποτελεί αδιαπέραστο όριο ανάμεσα στο μάτι και στο περιβάλλον. Η μηχανική ανθεκτικότητα του κερατοειδή προέρχεται από τις κολλαγόνες ίνες (κολλαγόνο τύπου I), οι οποίες όμως είναι διαφορετικές από αυτές του δέρματος ή του σκληρού χιτώνα, αφού διαθέτουν μηχανισμούς ρύθμισης της ενυδάτωσης για τη διατήρηση της κερατοειδικής διαφάνειας. Έχουν διάμετρο 25-35μm, σχηματίζουν αποπλατυσμένες δεσμίδες τα πετάλια, 200-300 σε ολόκληρο το στρώμα. Κάθε δεσμίδα περιέχει ευθεία κολλαγόνα ινίδια, τα οποία είναι παράλληλα στην επιφάνεια του κερατοειδή και διατηρούν μεταξύ τους καθορισμένη απόσταση (εικόνα 1). Οι δεσμίδες διασταυρώνονται μεταξύ τους, αλλά κάθε δεσμίδα, όπως και τα κολλαγόνα ινίδια που την συνθέτουν, διατρέχει από άκρη σε άκρη ολόκληρο τον κερατοειδή. Τα κερατοκύτταρα βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στις δεσμίδες και σπάνια μέσα στις δεσμίδες. Παράγουν τα συστατικά του στρώματος. Η θεμέλια ουσία περιέχει πρωτεογλυκάνες που συμβάλλουν στη διατήρηση των κανονικών αποστάσεων μεταξύ των κολλαγόνων ινιδίων και τη σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό του στρώματος.



Εικόνα 1. Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο στρώματος κερατοειδή χελώνας, όπου διακρίνεται η παράλληλη κατεύθυνση των κολλαγόνων ινών στις δεσμίδες.

Η κανονικότητα της διάταξης των κολλαγόνων ινιδίων στο στρώμα και η διατήρηση της απόστασης μεταξύ τους συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της διάχυσης του φωτός και στη διαφάνεια του κερατοειδή. Ο Maurice εξήγησε τη διαφάνεια του κερατοειδή βασιζόμενος σε αυτή την ίση απόσταση μεταξύ των ινιδίων (εικόνα 2). Τα πετάλια του στρώματος σχηματίζουν τρισδιάστατη διάταξη παραθλαστικών κυγκλιδωμάτων, τα οποία διαχέουν τις ακτίνες φωτός που περνούν μέσα από ένα τέτοιο σύστημα και αλληλοεπηρεάζονται με οργανωμένο τρόπο με αποτέλεσμα τον περιορισμό της διάχυσης του φωτός με ανααιρετική αλληλεπίδραση. Οι βλεννοπρωτεΐνες, οι γλυκοπρωτεΐνες και άλλα συστατικά της θεμέλιας ουσίας είναι υπεύθυνα για τη διατήρηση της ορθής θέσης των ινιδίων. Αν η διάμετρος ή η απόσταση μεταξύ των κολλαγόνων ινών στο στρώμα του κερατοειδή γίνει ετερογενής (π.χ. σε ίνωση ή οίδημα), τυχαίες φωτεινές ακτίνες σκεδάζονται τυχαία και ο κερατοειδής χάνει τη διαφάνειά του.



Εικόνα 2. Απεικόνιση κερατοειδή βασισμένη στο μοντέλο του Maurice

Το ενδοθήλιο και η δεσκεμέτειος μεμβράνη ρυθμίζουν την κατάσταση ενυδάτωσης του στρώματος, ενώ το επιθήλιο και η μεμβράνη του Bowman προσφέρουν προστασία από εξωτερικούς παράγοντες.

Έτσι λοιπόν η διαφάνεια του κερατοειδή οφείλεται κυρίως στην ειδική διάταξη των κυττάρων και των κολλαγόνων ινών μέσα σε μια θεμέλια ουσία από όξιους βλεννοπολυσακχαρίτες, στην απουσία αγγείων και στην κατάσταση σχετικής

αφυδάτωσης του κερατοειδή. Ο υγιής κερατοειδής δεν είναι τελείως διαφανής. Σκεδάζει περίπου το 10% του εισερχόμενου φωτός από το στρώμα.

Το σχήμα και η καμπυλότητα του κερατοειδή οφείλονται στην εξωτερική επίδραση του περιβάλλοντος και στην ιδιαίτερη εσωτερική «βιομηχανική» κατασκευή του. Το πρόσθιο κερατοειδικό στρώμα χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ακαμψία, ιδιαίτερα σημαντικό στη διατήρηση του κερατοειδικού σχήματος.¹²¹

Οι διαφορές στην οργάνωση των κολλαγόνων ινών στο πρόσθιο στρώμα συμβάλλουν σε μεγαλύτερη συνεκτική ισχύ της περιοχής, εξηγώντας την μεγαλύτερη αντίσταση σε αλλαγή στην καμπυλότητα του πρόσθιου στρώματος σε περιπτώσεις οιδήματος στρώματος, σε σύγκριση με το οπίσθιο στρώμα, το οποίο παρουσιάζει ευκολότερα πτυχές. Επίσης το οίδημα του κερατοειδή φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την απάντηση του κερατοειδή σε ασκούμενες δυνάμεις τάσης και σχάσης.¹²²

Παρ'όλο που ο κερατοειδής φαίνεται κυκλωτερής από την εσωτερική επιφάνεια, είναι ωοειδής εξωτερικά, λόγω του προτεταμένου ΣΚΟ πάνω και κάτω. Ο μέσος όρος διαμέτρου του κερατοειδή είναι 12,6mm οριζόντια και 11,7mm κάθετα.

Η πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδή δεν είναι ομοιόμορφα καμπύλη. Τα κεντρικά 3 χιλ. του κερατοειδή ονομάζονται οπτική ζώνη και είναι σχεδόν σφαιρική. Η μέση ακτίνα καμπυλότητας κεντρικά στην πρόσθια επιφάνεια είναι 7,8mm. Η καμπυλότητα του κερατοειδή έχει μέγιστη ισχύ κεντρικά στην κορυφή του κερατοειδή (43-44 D), ίση με τα 2/3 της ολικής διοπτρικής ισχύος του οφθαλμού. Ο περιφερικός κερατοειδής επιπεδώνεται περισσότερο ρινικά και λιγότερο κροταφικά. Η οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή είναι πιο σφαιρική από την πρόσθια. Ο κεντρικός κερατοειδής είναι λεπτότερος (520μm) σε σχέση με την περιφέρεια (≥650μm).

Η γεωγραφία του κερατοειδή χωρίζεται σε 4 ζώνες από την κορυφή στο ΣΚΟ οι οποίες εύκολα διαφοροποιούνται στην χρωματική βιντεοκερατοσκόπηση:

1. η κεντρική ζώνη (κεντρικά 4mm) εντοπίζεται μπροστά από την κόρη και είναι υπεύθυνη για την όραση υψηλής ευκρίνειας. Το κεντρικό τμήμα είναι σχεδόν σφαιρικό και ονομάζεται κορυφή.
2. η παρακεντρική ζώνη, το σημείο που ο κερατοειδής αρχίζει να επιπεδώνεται
3. η περιφερική ζώνη
4. η ζώνη του ΣΚΟ.

Η πρόσθια κερατοειδική επιφάνεια καλύπτεται από το δακρυϊκό φιλμ και η οπίσθια επιφάνεια βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υδατοειδές υγρό. Λόγω της υψηλής αγγείωσης του ΣΚΟ, θεωρείται ότι υπάρχουν στην περιοχή πολυδύναμα βλαστικά κύτταρα και αποτελούν τη ζώνη μετάβασης ανάμεσα στο σκληρό και τον κερατοειδή. Η πρόσθια κερατοειδική επιφάνεια είναι καμπύλη και ασφαιρική προς τα κάτω.¹²³

2.2 Οπτικές ιδιότητες κερατοειδή

Οι οπτικές ιδιότητες του κερατοειδή καθορίζονται από τη διαφάνεια, την ομαλότητα της επιφάνειας, το σχήμα και το δείκτη διάθλασης του ιστού.¹²⁴

Δεδομένου του γεγονότος ότι η σφαιροκυλινδρική επιφάνεια του κερατοειδή έχει άξονες με μέγιστη και ελάχιστη ισχύ, αλλαγές στην επιφάνεια του κερατοειδή (π.χ. ουλοποίηση, λέπτυνση, κερατόκωνος ή μετά από διαθλαστική επέμβαση) θέτουν την επιφάνεια του κερατοειδή ως ομαλώς ή ανωμάλως αστιγματική.

Ο ολικός δείκτης διάθλασης του κερατοειδή αποτελεί το σύνολο της διαθλαστικής ισχύος της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας, καθώς και τις ιδιότητες μετάδοσης του φωτός διαμέσου του ιστού. Οι δείκτες διάθλασης των αέρα, δακρυϊκό φιλμ, κερατοειδικός ιστός και υδατοειδές υγρό είναι 1,000, 1,336, 1,376 και 1,336 αντίστοιχα. Η διαθλαστική ισχύς μιας καμπύλης επιφάνειας καθορίζεται από το δείκτη διάθλασης και την ακτίνα καμπυλότητας. Η διαθλαστική ισχύς του κεντρικού κερατοειδή είναι περίπου + 43 D, αποτέλεσμα του συνόλου της διαθλαστικής ισχύος των επιφανειών αέρας-δακρυϊκό φιλμ (+44 D), δακρυϊκό φιλμ-κερατοειδής (+5 D) και κερατοειδής-υδατοειδές (-6 D). Τα περισσότερα μηχανήματα κερατομετρίας και τοπογραφίας λαμβάνουν υπόψη ένα στάνταρ δείκτη διάθλασης για τον κερατοειδή 1,3375.

2.3 Νεύρωση κερατοειδή

Για την προστασία του ο κερατοειδής διαθέτει ένα πλούσιο δίκτυο αισθητικών νεύρων, σημαντικό τόσο για την αίσθηση του πόνου, όσο και για την επούλωση σε περιπτώσεις βλάβης. Ουσιαστικά πρόκειται για ελεύθερες νευρικές απολήξεις, αφού η παρουσία ειδικών υποδοχέων θα επηρέαζε την κερατοειδική διαφάνεια. Η πυκνότητα των νευρικών απολήξεων είναι περίπου 300 με 400 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το δέρμα.^{125,126}

Τα περισσότερα από τα αισθητικά νεύρα του κερατοειδή προέρχονται από τα ακτινωτά νεύρα του οφθαλμικού κλάδου του τριδύμου. Οι νευρικές ίνες διεισδύουν στις εν τω βάθει στιβάδες του στρώματος του κερατοειδή ακτινωτά και κατόπιν κατευθύνονται προς τα εμπρός σχηματίζοντας ένα τελικό υποεπιθηλιακό δίκτυο.¹²⁷

Οι νευρικές ίνες χάνουν τη μυελίνη τους σε μικρή απόσταση από το σημείο εισόδου στον κερατοειδή, διεισδύουν στη στιβάδα του Bowman και καταλήγουν στο επίπεδο των φτερωτών κυττάρων του επιθηλίου. Απόπτωση του επιφανειακού επιθηλίου έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση των νευρικών απολήξεων και επακόλουθο οφθαλμικό πόνο. Η διάμετρος των νευρικών ινών είναι σχετικά μεγάλη στην περιφέρεια.¹²⁶

Ιστοχημικές μελέτες αποκάλυψαν την παρουσία διαφόρων νευροδιαβιβαστών. Ο κερατοειδής περιλαμβάνει πεπτιδεργικές, συμπαθητικές και παρασυμπαθητικές νευρικές ίνες. Η καταστροφή ή δυσλειτουργία των αισθητικών νεύρων (κλάδων του τριδύμου) έχει ως αποτέλεσμα καθυστερημένη επούλωση και δημιουργία νευροτροφικού έλκους.

2.4 Αγγείωση κερατοειδή

Παρά το γεγονός ότι ο φυσιολογικός κερατοειδής δεν περιέχει αγγεία, παράγοντες που προέρχονται από το αίμα παίζουν σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό και την επούλωση του κερατοειδή. Η πρόσθια ακτινωτή αρτηρία, η οποία προέρχεται από την οφθαλμική, δημιουργεί μια αγγειακή αρκάδα στην περιοχή του ΣΚΟ, η οποία αναστομώνει με αγγεία προερχόμενα από τον προσωπικό κλάδο της έξω καρωτιδικής αρτηρίας. Σε παθολογικές καταστάσεις, νεοαγγεία διεισδύουν στο διαφανές κερατοειδικό στρώμα από το ΣΚΟ, με αποτέλεσμα απώλεια της διαφάνειας του κερατοειδή.

2.5 Εμβιομηχανική κερατοειδή

Οι διαφορές στα ιστολογικά στοιχεία του στρώματος του κερατοειδή καθορίζουν την ισχύ του. Το στρώμα θεωρείται η στιβάδα με τη μεγαλύτερη επίδραση στη μηχανική του κερατοειδή σε περιπτώσεις τραυμάτων, ή επεμβάσεων.¹²⁸ Το στρώμα του σκληρού και του κερατοειδή αποτελείται κυρίως από τύπου I κολλαγόνο. Το σκληρικό στρώμα είναι αδιαφανές λόγω των ανοργάνωτων κολλαγόνων ινών, ενώ ο κερατοειδής είναι διαφανής λόγω της οργάνωσης των κολλαγόνων ινών. Η μετάβαση στο οργανωμένο στρώμα γίνεται στην περιοχή του ΣΚΟ, όπου οι κολλαγόνες ίνες αλλάζουν από περιφερική κυκλοτερή κατεύθυνση σε κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση στον κεντρικό κερατοειδή.^{129,130}

Έχει φανεί ότι σε κερατοειδείς δοτών η μέση συνεκτική ισχύς που απαιτείται για το διαχωρισμό των κολλαγόνων ινών στην περιφέρεια είναι διπλάσια από αυτή στον κεντρικό κερατοειδή. Αυτό πιστεύεται ότι οφείλεται στην αποδιοργάνωση (άτακτη οργάνωση) των περιφερικών ινών.¹³¹ Επίσης σε κάποιες μελέτες τομών στην επέμβαση του καταρράκτη αναφέρεται μεγαλύτερη αντίσταση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των τομών όταν αυτές εφαρμόζονται στο ΣΚΟ σε σχέση με τον κερατοειδή.^{132,133}

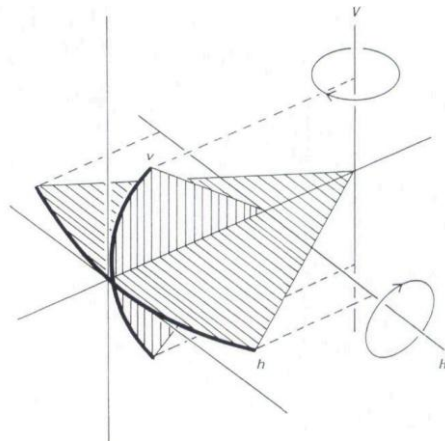
Στον κεντρικό κερατοειδή στο σημείο που αντιστοιχεί στην κόρη οι κολλαγόνες ίνες διασταυρώνονται σε πυκνότερη διάταξη όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Αυτό είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της βιομηχανική σταθερότητας και ανθεκτικότητας του κερατοειδή, έτσι ώστε να εξισορροπηθεί το μικρότερο πάχος του κεντρικού κερατοειδή.¹³⁴

Σε μελέτες που αφορούσαν την εφαρμογή cross-linking σε κερατοκωνικούς κερατοειδείς, όπου αυξάνονται οι διασταυρώσεις των κολλαγόνων ινών και η διάμετρός τους, φάνηκε ότι οι αλλαγές αυτές συνοδεύονταν και από αύξηση της σταθερότητας του κερατοειδή.^{135,136} Όταν υπάρχει βλάβη στο στρώμα, η αναπλήρωση γίνεται με ιστό που διαφέρει από τον ιστό του στρώματος. Τα ινίδια δεν έχουν τη συνήθη οργάνωση και δημιουργείται ουλή.

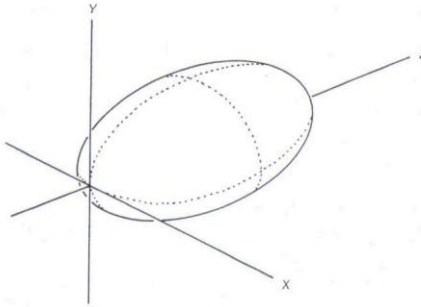
2.6 Προσομοίωση κερατοειδή

Τα πρώτα συστήματα σχεδιομελέτης ήταν συστήματα δύο διαστάσεων-2D τα οποία ήταν κατάλληλα μόνο για σχεδίαση. Στο σύστημα των δύο διαστάσεων ο χρήστης σχεδιάζει τις όψεις του αντικειμένου, όπως θα τις σχεδίαζε και σε ένα φύλλο χαρτί.

Η πιο απλή επιφάνεια που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μοντέλο κερατοειδή είναι η σφαίρα, αλλά δεν είναι επαρκές αφού δεν εμφανίζει τορικότητα ή ασφαιρικότητα. Η τορικότητα χαρακτηρίζει τις τορικές επιφάνειες και η ασφαιρικότητα τις ελλειψοειδείς επιφάνειες. Η σύνθεση των δυο επιφανειών δίνει την ελλειψοτορική επιφάνεια κατάλληλη για μοντελοποίηση του κερατοειδή. Η τορική επιφάνεια δημιουργείται αν περιστρέψουμε ένα κυκλωτέρες τόξο γύρω από τον άξονά του, ενώ η ελλειψοειδής επιφάνεια δημιουργείται από τη συμπίεση ή την επιμήκυνση ενός κύκλου (εικόνα 3 και 4). Η σύνθεση αυτών των 2 τύπων επιφάνειας μπορούν να δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία μοντέλου κερατοειδή. Η ελλειψοτορική επιφάνεια δημιουργείται από την επιμήκυνση ή τη συμπίεση μιας τορικής επιφάνειας.^{137,138}

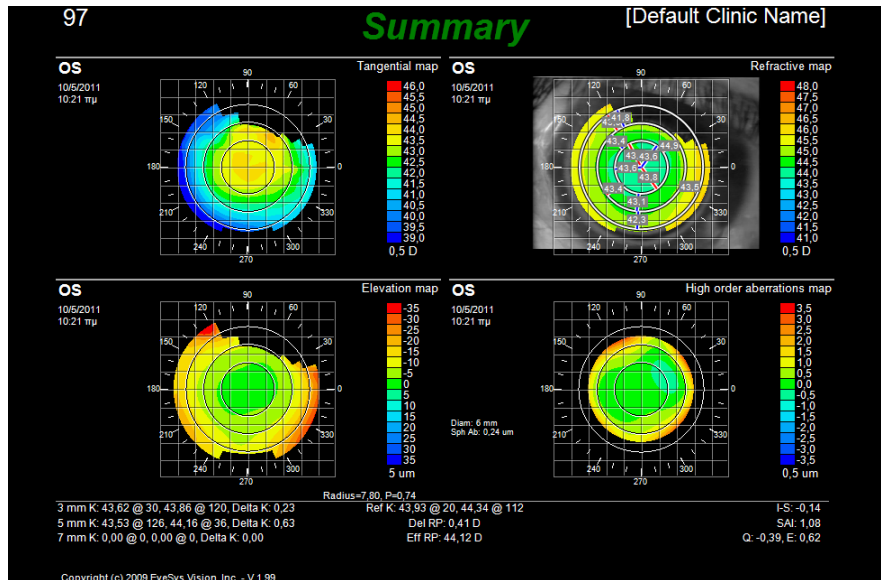


Εικόνα 3. Η τορική επιφάνεια δημιουργείται από περιστροφή του τόξου v γύρω από τον άξονα V ή από περιστροφή του άξονα h γύρω από τον άξονα H .

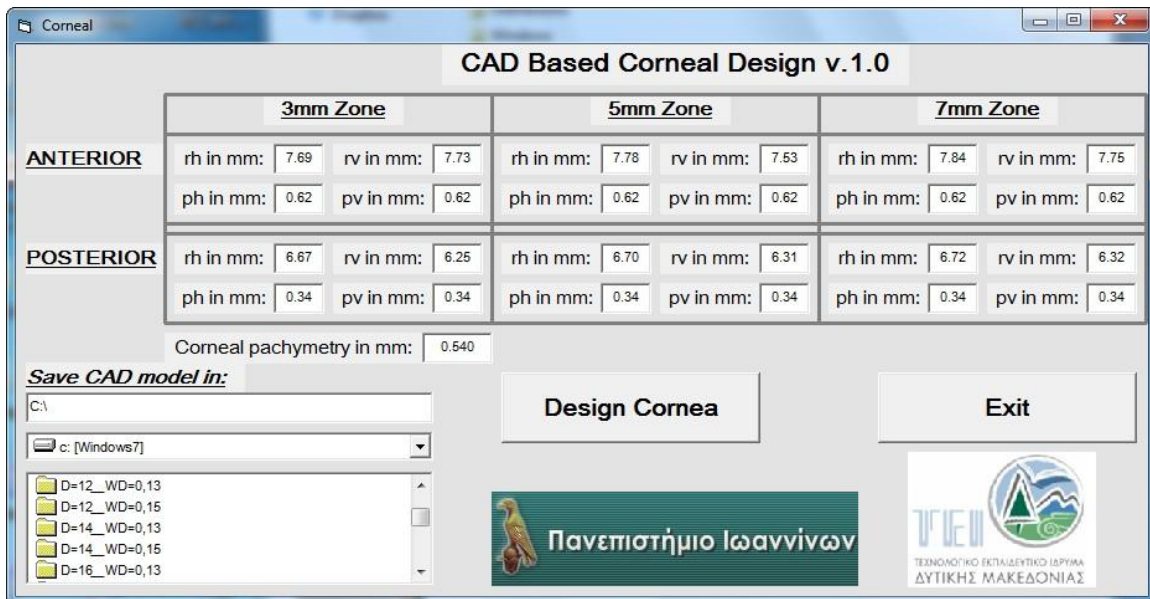


Εικόνα 4. Το γενικό ελλειψοειδές με τους ημιάξονες x , y , z .

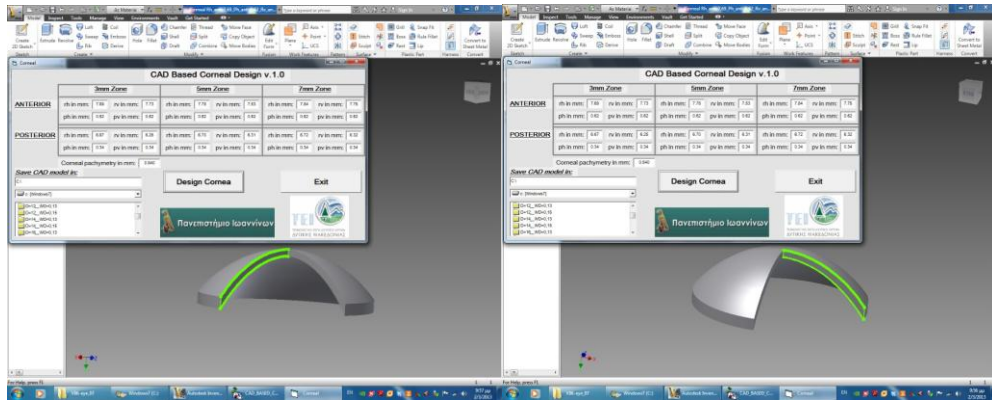
Στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση έχουμε τη δημιουργία γραφικού μοντέλου του κερατοειδή, το οποίο αποτελεί τη βάση για την αξιολόγηση, την ανάλυση της συμπεριφοράς του κερατοειδή και την ανάπτυξη εφαρμογών. Με το σύστημα CAD (Computer Aided Design) δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη, με ένα εύκολο στη χρήση περιβάλλον, να μοντελοποιήσει και να αναπαραστήσει τρισδιάστατα στο χώρο τα διαθέσιμα δεδομένα. Εισήχθησαν συγκεκριμένοι αλγόριθμοι μέσω εντολών σε προγραμματιστικό επίπεδο για την αναπαράσταση του κερατοειδή (εικ.5-8). Από την τοπογραφία κερατοειδή με μηχανήμα EyeSys Vista 2000, χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι της καμπυλότητας σε τρεις διαφορετικές ζώνες, των 3mm, των 5mm και των 7mm, καθώς και η ασφαιρικότητα. Το μηχανήμα αυτό της τοπογραφίας μετράει μόνο την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδή. Για το λόγο αυτό τα δεδομένα της οπίσθιας επιφάνειας και του πάχους του κερατοειδή ήταν υποθετικά. Σε κάθε περίπτωση όμως αν ο χρήστης διαθέτει τα στοιχεία αυτά δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης ακρίβειας στη αναπαράσταση. Ο σχεδιασμός του μοντέλου γίνεται μέσω εντολών σε προγραμματιστικό επίπεδο. Οι εντολές είναι δομημένες παραμετρικά και ο χρήστης έχει στη διάθεσή του ένα μενού, όπου επιλέγει τις διαστάσεις του εκάστοτε προς μελέτη κερατοειδή. Το CAD σύστημα αναλαμβάνει να κατασκευάζει το 3D στερεό μοντέλο του οφθαλμού.



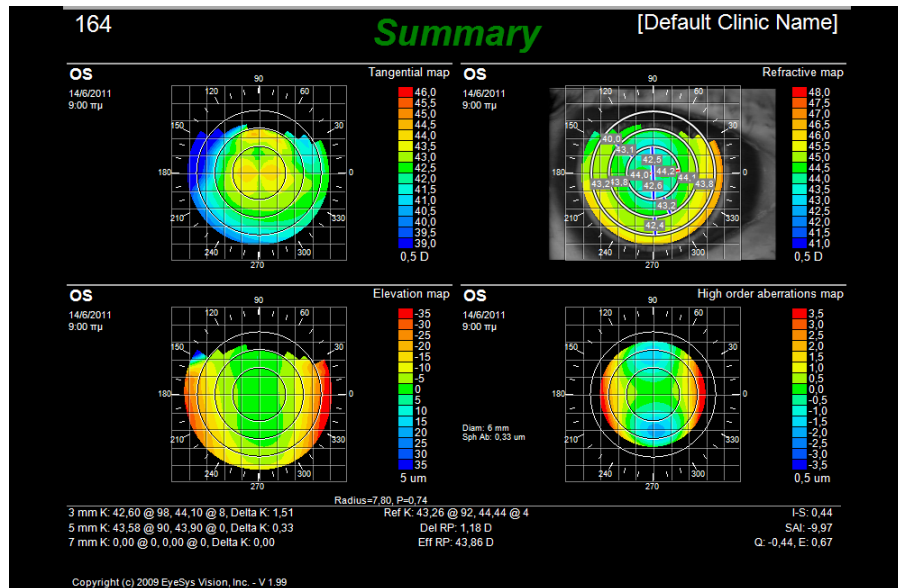
Εικόνα 5α. Τοπογραφία κερατοειδή με 0,23D αστιγματισμό



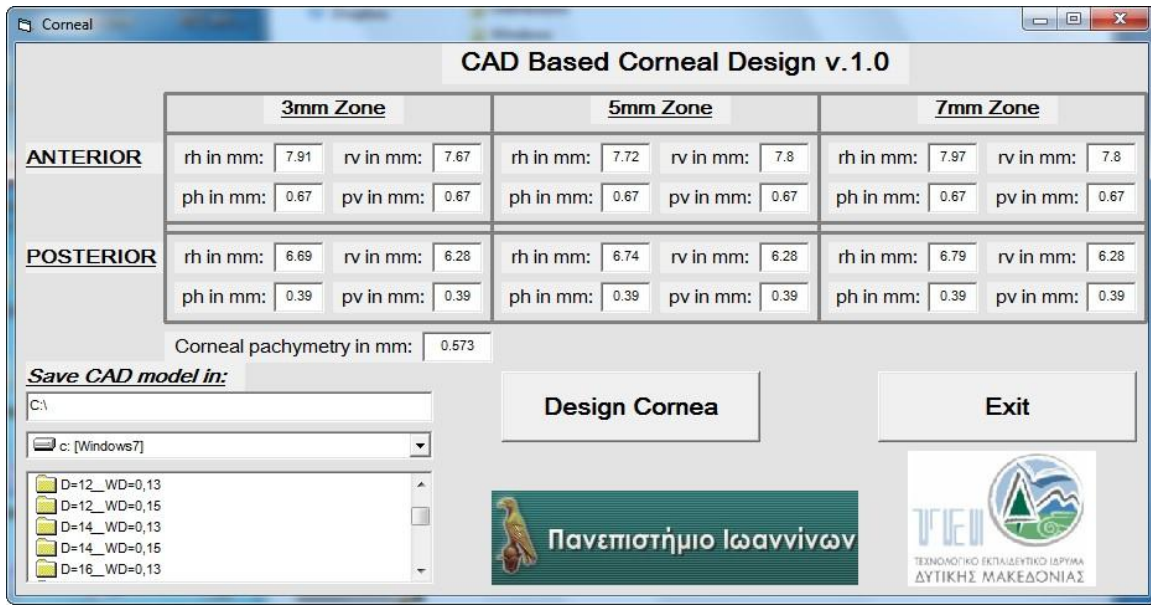
Εικόνα 5β. Πλατφόρμα παραμέτρων μοντελοποίησης κερατοειδή



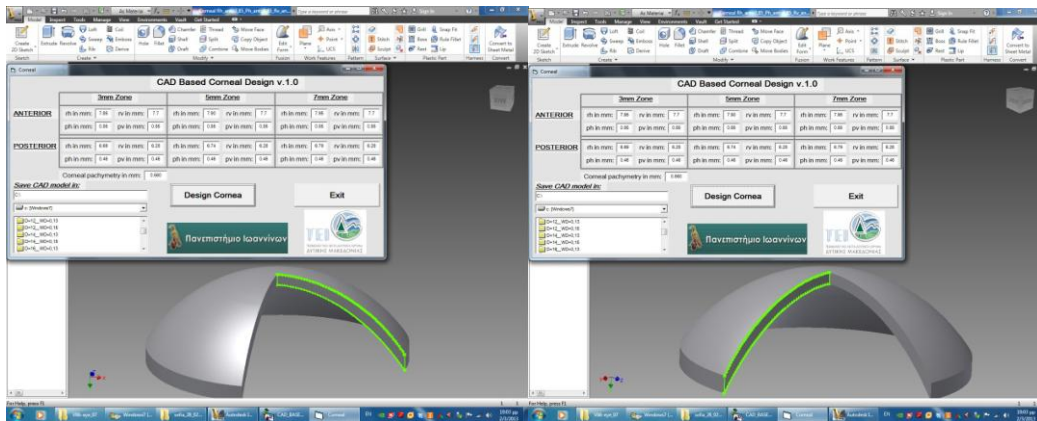
Εικόνα 6. Μοντέλα κερατοειδή με παρουσία μικρού αστιγματισμού (0,23D)



Εικόνα 7α. Τοπογραφία κερατοειδή με «παρα τον κανόνα» αστιγματισμό.



Εικόνα 7β. Παράμετροι κερατοειδή στο «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό



Εικόνα 8. Μοντέλα κερατοειδή με «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό

Η χρήση του παραμετρικού σχεδιασμού με ένα γενικής χρήσης σύστημα CAD, αλλά και η τρισδιάστατη 3D απεικόνιση του γεωμετρικού μοντέλου δίνει τη δυνατότητα, να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα αυτά για μια σειρά από προσομοιώσεις βασισμένες στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (CAE-Computer Aided Engineering).

2.7 Αλλαγές στην εμβιομηχανική του κερατοειδή σε σχέση με την ηλικία

Ο κερατοειδής υπόκειται σε δυναμικές αλλαγές με την πάροδο της ηλικίας. Το επιθήλιο γίνεται περισσότερο διαπερατό, κάνοντας τον κερατοειδή περισσότερο ευάλωτο.¹³⁹

Οι συνδετικές ίνες της βασικής μεμβράνης διασπώνται, μειώνοντας τη σύνδεση με τη στιβάδα του Bowman.¹⁴⁰ Το πάχος της δεσκεμετείου στιβάδας αυξάνει από 2μm στην ηλικία των 10ετών σε 10μm στην ηλικία των 80.¹⁴¹ Τα ενδοθηλιακά κύτταρα μειώνονται σε αριθμό τον πρώτο χρόνο ζωής στο 1/3 στην 8^η δεκαετία της ζωής σε σχέση με τον πρώτο χρόνο ζωής.¹⁴²

Οι κολλαγόνες ίνες του στρώματος αυξάνονται τρισδιάστατα με την ηλικία. Η αύξηση της διαμέτρου των κολλαγόνων ινών οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των κολλαγόνων μορίων και στην αύξηση του διαμοριακού διαστήματος.¹⁴³

Μεταξύ των ηλικιών 0 έως 90, οι περιοχές των διασταυρώσεων των μορίων κολλαγόνου αυξάνει από 3,04 σε 3,46nm². Επίσης παρατηρείται αύξηση των τελικών προϊόντων προχωρημένης γλυκοζυλίωσης [advanced glycation end-products (AGEs)] σε κερατοειδείς ηλικιωμένων. Αύξηση των AGEs παρατηρείται σε κερατόκωνο ή άλλες περιπτώσεις δυστροφίας του κερατοειδή.^{144,145}

Οι προαναφερθείσες αλλαγές σχετίζονται με αλλαγές της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή με την ηλικία. Οι Dubbelman και συν. μελέτησαν το σχήμα της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας του κερατοειδή σε σχέση με την ηλικία. Η μέση ακτίνα καμπυλότητας της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας, το πάχος του κερατοειδή και το πηλίκο της μέσης ακτίνας καμπυλότητας οπίσθιας/πρόσθιας επιφάνειας υπολογίσθηκαν για άντρες και γυναίκες για την εκτίμηση του αστιγματισμού, της ασφαιρικότητας και του πάχους του κερατοειδή. Βρήκαν ότι η τορικότητα που παρουσιάζει η οπίσθια επιφάνεια δεν αντικατοπτρίζει την πρόσθια επιφάνεια. Η μέση ασφαιρικότητα της πρόσθιας επιφάνειας ήταν 0,87, σύμφωνη με άλλες μελέτες. Η πρόσθια ασφαιρικότητα βρέθηκε ότι αλλάζει κατά 0,0006 D το χρόνο (keratometry value), καθώς αυξάνει με την ηλικία. Ο κάθετος μεσημβρινός παρουσιάζει μεγαλύτερες αλλαγές σε σχέση με τον οριζόντιο.

Η ηλικία φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στις αλλαγές του CH και CRF.¹⁴⁶⁻¹⁴⁹

Υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην αύξηση της ηλικίας και στη μείωση του CRF. Ο CRF είναι δείκτης της συνολικής αντίστασης του κερατοειδή και αντανακλά την ανελαστικότητα της κερατοειδικής επιφάνειας. Με την αύξηση της ηλικίας υπάρχει αύξηση των περιοχών διασταύρωσης των κολλαγόνων ινιδίων και μείωση του διαστήματος μεταξύ των ινιδίων στο στρώμα, εξαιτίας της συνεχούς εναπόθεσης κολλαγόνου και αυξημένης γλυκοζυλίωσης. Αυτοί οι παράγοντες κάνουν τον κερατοειδή ανελαστικό.¹⁴⁷⁻¹⁵¹

Επιπρόσθετα η αύξηση της ηλικίας συχνά σχετίζεται με αύξηση της ΕΟΠ, το οποίο επηρεάζει την κερατοειδική ακαμψία, κάνοντας τον κερατοειδή περισσότερο ανελαστικό με την πάροδο του χρόνου.^{146,152}

2.8 Αλλαγές στην εμβιομηχανική του κερατοειδή σε επέμβαση καταρράκτη

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τις εμβιομηχανικές ιδιότητες του κερατοειδή. Η κερατοειδική υστέρηση (corneal hysteresis-CH) αποτελεί δείκτη της ιξώδους απόσβεσης του κερατοειδή, δηλαδή της ικανότητας του ιστού να απορροφά και να διασκορπίζει την ενέργεια που ασκείται πάνω του. Η CH είναι δυναμική παράμετρος αφού η παραμόρφωση και η εφαρμοζόμενη δύναμη εξαρτώνται από το χρόνο.^{147,153}

Η μέτρηση του CH είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της κερατοειδικής ακεραιότητας και μελετάται κυρίως σε περιπτώσεις κερατόκωνου και διαθλαστικών επεμβάσεων (LASIK, επέμβαση καταρράκτη).

Η δεύτερη ιδιότητα του κερατοειδή είναι η ελαστικότητα, η οποία χαρακτηρίζεται από τον στατικό δείκτη κερατοειδικής αντίστασης (corneal resistance factor-CRF), όπου η παραμόρφωση είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης δύναμης.^{146,147}

Και οι δυο αυτές ιδιότητες κάνουν τον κερατοειδή ένα ολοκληρωμένο ιξωδοελαστικό σύστημα. Το τελικό σχήμα του κερατοειδή βασίζεται στο μοντέλο του Young της ελαστικότητας, είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ της εκτασιμότητας του κερατοειδή και της ενδοφθάλμιας πίεσης (ΕΟΠ).

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος όσον αφορά τα αποτελέσματα του διαθλαστικού καταρράκτη. Η μείωση του εύρους των τομών από 3,2mm σε 1mm, είχε ως

αποτέλεσμα τη μείωση του χειρουργικού τραύματος και την μείωση του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού (SIA). Ο διαχωρισμός της πλύσης-αναρρόφησης οδήγησε σε μείωση του χειρουργικού χρόνου, μείωση του χρόνου αποθεραπείας μετά την επέμβαση και άριστη οπτική οξύτητα.¹⁵⁴

Μια επίσης σημαντική εξέλιξη ήταν η ανάλυση του μετώπου κύματος του κερατοειδή, που έδωσε το έναυσμα στην εμβιομηχανική μελέτη του κερατοειδή. Με την τεχνική αυτή αναγνωρίζονται ασθενείς, οι οποίοι παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο να εμφανίσουν μελλοντικά κάποια παθολογία στον κερατοειδή. Υπάρχουν αρκετές μελέτες όπου αναφέρεται μείωση των CH και CRF μετά από επέμβαση καταρράκτη, αποτέλεσμα των χειρουργικά προκαλούμενων αλλαγών στην εμβιομηχανική του κερατοειδή.

Σε μια μελέτη των Hager και συν. παρατήρησαν μείωση του CH και αύξηση του κεντρικού πάχους του κερατοειδή το πρώτο 24ωρο μετά την επέμβαση. Σύμφωνα με τη μελέτη το μετεγχειρητικό κερατοειδικό οίδημα μειώνει την ικανότητα απόσβεσης του κερατοειδή. Επιπλέον αναφέρουν ότι ο τύπος της τομής συμβάλει σημαντικά στην εμφάνιση του κερατοειδικού οιδήματος και κατ'επέκταση στην αλλαγή της CH.¹⁵⁵

Σε μια παρόμοια μελέτη οι Kucumen και συν. μελέτησαν αυτές τις παραμέτρους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και αναφέρουν ότι ένας παράγοντας που επίσης επηρεάζει την κερατοειδική εμβιομηχανική είναι η μικροδιαρροή που παρατηρείται αμέσως μετεγχειρητικά από τις τομές.¹⁵⁶

Η κατάσταση του ενδοθηλίου είναι άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες του κερατοειδή, αφού ο μικρότερος αριθμός των ενδοθηλιακών κυττάρων έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη πιθανότητα αύξησης του κερατοειδικού πάχους. Οι Kucumen και συν. αναφέρουν ότι οι τιμές των CH και CRF επανέρχονται στα φυσιολογικά επίπεδα 3 μήνες μετά από την επέμβαση.

Στην ομάδα ασθενών που υπεβλήθησαν σε μικροχειρουργική επέμβαση καταρράκτη (MICS) παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση της CH στην άμεση μετεγχειρητική περίοδο, η οποία επέστρεφε σε φυσιολογικά επίπεδα τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση. Η CRF αυξανόταν την άμεση μετεγχειρητική περίοδο η οποία επέστρεφε και αυτή στα φυσιολογικά επίπεδα τον 1^ο μήνα. Στην ομάδα ασθενών που υποβλήθηκαν σε ομοαξονική επέμβαση παρατηρήθηκε μείωση των CH και CRF την άμεση

μετεγχειρητική περίοδο και επέστρεφαν στα φυσιολογικά επίπεδα τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση.

Από τα προαναφερθέντα φαίνεται ότι οι CH και CRF υφίστανται αλλαγές, οι οποίες επανέρχονται στα φυσιολογικά επίπεδα όταν η σταθερότητα του κερατοειδικού ιστού αποκαθίσταται με την πάροδο του χρόνου. Η αλλαγή στην CH ήταν ανάλογη του εύρους της τομής. Στις επεμβάσεις MICS, όπου οι τομές είναι μικρότερες του 1,5mm δίνει σταθερότερη CH σε σύγκριση με τις επεμβάσεις καταρράκτη μικρής τομής (SICS).

Επιπλέον θα πρέπει να αναγνωρίσουμε το γεγονός ότι η μετεγχειρητική χρήση κορτικοστεροειδών παίζει σημαντικό ρόλο στις επουλωτικές ιδιότητες του κερατοειδή.

Σαν συμπέρασμα της μελέτης των Alio και συν. δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις εμβιομηχανικές ιδιότητες του κερατοειδή σε MICS και ομοαξονική φακοθρυψία. Ειδικότερα οι μικρότερες τομές είναι αυτές που σχετίζονταν με σημαντικά μικρότερη αλλαγή στην CH σε MICS σε σύγκριση με την ομοαξονική φακοθρυψία.¹⁵⁷

Η επέμβαση καταρράκτη αλλάζει την εμβιομηχανική του κερατοειδή.¹⁵⁶ Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή και του διαθλαστικού αποτελέσματος. Μια υπόθεση είναι ότι ο βολβός αντιδρά ως σύνολο και οι ενδοφθάλμιες και ηλικιακές αλλαγές έμμεσα επηρεάζουν την εμβιομηχανική του κερατοειδή.¹⁴⁷ Είναι φυσιολογικό η αντικατάσταση του καταρρακτικού φακού, που καταλαμβάνει αρκετό χώρο στο περιφάκιο πίσω από την ίριδα, με ένα λεπτό ενδοφακό, αλλάζει τη βιοφυσική συμπεριφορά ολόκληρου του οφθαλμού, συμπεριλαμβανομένου του κερατοειδή, και το μάτι γίνεται λιγότερο ανελαστικό. Το μυωπικό αξονικό μήκος σχετίζεται με αυξημένη κερατοειδική ακαμψία.¹⁵⁸ Άλλη υπόθεση είναι η παρουσία μετεγχειρητικού οιδήματος, το οποίο μειώνει την ικανότητα του κερατοειδή να απορροφά και να απαντά σε εφαρμοζόμενη δύναμη, όπως για παράδειγμα τονομέτρηση.^{155,156}

Οι κερατικές τομές είναι ο κύριος παράγοντας επίδρασης.^{159,160}

Οι καθαρά κερατικές τομές θεωρούνται ότι επηρεάζουν τη φυσιολογική σφαιρικότητα και κυρτότητα του κερατοειδή, καθιστώντας τον ευαίσθητο στην εμφάνιση εκτροπών υψηλής τάξης, ανάλογα με την εντόπιση και το μέγεθος των τομών.^{162,163}

Κλινικές μελέτες έδειξαν ότι το μήκος των τομών είναι απευθείας ανάλογο του μεγέθους του προκαλούμενου αστιγματισμού και αντιστρόφως ανάλογο της σταθερότητας με την πάροδο του χρόνου.¹⁶³

Έτσι είναι σημαντικό να ελαχιστοποιήσουμε, αν όχι να εξουδετερώσουμε, την επίδραση των τομών για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα και μεγαλύτερη σταθερότητα.

2.9 Ανώμαλος αστιγματισμός μετά επέμβαση καταρράκτη

Ο ανώμαλος αστιγματισμός είναι αποτέλεσμα αλλαγών που συμβαίνουν στον κερατοειδή και/ή τις ενδοφθάλμιες δομές. Οι περισσότερες περιπτώσεις ανώμαλου αστιγματισμού μετά την επέμβαση καταρράκτη έχουν να κάνουν με εκτροπές μετώπου κύματος, οι οποίες μπορούν να καταγραφούν με τη βοήθεια των εκτροπόμετρων.^{164,165}

Εκτός από τις αλλαγές λόγω παθολογίας που παρουσιάζονται στους οφθαλμούς σημαντικές είναι και οι αλλαγές λόγω ηλικίας. Οι κερατοειδικές και οφθαλμικές εκτροπές έχουν μελετηθεί αρκετά.¹⁶⁶⁻¹⁷²

Συνολικά ο ανθρώπινος κερατοειδής εμφανίζει θετικές σφαιρικές εκτροπές. Με την ηλικία η κερατοειδική συνιστώσα των σφαιρικών εκτροπών δεν αλλάζει. Παρ'όλα αυτά η ολική οφθαλμική σφαιρική εκτροπή αυξάνει με την ηλικία. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές του κρυσταλλοειδή φακού. Σε νεότερα άτομα ο φακός εξισορροπεί την σφαιρικότητα του κερατοειδή παρουσιάζοντας αρνητικές σφαιρικές εκτροπές. Με την ηλικία όμως ο φακός αναπτύσσει θετικές σφαιρικές εκτροπές, ενισχύοντας την ήδη θετική σφαιρικότητα από τον κερατοειδή και διαταράσσοντας έτσι την ποιότητα όρασης του οφθαλμού. Βασιζόμενοι σε αυτά τα ευρήματα, ο πρωταρχικός στόχος για την αποφυγή δημιουργίας ή εμφάνισης ανώμαλου αστιγματισμού μετά επέμβαση καταρράκτη έγκειται στο σχεδιασμό του ενδοφθάλμιου ενδοφακού, κυρίως μειώνοντας τη σφαιρική εκτροπή.

3. ΤΟΜΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ

3.1 Ιστορικά στοιχεία

Περίπου στο τέλος του 1800 ξεκινά η ιστορία της χειρουργικής αντιμετώπισης του αστιγματισμού με σκληροκερατικές και κερατικές τομές, πρόσθιες εγκάρσιες τομές επί του κυρτότερου άξονα και κερατικές μη διατιτραίνουσες τομές.¹⁷³⁻¹⁸²

Η χρήση των κερατοτομών για τη διόρθωση διαθλαστικού σφάλματος διευκολύνθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα όταν ο Snellen υποστήριξε ότι η κερατική τομή εφαρμοζόμενη κάθετα στον κυρτότερο κερατοειδικό μεσημβρινό μπορεί να προκαλέσει επιπέδωση αυτού του άξονα.¹⁸³

Το 1885 ο Schiötz εφάρμοσε μια σκληροκερατική 3,5 χιλιοστών πλήρους πάχους τομή επί του κυρτότερου άξονα για να μειώσει τον ιατρογενούς προελεύσεως μετά από επέμβαση καταρράκτη αστιγματισμό 17 διοπτριών.¹⁷⁴

Ο Faber εφάρμοσε πρόσθιες εγκάρσιες τομές για τη μείωση ιδιοπαθή αστιγματισμού.¹⁷⁵

Ο Lucciola ανέφερε το 1886 τις πρώτες περιπτώσεις κερατικών τομών μη διατιτραινόντων για τη μείωση αστιγματισμού με επιπέδωση του κυρτότερου άξονα σε δέκα ασθενείς.¹⁷⁶

Το 1894 ο Bates περιέγραψε 6 ασθενείς που παρουσίαζαν επιπέδωση του κερατοειδή στον άξονα, ο οποίος διασταυρωνόταν με σημεία χειρουργικής ή τραυματικής ουλής.¹⁷⁷

Αργότερα ο Lans εκτίμησε ότι η επιπέδωση που εμφανίζεται σε ένα κερατικό άξονα μετά από εγκάρσια τομή σχετίζεται με αντίστοιχη κύρτωση στον κάθετο σε αυτή άξονα. Έδειξε επίσης ότι όσο μεγαλύτερη και βαθύτερη είναι η τομή τόσο μεγαλύτερο είναι και το αποτέλεσμα.¹⁷⁸

Το 1940 ο Sato ξεκίνησε μια εκτεταμένη έρευνα των ακτινωτών και αστιγματικών κερατοτομών.¹⁷⁹⁻¹⁸²

Αργότερα στη μελέτη των κερατοτομών προστέθηκαν και οι ερευνητικές προσπάθειες των Thornton, Buzard, Price, Nordan, Grene, Lindstrom, Troutman και Nichamin.¹⁸⁴⁻¹⁹⁴

3.2 Επιδημιολογικά στοιχεία

Η υψηλή επίπτωση του καταρράκτη σε άτομα ηλικίας άνω των 50 ετών καθιστά την επέμβαση του καταρράκτη μια από τις συνηθέστερες στον κόσμο.¹⁹⁵⁻¹⁹⁸

Με την πρόοδο της τεχνολογίας και τη μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων, η επέμβαση του καταρράκτη θεωρείται πλέον διαθλαστική επέμβαση. Η επίπτωση του αστιγματισμού σε άτομα ηλικίας άνω των 40 ετών είναι μεταξύ 33 και 77%.^{199,200}

Ένας μεγάλος αριθμός ατόμων με καταρράκτη παρουσιάζει αστιγματισμό προεγχειρητικά. Οι Xu και Zheng έδειξαν ότι το 33% των ασθενών που υποβάλλονται σε επέμβαση καταρράκτη παρουσιάζουν τουλάχιστον 1 διοπτρία αστιγματισμό.²⁰¹

Σε μια άλλη μελέτη 64,4% των καταρρακτικών ασθενών έχουν 0,25-1,25 διοπτρίες αστιγματισμό, ενώ πάνω από 1,5 διοπτρία παρουσίαζαν το 22,2% των ασθενών.

3.3 Τομές και οφθαλμικές παράμετροι

Ο έλεγχος του χειρουργικά προκαλούμενο αστιγματισμό (SIA) κατά τη διάρκεια της επέμβασης του καταρράκτη είναι ένας από τους στόχους για την επιτυχία της επέμβασης, δηλαδή η μείωση του αστιγματισμού σε εμμετροπία, με συνέπεια καλύτερη μη διορθωμένη όραση.²⁰²

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τον αστιγματισμό στην επέμβαση του καταρράκτη. Τα χαρακτηριστικά των τομών (εύρος και μήκος), η αρχιτεκτονική τους (ενός, δυο ή τριών βημάτων), η εντόπιση των τομών σε σχέση με το ΣΚΟ (σκληρική, σκληροκερατική ή καθαρά κερατική) και ο άξονας επί του οποίου εφαρμόζονται είναι παράγοντες τους οποίους ο χειρουργός μπορεί να επηρεάσει έτσι ώστε να αλλάξει ή να μην αλλάξει τον προεγχειρητικό αστιγματισμό.²⁰³⁻²⁰⁷

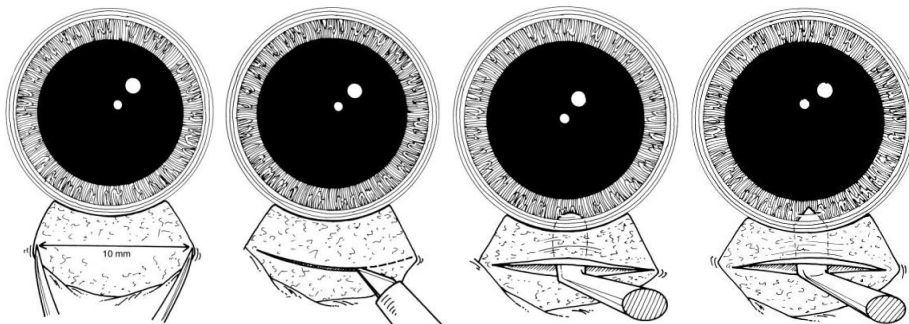
Παράγοντες όπως το μάτι (δεξί ή αριστερό),^{208,209} το πάχος του κερατοειδή,²¹⁰ το μέγεθος του προεγχειρητικού αστιγματισμού,²¹¹

Και ο τύπος του αστιγματισμού(συμφώνως-WTR ή παρά τον κανόνα-ATR)²¹² είναι παράμετροι που λαμβάνουμε υπόψη κατά το σχεδιασμό της επέμβασης του καταρράκτη, αλλά τους οποίους δεν μπορούμε να επηρεάσουμε έτσι ώστε να αλλάξουμε τη διάθλαση του κερατοειδή.

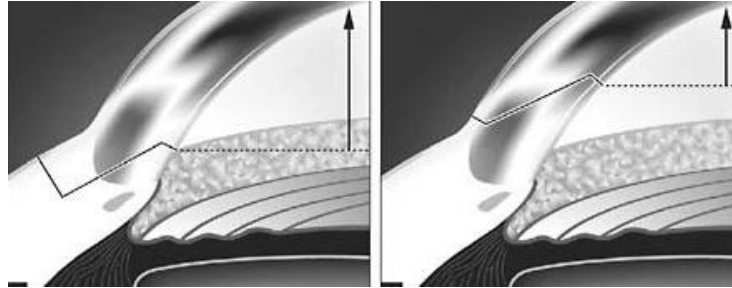
Οι τομές ανάλογα με την εντόπιση τους ως προς το ΣΚΟ χωρίζονται σε σκληρικές, σκληροκερατικές και καθαρά κερατικές τομές, ανάλογα με τον άξονα επί του οποίου

εφαρμόζονται σε κροταφικές, άνω κροταφικές, άνω ρινικές και ανώτερες τομές. Αν το εύρος της τομής είναι μικρότερο από 1,5mm μιλάμε για μικροχειρουργική επέμβαση καταρράκτη (microincision cataract surgery-MICS), αν είναι μεταξύ 1,5 και 3,2mm η κύρια τομή ονομάζεται μικρής τομής επέμβαση καταρράκτη (small incision cataract surgery-SICS).

Οι σκληρικές τομές είναι συνήθως εύρους 5mm, απέχουν από το ΣΚΟ 1-3mm και εφαρμόζονται στο $\frac{1}{2}$ με $\frac{2}{3}$ του πάχους του σκληρού (εικόνα 9). Τα πλεονεκτήματα αυτών των τομών είναι ότι μπορούν εύκολα να επεκταθούν, τα ποσοστά ενδοφθαλμίτιδας είναι χαμηλά, ο μετεγχειρητικός αστιγματισμός είναι μικρός, η διαδικασία επούλωσης είναι ταχύτερη, υπάρχει μικρότερη διαταραχή του κερατοειδή διεγχειρητικά και το άκρο του στυλεού φακοθρυψίας απέχει περισσότερο από το ενδοθήλιο (εικόνα 10). Τα μειονεκτήματα αυτών των τομών είναι ότι ο κίνδυνος εμφάνισης υφαίματος ή υποσφάγματος μετεγχειρητικά είναι μεγαλύτερος, υπάρχει ο κίνδυνος να μη γίνει στο σωστό βάθος το σκληρικό τούνελ με αποτέλεσμα είτε αυτό να είναι πολύ βαθύ ή πολύ επιφανειακό, καθώς και η δημιουργία ουλής στον επιπεφυκότα.

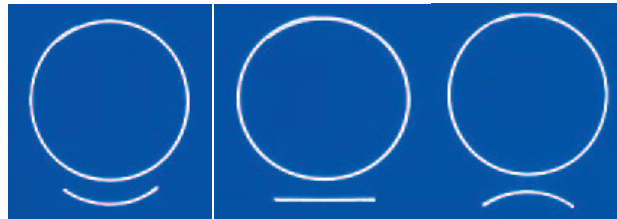


Εικόνα 9. Δημιουργία σκληρικής τομής



Εικόνα 10. Απόσταση στυλεού φακοθρυψίας από το ενδοθήλιο σε σκληρική και καθαρά κερατική τομή.

Το σχήμα των σκληρικών τομών παίζει ρόλο στην εμφάνιση μετεγχειρητικού αστιγματισμού. Έτσι λοιπόν οι τοξοειδείς τομές σχετίζονται με σχετικά υψηλότερο αστιγματισμό, οι ευθείες τομές με μέτριο, οι καμπύλες θεωρούνται αστιγματικά ουδέτερες (εικόνα 11).



Εικόνα 11. Σχήμα σκληρικών τομών.

Οι καθαρά κερατικές τομές ανάλογα με την αρχιτεκτονική τους χωρίζονται σε 1-, 2- και 3-βημάτων (εικόνα 12). Το εύρος της κύριας τομής μπορεί να είναι από 0,9mm-3,2mm. Το μήκος του τούνελ είναι συνήθως περίπου στα 1,75mm (εικόνα 13).



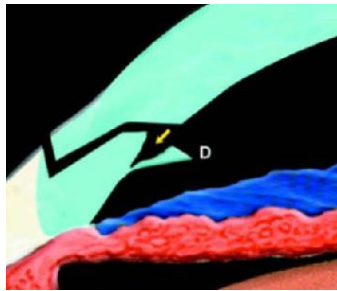
Εικόνα 12. Καθαρά κερατική 3 βημάτων τομή



Εικόνα 13. Εφαρμογή καθαρά κερατικής κύριας και βοηθητικής τομής.

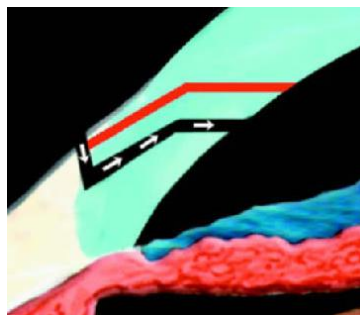
Τα πλεονεκτήματα των καθαρά κερατικών τομών είναι ότι η αναισθησία γίνεται με σταγόνες, μειώνεται ο χειρουργικός χρόνος, ο επιπεφυκότας μένει ανέπαφος σε περίπτωση που χρειαστεί να γίνει τραμπεκουλεκτομή, το κοσμητικό αποτέλεσμα είναι καλύτερο, μπορεί να γίνει διόρθωση του προεγχειρητικού αστιγματισμού, δεν υπάρχει κίνδυνος αιμορραγίας και δεν χρειάζεται διαθερμία. Τα μειονεκτήματα αυτών των τομών είναι ο κίνδυνος μετεγχειρητικής διαρροής από την τομή, αυξημένος κίνδυνος ενδοφθαλμίτιδας, διαταραχή του κερατοειδή διεγχειρητικά που μπορεί να δυσχεράνει την ορατότητα κατά τη διάρκεια της επέμβασης, δημιουργία φαινομένου «μπαλονιού» του επιπεφυκότα, αν το εύρος της τομής αυξηθεί στα 4mm υπάρχει ο κίνδυνος να μην μπορεί να στεγανοποιηθεί η τομή και να δημιουργηθεί «σκαλοπάτι» και τέλος η μετεγχειρητική παρουσία αρνητικής δυσφωτοψίας, ειδικά όταν οι τομές εκτελούνται κροταφικά. Άλλες επιπλοκές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το μετεγχειρητικό αποτέλεσμα είναι η αστάθεια του προσθίου θαλάμου διεγχειρητικά, αν η τομή έχει γίνει μεγαλύτερη σε

σχέση με το άκρο του στυλεού φακοθρυψίας, όποτε μπορεί να χρειαστεί να μπει ράμμα ή να αυξηθεί το ύψος της μποτίλιας κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Άλλη επιπλοκή είναι να είναι πολύ στενή η τομή με κίνδυνο πρόκλησης εγκαύματος στο σημείο της τομής λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του στυλεού φακοθρυψίας στο σημείο. Αν η τομή γίνει προς το ΣΚΟ κατά τη διάρκεια της επέμβασης εμφανίζεται το φούσκωμα του επιπεφυκότα, γεγονός που δυσχεραίνει την ορατότητα και τη χρήση των εργαλείων διεγχειρητικά, ενώ υπάρχει και ο κίνδυνος πρόπτωσης της ίριδας. Αν η καθαρά κερατική τομή γίνει κεντρικότερα στον κερατοειδή υπάρχει διαταραχή του κερατοειδή με γραμμώσεις και «τσαλάκωμα» του κερατοειδή, όποτε και κακή ορατότητα. Μια άλλη επιπλοκή είναι η αποκόλληση της δεσκεμετείου μεμβράνης (εικόνα 14).



Εικόνα 14. Αποκόλληση δεσκεμετείου μεμβράνης.

Επίσης αν η τομή γίνει πολύ επιφανειακά υπάρχει κίνδυνος να μην μπορεί να στεγανοποιηθεί (εικόνα 15).



Εικόνα 15. Επιφανειακή τομή (κόκκινη γραμμή).

Η μοντέρνα μικρής τομής επέμβαση του καταρράκτη έχει βελτιωμένα αποτελέσματα όσον αφορά το σφαίρωμα και τον αστιγματισμό. Παρ'ότι η φακοθρυψία με τομή 2,8-3,2

χιλιοστά δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα από άποψη ασφάλειας, αποτελεσματικότητας και διάθλασης, μελέτες έχουν δείξει ότι η μικροχειρουργική επέμβαση καταρράκτη (MICS), η οποία ορίζεται ως η επέμβαση καταρράκτη με μικρότερης των 2 χιλιοστών κύριας τομής, θεωρείται η λιγότερο επεμβατική διαδικασία, ασφαλέστερη και με το μικρότερο χειρουργικά προκαλούμενο αστιγματισμό.²¹³⁻²²⁰

Επίσης μια πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι σε μικροχειρουργική επέμβαση καταρράκτη 2 τομών με επέκταση της μιας τομής στα 2,8 χιλιοστά δεν είναι αστιγματικά ουδέτερη, δείχνοντας στατιστικά σημαντική αύξηση του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού.²²¹

3.3.1 Τομές επί του κυρτότερου άξονα (on-axis) και κατά ζεύγη αντίθετες τομές (opposite clear corneal incisions-OCCI's)

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης του καταρράκτη είναι δυνατό να μειώσουμε τον προεγχειρητικό αστιγματισμό τροποποιώντας το σχήμα, το εύρος, τον τύπο και την εντόπιση της τομής.^{204,205,208,211,214,222-228}

Ο απλούστερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι η εφαρμογή καθαρά κερατικής τομής στον κυρτότερο κερατικό άξονα είτε αυτό είναι άνω, κροταφικά ή πλάγια έτσι ώστε να επιπεδωθεί ο άξονας επί του οποίου εκτελείται (on-axis τομή). Αυτή η προσέγγιση συνήθως επαρκεί για τα περισσότερα μάτια.^{211,228-232}

Με την τεχνική αυτή μπορεί να διορθωθεί μέχρι 1 διοπτρία αστιγματισμού.

Προεγχειρητικά να γίνεται η εντόπιση και το μαρκάρισμα του άξονα του αστιγματισμού προεγχειρητικά για την διασφάλιση της ορθής εντόπισης της εφαρμοζόμενης κύριας τομής και την αναμενόμενη επιπέδωση. Ο μέτριος και ήπιος κερατικός αστιγματισμός μπορεί να διορθωθεί και να μειωθεί τροποποιώντας το εύρος της κύριας τομής, καθώς επίσης και το βάθος στο οποίο εκτελείται και την απόσταση από το κέντρο του κερατοειδή.^{228,232}

Η μελέτη του Giasanti και συν. έδειξε ότι καθαρά κερατική τομή 2,75χιλ. προκαλεί μικρότερη αλλαγή στον αστιγματισμό σε μάτια με μικρό προεγχειρητικό κερατοειδικό αστιγματισμό, ανεξάρτητα από την εντόπιση της τομής.²³³

Άλλη αναδρομική μελέτη περιέγραψε μεγαλύτερες αλλαγές προκαλούμενες από ανώτερες τομές σε σύγκριση με κροταφικές 2,8χιλ., οι οποίες θεωρούνται και αστιγματικά ουδέτερες.²³⁴

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Borasio και συν σε συγκριτική μελέτη μεταξύ 3,2χιλ. καθαρά κερατικής κροταφικής τομής με επί του κυρτότερου άξονα τομή με την πρώτη να προκαλεί μικρότερο SIA.²³⁵

Νεώτερες μελέτες έδειξαν ότι τομές εύρους μεταξύ 1,6 και 2,4 χιλ. είχαν καλύτερα αποτελέσματα προκαλούμενου αστιγματισμού, εστιακής στο σημείο της τομής επιπέδωσης του περιφερικού κερατοειδή και ανωμαλίας της κερατοειδικής επιφάνειας σε σχέση με την επέμβαση του καταρράκτη μικρής τομής.²³⁶⁻²³⁸

Ο SIA είναι χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός, δηλαδή ο αστιγματισμός που ο χειρουργός εισάγει με τις τομές και υπολογίζεται βάσει του προεγχειρητικού και μετεγχειρητικού κερατοειδικού αστιγματισμού. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό του SIA είναι: η διανυσματική ανάλυση των Jaffe και Cleymans, η ανάλυση Fourier, η πολική/αξονική ανάλυση όπως περιγράφηκε από τους Thibos και συν.^{239,240}

Σε περίπτωση που ο προ- και μετεγχειρητικός άξονας συμπίπτουν και το σημείο +/- διατηρείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η απλή μέθοδος αφαίρεσης.

Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι οι κροταφικές τομές αυξάνουν τον «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμό, ενώ οι άνω τομές αυξάνουν τον «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό.^{206,236,241-243}

Οι Altan-Yaycioglu και συν. σύγκριναν τις άνω κροταφικές στα δεξιά μάτια τομές με τις άνω ρινικές στα αριστερά μάτια τομές και έδειξαν ότι οι άνω κροταφικές τομές προκαλούν λιγότερο παρά τον κανόνα αστιγματισμό και SIA σε σύγκριση με τις άνω ρινικές ($p < 0.001$).²²⁵

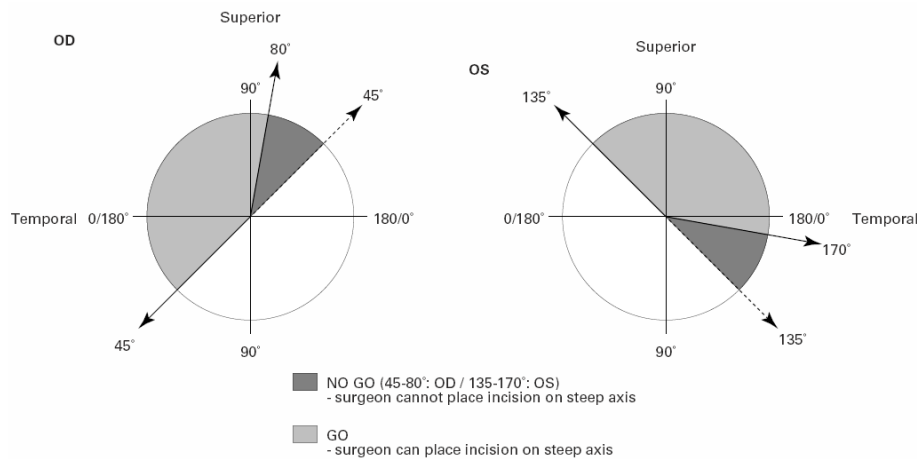
Αρκετοί είναι οι ειδικοί που αναφέρουν μικρές τιμές SIA 0,6-1διοπτρία προκαλούμενες από 3,5-4χιλ. τομές.²⁴⁴⁻²⁴⁶

Οι Kohnen και συν. ανέφεραν σημαντική αλλαγή στον SIA μετά από κροταφική και ρινική σκληροκερατική τομή.²⁴⁷

Οι Ozkurt και συν. ερεύνησαν τα αποτελέσματα στον αστιγματισμό κροταφικών και ρινικών καθαρά κερατικών τομών 3,5χιλ. και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι

κροταφικές τομές προκαλούν λιγότερο ολικό και χειρουργικά προκαλούμενο αστιγματισμό.²⁰⁹

Η επιλογή της τεχνικής εκτέλεσης της κύριας τομής επί του κυρτότερου άξονα του αστιγματισμού (on-axis) θεωρείται ως ο καλύτερος τρόπος μείωσης του αστιγματισμού διεγχειρητικά, ειδικά στις περιπτώσεις μέχρι 1,5 διοπτρίας αστιγματισμού. Σε μερικές περιπτώσεις όμως είναι τεχνικά δύσκολο να εφαρμοσθεί λόγω θέσης (εικόνα 16).²⁴⁸



Εικόνα 16. Άξονες «no-go» και «go» επί των οποίων ο χειρουργός μπορεί να εφαρμόσει τις τομές.

Σε άλλες μελέτες αναφέρεται ότι οι ανώτερες τομές σχετίζονται με μεγαλύτερο SIA σε σχέση με τις κροταφικές τομές.²⁴⁹⁻²⁵⁴

Οι δεξιόχειροι χειρουργοί προτιμούν τη 12^η ώρα για εκτέλεση κύριας τομής για να έχουν μεγαλύτερη άνεση.

Όπως προαναφέρθηκε οι on-axis τομές είναι από τις συνηθέστερες μεθόδους διόρθωσης μικρού αστιγματισμού στην επέμβαση του καταρράκτη. Αν υπάρχει μεγαλύτερος αστιγματισμός μερικοί εκτελούν και 2^η τομή απέναντι από την κύρια τομή, ώστε να μειώσουν ακόμη περισσότερο την κυρτότητα του κύριου άξονα (opposite clear corneal incisions-OCCIs).²⁵⁵⁻²⁵⁹

Οι επί του κυρτότερου άξονα αντίθετες καθαρά κερατικές τομές (OCCIs) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά το 2000 από τους Lever και Dahan.²⁵⁶

Σε αυτή την τεχνική εκτελείται μια 3,2 mm τομή απέναντι από την κύρια τομή. Αυτή η μέθοδος συνιστάται για περιπτώσεις 1 έως 3 διοπτρίες προεγχειρητικού αστιγματισμού. Υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι αυτή η τεχνική προσφέρει καλά αποτελέσματα όταν συνδυάζεται και με άλλες τεχνικές μείωσης του αστιγματισμού.²⁶⁰

Σε περιπτώσεις «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμού οι τομές εκτελούνται στη 12^η και την 6^η ώρα, ενώ σε «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό οι τομές εντοπίζονται κροταφικά και ρινικά. Οι Lever και Dahan έδειξαν ότι αυτή η τεχνική μειώνει κατά 2,8 διοπτρίες προεγχειρητικού αστιγματισμού σε 0,75.²⁵⁶

Με αυτή την τεχνική οι Tadros και συν.²⁵⁵ παρατήρησαν μείωση κερατοειδικού αστιγματισμού από 1,48 διοπτρίες σε 0,5 διοπτρία μετά την επέμβαση. Σε ασθενείς με πάνω από 1 διοπτρία αστιγματισμού παρατήρησαν κατά μέσο όρο μείωση 0,73 διοπτρίες. Επίσης παρατήρησαν 1,57 διοπτρίες SIA. Μέσος SIA για ηλικίες 45-65, 66-75 και πάνω από 75 ετών είναι 1,43, 1,56 και 1,59 διοπτρίες αντίστοιχα.²⁵⁸

Επιπλέον παρατήρησαν ότι προσθέτοντας μια ρινική τομή απέναντι από την κροταφική, όχι μόνο διπλασιάζει, αλλά τριπλασιάζει ή τετραπλασιάζει τη δράση της κύριας τομής. Παρ'όλα αυτά λόγω του αυξημένου κινδύνου ενδοφθαλμίτιδας με αυτή τη χειρουργική τεχνική, προτιμάται να εφαρμόζεται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Υπάρχουν μελέτες που δείχνουν τα μετεγχειρητικά αποτελέσματα αυτής της τεχνικής και οι μελέτες που συγκρίνουν αυτή την τεχνική με άλλες μεθόδους. Σε μια μελέτη που αφορούσε 95 οφθαλμούς, οι οποίοι υποβλήθηκαν σε on-axis τομές, οι Rho και Joo²⁶¹ βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ανώτερων, πλάγιο-κροταφικών και κροταφικών on-axis τομών, με τη μεγαλύτερη αλλαγή να σημειώνεται στην πρώτη ομάδα. Στη μελέτη αυτή πρότειναν την χρήση των on-axis τομών σε αστιγματισμό πάνω από 0,5 διοπτρίες. Οι Altan-Yaycioglu και συν.²²⁷ έδειξαν ότι σε ασθενείς με αστιγματισμό πάνω από 0,75 διοπτρίες με on-axis κροταφικές τομές παρουσίασαν τις μικρότερες αλλαγές στον SIA, ενώ οι μεγαλύτερες αλλαγές παρατηρήθηκαν στις ρινικές on-axis τομές. Σε μια άλλη μελέτη των Lu και συν.²⁶² αναφέρεται ότι οι on-axis τομές σε περιπτώσεις προεγχειρητικού αστιγματισμού 0,12 και 0,25 διοπτρίες συνδέονται με μεγαλύτερο μετεγχειρητικό αστιγματισμό, ενώ μειώνεται ο αστιγματισμός σε περιπτώσεις 0,37-1,0 διοπτρίες προεγχειρητικού αστιγματισμού.

Οι Özyol E και Özyol P ²⁶³ στη μελέτη τους εφάρμοσαν on-axis τομές σε τέσσερα διαφορετικά σημεία. Η ομαδοποίηση των ασθενών έγινε με βάση τη συμμετρία του κυρτότερου άξονα για τα δεξιά και αριστερά μάτια. Ομάδα 1: 0-45° κυρτότερου άξονα για τα δεξιά μάτια και 136-180° για τα αριστερά, ομάδα 2: 46-90° για δεξιά και 91-135° για αριστερά μάτια, ομάδα 3: 91-135° για δεξιά και 46-90° για αριστερά και ομάδα 4: 136-180° για δεξιά και 0-45° για αριστερά μάτια. Σε αυτή τη μελέτη το μέγεθος του μέσου ολικού αστιγματισμού και του SIA στη 12^η μετεγχειρητική εβδομάδα ήταν χαμηλότερο στην 3^η ομάδα και υψηλότερο στην 1^η ομάδα.

Οι Borasio και συν.²⁰³ σύγκριναν τα αποτελέσματα μεταξύ on-axis και κροταφικών τομών σε περιπτώσεις <2,6D κερατοειδικού αστιγματισμού και παρατήρησαν περισσότερο επιπέδωση και μεγαλύτερη «κλίση» (torque) και «γωνία λάθους» (angle of error) στις on-axis τομές.

Σε άλλη μελέτη²⁶⁴ σύγκριναν τον SIA σε περιπτώσεις ήπιου έως μέτριου αστιγματισμού. Την 7^η εβδομάδα μετά την επέμβαση ο SIA ήταν 0,34 και 0,63 D στις κροταφικές και on-axis τομές αντίστοιχα.

Οι Kaufmann και συν.²⁶⁵ μελέτησαν 71 οφθαλμούς, οι οποίοι παρουσίαζαν τουλάχιστον 1,5 D αστιγματισμό και υποβλήθηκαν σε χαλαρωτικές σκληροκερατικές τομές (LRIs) και on-axis τομές. Στην πρώτη περίπτωση η επιπέδωση ήταν 1,21D και στη δεύτερη περίπτωση 0,41D. 6 μήνες μετά την επέμβαση η δράση επιπέδωσης (flattening effect) ήταν 1,1D και 0,35D αντίστοιχα. Επίσης ο SIA ήταν σημαντικά χαμηλότερος με την μέθοδο των on-axis τομών (0,84D) σε σχέση με τις LRI's (1,21D). Το συμπέρασμα ήταν ότι οι LRI's τομές είναι καταλληλότερες στις περιπτώσεις άνω της 1,5D αστιγματισμού.

3.3.2 Τομές ανώτερες, κροταφικές, άνω-κροταφικές και ρινικές τομές

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν την κατάλληλη εντόπιση της τομής. Οι ίνες στην περιφέρεια του κερατοειδή παρουσιάζουν διακυμάνσεις σε διαφορετικές περιοχές του σκληροκερατοειδούς ορίου (ΣΚΟ). Επίσης το οπτικό και γεωμετρικό κέντρο του κερατοειδή δεν συμπίπτουν.²⁴⁷

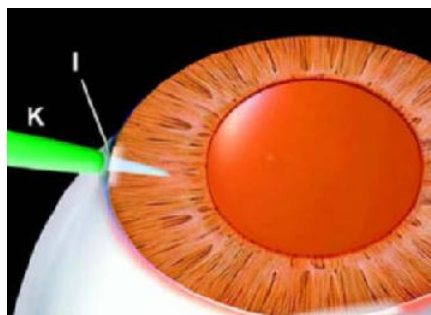
Το οπτικό κέντρο είναι περισσότερο ρινικά και κάτω σε σχέση με το γεωμετρικό κέντρο του κερατοειδή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τομές που εντοπίζονται πλησιέστερα στο

οπτικό κέντρο επηρεάζουν περισσότερο την καμπυλότητα του κερατοειδή. Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι ο βλεφαρισμός και η πίεση που ασκείται στον κερατοειδή, ακόμη και η βαρύτητα. Ενώ ο Nielsen²⁶⁶ υποστηρίζει ότι η αλλαγή από ανώτερη τομή σε κροταφική επηρεάζει μόνο την κατεύθυνση του αστιγματισμού, υπάρχουν άλλες εργασίες που υποστηρίζουν το αντίθετο.^{208,250,267}

Ο μεγαλύτερος SIA και η μεγάλη δυσκολία πρόσβασης στον κερατοειδή έχει περιορίσει την εφαρμογή των ρινικών τομών. Οι ανώτερες, άνω-κροταφικές και κροταφικές τομές είναι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες για τη μείωση και διόρθωση του αστιγματισμού. Οι κροταφικές τομές προκαλούν κύρτωση στον άξονα των 90°, ενώ οι άνω τομές στις 180° αντιστοίχως. Έτσι για διόρθωση «συμφώνως με τον κανόνα» αστιγματισμού εφαρμόζουμε ανώτερες τομές και για διόρθωση «παρά τον κανόνα» αστιγματισμού κροταφικές τομές. Οι ανώτερες τομές έχουν μεγαλύτερη δράση επιπέδωσης, η οποία αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου. Οι κροταφικές τομές προσφέρουν μεγαλύτερη ελευθερία από την πίεση των βλεφάρων και καλύτερα αποτελέσματα μετεγχειρητικής σταθερότητας των τομών. Επιπρόσθετα δεδομένου του γεγονότος ότι η πλειοψηφία των ηλικιωμένων οφθαλμών παρουσιάζουν «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό, οι κροταφικές τομές να συμβάλουν στην επιπέδωση του οριζόντιου άξονα.^{247,268,269}

Οι Rainer και συν.²⁶⁸ σύγκριναν ευρήματα της κερατοειδικής τοπογραφίας σε περιπτώσεις κροταφικών και άνω-κροταφικών τομών 3,0mm και βρήκαν σημαντικά μεγαλύτερη επιπέδωση στις πλάγιες τομές σε σχέση με τις κροταφικές. Οι Oshika και συν.²⁷⁰ μελέτησαν τη δράση των άνω και κροταφικών τομών στον ομαλό και ανώμαλο αστιγματισμό και έδειξαν ότι η εντόπιση των τομών δεν επηρεάζει τον ομαλό ή ανώμαλο SIA μετά την επέμβαση. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά άλλα εργασιών,²⁶⁹ όπου οι άνω τομές συνδέονται με «παρά τον κανόνα» αστιγματισμό και οι άνω τομές με «συμφώνως με τον κανόνα». Το 2002 οι Kohnen και συν.²⁴⁷ ο SIA τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα ήταν 0,47 και 1,05D στις κροταφικές και ρινικές τομές αντίστοιχα. Ο SIA με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζει μείωση. Παρ'όλα αυτά όταν πρόκειται για αστιγματικά ουδέτερη επέμβαση καλό είναι να αποφεύγονται οι ρινικές τομές. Οι Ermis και συν.²⁰⁸ σύγκριναν άνω-κροταφικές και άνω-ρινικές τομές σε δεξιά και αριστερά μάτια αντίστοιχα, και κατέληξαν ότι ο SIA μετά ένα χρόνο δεν παρουσιάζει διαφορές και στις δυο περιπτώσεις.

Σε μια μελέτη των Pawar και Sindal,²⁵⁰ έγινε σύγκριση των άνω, κροταφικών και άνω-κροταφικών τομών. Οι κροταφικές και άνω-κροταφικές σχετίζονταν με καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άνω τομές. Το συμπέρασμα ήταν οι άνω-κροταφικές τομές αποτελούν την καλύτερη επιλογή όσον αφορά τον SIA, λόγω της μικρότερης ασκούμενης πίεσης των βλεφάρων επί του κερατοειδή, και κατά συνέπεια μικρότερου αστιγματισμού. Οι Gokhale και Sawhney²⁷¹ επίσης υποστηρίζουν τις άνω-κροταφικές τομές. Οι Ozkurt και συν.²⁰⁹ σύγκριναν τις άνω-κροταφικές και άνω-ρινικές τομές σε 45 μάτια. Και στις δυο περιπτώσεις παρατηρήθηκε μείωση του προεγχειρητικού αστιγματισμού με καλύτερα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα στις άνω-κροταφικές τομές. Οι Tejedor και Murube²¹¹ παρουσίασαν ολοκληρωμένη μελέτη, στην οποία συγκρίθηκαν 5 διαφορετικοί τύποι τομών όσον αφορά τον προ- και μετεγχειρητικό αστιγματισμό, καθώς και αλλαγές στην όραση τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα με μέτρηση του δείκτη κερατοειδικής επιφανειακής ομαλότητας (corneal refractive surface regularity index). Οι 5 τομές ήταν οι άνω ή κροταφικές, άνω, άνω ή άνω και χαλαρωτικές, ρινικές ή κροταφικές και τομές βασιζόμενες σε αποτελέσματα προηγούμενων ή πρόσφατων μελετών. Κατέληξαν ότι όταν ο κυρτότερος άξονας είναι στις 90°, η προτιμώμενη εντόπιση τομής είναι η άνω για ασθενείς με τουλάχιστον 1,5D αστιγματισμό και κροταφική για αστιγματισμό >1,5D. Επίσης όταν ο κυρτότερος άξονας εντοπίζεται στις 180° και ο αστιγματισμός είναι <0,75D προτείνεται η κροταφική προσπέλαση. Σε περιπτώσεις >0,75D αστιγματισμού προτείνεται η ρινική τομή. Με τη βοηθητική τομή (sideport) ουσιαστικά γίνεται παρακέντηση του προσθίου θαλάμου με μαχαιρίδιο 30° και εύρους 1-1,5mm σε ορισμένη απόσταση από την κύρια τομή. Αποτελεί είσοδο για το εργαλείο κατακερμάτισης του φακού (choper), την πλύση και την έγχυση ουσιών κατά τη διάρκεια της επέμβασης (εικόνα 17).



Εικόνα 17. Δημιουργία βοηθητικής τομής.

3.3.3 Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της εντόπισης της τομής

Το μέγεθος, το σχήμα της τομής, η εφαρμογή της τομής επί του σκληρού, του ΣΚΟ ή του κερατοειδή και η επιλογή εφαρμογής ράμματος ή όχι στην τομή. Το μέγεθος της τομής είναι ένας επιβεβαιωμένος παράγοντας που συμβάλλει στη διαμόρφωση του μετεγχειρητικού αστιγματισμού. Τα τελευταία χρόνια το μέγεθος των τομών έχει μειωθεί αρκετά με την κατασκευή κατάλληλων μαχαιριδίων. Συνήθως οι τομές είναι <math><2,5\text{mm}</math>.^{218,220,249,272}

Παρά το γεγονός ότι οι τομές 2,2 και 1,8mm δεν επηρεάζουν τον αστιγματισμό σε σύγκριση με τις τομές των 3,2mm, παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά την πρόκληση ή τη διόρθωση του αστιγματισμού.^{218,220,249,272,273}

Ακόμη και οι 2,2 και 2,6mm τομές συγκρινόμενες με αυτές των 3,0mm, έχουν καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη διαθλαστική σταθερότητα και την όραση.²⁷⁴

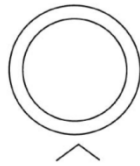
Μελέτες έχουν δείξει ότι 0,5mm αύξηση του μεγέθους της τομής σχετίζεται με 0,25D αλλαγή καμπυλότητας του κερατοειδή.²⁷⁵

Έτσι με τη χρήση των αναδιπλούμενων ενδοφακών στην επέμβαση του καταρράκτη αυτομάτως μειώθηκε το εύρος των τομών. Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι το εύρος της τομής παρουσιάζει μικρή αύξηση μετά την είσοδο του ενδοφακού στον οφθαλμό. Οι Kohnen και συν.²⁷⁶ έδειξαν ότι το μέγεθος της τομής μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 11% από την εισαγωγή του ενδοφακού.

Η απόσταση από το κέντρο του κερατοειδή παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του μετεγχειρητικού αστιγματισμού. Όσο μικρότερη είναι αυτή η απόσταση τόσο περισσότερο επηρεάζεται ο SIA, με τη μεγαλύτερη επίδραση να έχουν οι καθαρά κερατικές, ακολουθούμενες από τις σκληροκερατικές και σκληρικές τομές.

Ένας άλλος παράγοντας είναι το σχήμα της τομής. Οι σκληρικές τομές μπορεί να είναι ευθείες, καμπύλες (δίκην όφρεος) και ανεστραμμένου V (Chevron) τομές, με τις τελευταίες να θεωρούνται ότι προκαλούν ελάχιστο SIA.²⁷⁷

Η τριγωνική τομή Chevron προσδίδει μεγαλύτερη γεωμετρική σταθερότητα και επομένως προκαλεί μικρότερο τάση στα όρια της τομής (εικόνα 18).



Εικόνα 18. Τομή Chevron

Τέλος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η δεινότητα του χειρουργού στην εφαρμογή των τομών, καθώς και ο τύπος του injector που χρησιμοποιείται για την εναπόθεση του ενδοφακού.

Στις μελέτες που αφορούν τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αστιγματισμό οι διαφορές των τεχνικών τομής μεταξύ των μελετών δεν βοηθά στο να γίνει σωστή metaanalysis. Σύμφωνα με την πλειοψηφία των μελετών όλοι συμφωνούν ότι οι καθαρά κερατικές κροταφικές τομές σχετίζονται με το μικρότερο αστιγματισμό. Επίσης μείωση του SIA παρατηρούμε σε όλες τις τεχνικές τομών, αλλά η ουλοποίηση και σταθερότητα της τομής επιτυγχάνεται καλύτερα με τις κροταφικές τομές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ιδανική περίπτωση για την εφαρμογή τέτοιων τομών είναι να μην υπάρχει προεγχειρητικός αστιγματισμός. Σε μεγαλύτερο αστιγματισμό δεν φαίνεται να επηρεάζει λόγω της μεγαλύτερης απόστασης από το κέντρο του κερατοειδή. Για 0,75-1,25D αστιγματισμού οι απόψεις δίστανται. Για παράδειγμα σε περίπτωση «παρά τον κανόνα» αστιγματισμού οι Tejedor και Murube²¹¹ περιόρισαν το όριο στις 1,5D και πάνω. Έτσι λοιπόν για μείωση της επίδρασης των τομών επί του αστιγματισμού, η καλύτερη

εντόπιση είναι κατά το δυνατό πλησιέστερα στο ΣΚΟ για αύξηση της απόστασης από το οπτικό κέντρο του κερατοειδή.

Σε μελέτη μας που αφορούσε την επίδραση του χειρουργού στον SIA, βρέθηκε ότι μεταξύ διαφορετικών χειρουργών, οι οποίοι χειρουργούν μάτια με τα ίδια χαρακτηριστικά και με την ίδια τεχνική δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στον SIA. Φάνηκε δηλαδή ότι ο SIA εξαρτάται περισσότερο από τον προεγχειρητικό κερατοειδικό αστιγματισμό, την εντόπιση και το εύρος της κύριας τομής. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 άνω κροταφικές, άνω ρινικές και ανώτερες τομές εύρους 3,0-3,5mm παρουσιάζουν SIA 0,7-0,8D, οι επί του κυρτότερου άξονα τομές 0,8-1,0D, οι κροταφικές 0,6-0,7D και οι ρινικές 1,5 D SIA. Σε όλες τις περιπτώσεις ο SIA υπολογιζόταν με διανυσματική ανάλυση (πίνακας 2).

Superolateral/superomedial			On-axis			Temporal			Nasal		
Incision width (mm)	SIA (D)	Authors	Incision width (mm)	SIA (D)	Authors	Incision width	SIA (D)	Authors	Incision width (mm)	SIA (D)	Authors
4.0	OD-0.78	Özkurt Y <i>et al</i> ²⁰⁹ (2008)	3.2	0.92	Borasio E. <i>et al</i> ²⁰³ (2006)	3.0	0.71	Rainer G <i>et al</i> ²⁶⁸ (1999)	3.5	1.65	Barequet I <i>et al</i> ²⁶⁷ (2004)
	OS-1.19										
3.0	Superotemporal OD-0.85	Rainer G <i>et al</i> ²⁶⁸ (1999)	3.2	0.85	Khokhar S <i>et al</i> ²⁵⁸ (2006)	3.5	0.74	Barequet I <i>et al</i> ²⁶⁷ (2004)	3.6	1.55	Kohnen S <i>et al</i> ²⁴⁷ (2002)
	Superotemporal OS-0.77										
3.2	Superotemporal 0.75	Ermis S <i>et al</i> ²²⁶ (2004)	3.2	1.0	Simon G and Desatnik H ²⁷⁸ (2005)	3.6	0.62	Kohnen S <i>et al</i> ²⁴⁷ (2002)			
	Superonasal 0.71										
3.5	Superotemporal 0.68	Beltrame G <i>et al</i> ²⁴⁴ (2001)				3.2	0.68	Borasio E <i>et al</i> ²⁰³ (2006)			
	Superonasal 0.66										
3.0	WTR-1.03	Özyol E and Özyol P ²¹² (2012)				3.5	0.83	Yi-Hsuan Wei <i>et al</i> ²⁰⁴ (2012)			
	ATR-0.52										
4.0	Oblique-0.88	Rana Altan-Yaycioglu <i>et al</i> ²²⁵ (2007)				2.5	0.60	Yi-Hsuan Wei <i>et al</i> ²⁰⁴ (2012)			
	Superotemporal 1.08										
	Superonasal 1.36					2.8	0.46	Izzet Can <i>et al</i> ²⁷⁹ (2010)			
						2.2	0.24	Izzet Can <i>et al</i> ²⁷⁹ (2010)			
						1.8	0.42	Wilczynski M <i>et al</i> ²²⁰ (2009)			

Πίνακας 2. SIA σε περιπτώσεις διαφορετικού εύρους και εντόπισης κύριας τομής.²⁸⁰

4. ΣΚΟΠΟΣ

Υπάρχει πλήθος τεχνικών για την αντιμετώπιση του αστιγματισμού τόσο δι- όσο και μετεγχειρητικά. Καλή μη διορθωμένη μετεγχειρητική οπτική οξύτητα μπορούμε να επιτύχουμε σε μεγάλο ποσοστό καταρρακτικών ασθενών με προϋπάρχων κερατικό αστιγματισμό. Ο κερατοειδικός αστιγματισμός μπορεί να αντιμετωπιστεί κατά τη διάρκεια της επέμβασης του καταρράκτη είτε με την ένθεση τορικών ενδοφακών, είτε με κερατικές ή σκληροκερατικές χαλαρωτικές τομές ή με συνδυασμό των παραπάνω. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε μέθοδο. Ο κατάλληλος εξατομικευμένος σχεδιασμός της επέμβασης μπορεί να διορθώσει κυλινδρικά σφάλματα και να βελτιώσει την οπτική οξύτητα μη εξαρτώμενη από διόρθωση με γυαλιά.

Ο σκοπός της μελέτης είναι να ερευνήσουμε αν η εφαρμογή της βοηθητικής τομής μπορεί να επηρεάσει το διαθλαστικό αποτέλεσμα, ελέγχοντας και απομονώνοντας τους υπόλοιπους εκείνους παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν επίσης τον μετεγχειρητικό αστιγματισμό. Σε αυτούς του παράγοντες συμπεριλαμβάνονται οι παράμετροι του οφθαλμού και η αρχιτεκτονική των τομών.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Πρόκειται για μελέτη παρατήρησης, η οποία διενεργήθηκε στην Οφθαλμολογική Κλινική της Ιατρικής Σχολής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων σε συνεργασία με το Γενικό Νοσοκομείο Πειραιά «Γζάνειο» Αττικής, από το Φεβρουάριο του 2011 έως τον Οκτώβριο του 2013, σύμφωνα με τους κανόνες ηθικής της Διακήρυξης του Ελσίνκι. Από κάθε ασθενή υπογράφηκε γραπτή συγκατάθεση.

Σε αυτή τη μελέτη συμπεριελήφθησαν 333 ασθενείς. Όλοι οι οφθαλμοί παρουσίαζαν $\leq 1,5$ D αστιγματισμό.

Στα προεγχειρητικά κριτήρια αποκλεισμού περιλαμβάνονται όλες οι περιπτώσεις που αφορούν παθολογία του κερατοειδή ή προηγούμενη επέμβαση, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδή, καθώς και την εμβιομηχανική του. Έτσι λοιπόν δυστροφίες του επιθηλίου, του στρώματος ή του ενδοθηλίου, παρουσία ουλών και σύνδρομο ξηρού οφθαλμού είναι καταστάσεις που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της τοπογραφίας και μπορεί να οδηγήσουν σε μη επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Επίσης η χρόνια χρήση οφθαλμικών σταγόνων με συντηρητικά προκαλούν αλλοιώσεις της οφθαλμική επιφάνεια και κατ'επέκταση το αποτέλεσμα της κερατοειδικής τοπογραφίας (π.χ. αντιγλαυκωματικά, αντιαλλεργικά). Στις περιπτώσεις εκείνες που η τοπογραφία ήταν κακής ποιότητας (μη ομοιόμορφη κλεψύδρα) ή υπήρχαν μεγάλες διαφορές μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων αποκλείονταν από τη μελέτη.

Άλλα κριτήρια αποκλεισμού ήταν η κόρη σε μυδρίαση μικρότερη των 5,5 mm και καταρράκτης NC5NO5 και NC6NO6 (σταδιοποίηση σύμφωνα με το σύστημα LOCS III), παράγοντες που δυσχεραίνουν την επέμβαση και μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστέρηση και περαιτέρω στρεσάρισμα των τομών.

Επίσης οφθαλμοί με οριζόντια διάμετρο κερατοειδή $< 11,5$ και $> 12,5$ mm αποκλείονταν από τη μελέτη. Σε περιπτώσεις μικρής διαμέτρου κερατοειδή η τομή 3,0mm έχει μεγαλύτερη επίδραση επί του αστιγματισμού σε σχέση με τους κερατοειδείς μεγάλης διαμέτρου.²⁸¹

Μετεγχειρητικά κριτήρια αποκλεισμού αποτελούσε η ένθεση ράμματος στις τομές, το οποίο σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να κρίνεται αναγκαίο στο τέλος της επέμβασης, όπως για παράδειγμα σε τομές που «δακρύζουν», λόγω στρεσαρίσματος, κακής εφαρμογής κερατοειδικού οιδήματος για στεγανοποίηση ή σε πολύ παχύσαρκους ασθενείς, οι οποίοι ζορίζονται κατά την έγερση. Η παρουσία επιπλοκών στην επέμβαση του καταρράκτη, οι οποίες μπορεί να καθυστερήσουν την επεμβατική διαδικασία ή να καταστήσουν αναγκαία την επέκταση της κύριας τομής. Επίσης η παρουσία φουσκώματος (balloning) του επιπεφυκότα σημαίνει ότι η κύρια τομή έγινε σκληροκερατικά με αποτέλεσμα να προκληθεί σχάση του επιπεφυκότα και εισροή υγρού κατά τη διάρκεια της φακοθρυψίας. Τομές που δεν επουλώνονταν μετεγχειρητικά εξαιτίας εγκαύματος (μικρή και στενή τομή, η οποία δεν επιτρέπει τη δίοδο υγρού που ψύχει το άκρο του στυλεού της φακοθρυψίας και έτσι η αυξημένη θερμοκρασία απορροφάται από τον κερατοειδή). Τέλος σε μεγαλύτερες του επιθυμητού εύρους τομές μπορεί να παρατηρηθεί ασταθής πρόσθιος θάλαμος, σε μεγαλύτερες ή περισσότερο σκληροκερατικές τομές πρόπτωση ίριδας, σε καθαρά κερατικές εντοπισμένες πλησιέστερα στο κέντρο τομές παρατηρούνται γραμμώσεις ή πτυχώσεις κερατοειδή, ενώ οι επιφανειακές τομές έχουν την τάση να «δακρύζουν», λόγω αδυναμίας εφαρμογής ικανού κερατοειδικού οιδήματος.

Προεγχειρητικά όλοι οι ασθενείς υποβάλλονταν σε εξέταση οπτικής οξύτητας και βιομικροσκόπηση, μέτρηση ενδοφθάλμιας πίεσης με τονόμετρο επιπέδωσης Goldmann, βυθοσκόπηση. Βιομετρία διενεργούνταν με A-scan υπέρηχο. Κερατοειδικά δεδομένα λαμβάνονταν από τοπογραφία κερατοειδή EyeSys Vista 2000. 3 επαναλαμβανόμενες μετρήσεις εκτελούνταν και τα αποτελέσματα συγκρίνονταν με τα αποτελέσματα αυτόματου διαθλασίμετρου NIDEK ARK-510A. Όταν παρατηρούνταν διαφορά πάνω από 0,5D και/ή 20° οι ασθενείς αποκλείονταν από τη μελέτη.

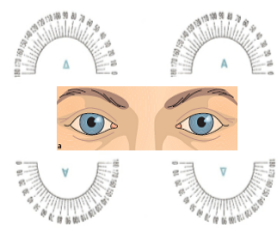
Προεγχειρητικά στη σχισμοειδή λυχνία σημειώνονταν οι άξονες των 90°, 180° και 0° ως άξονες αναφοράς με χειρουργικό στυλεό σε καθιστή θέση. Η σχισμή φωτός στρεφόταν στον άξονα που θέλαμε να σημειώσουμε. Ο ασθενής προσήλωνε πίσω μας σε μακρινή απόσταση. Η σημείωση γινόταν προεγχειρητικά για να αποφευχθεί η κυκλοστροφή.^{81,282,283}

Η κύρια τομή σημειωνόταν στις 100-130°, ενώ η βοηθητική τομή σημειωνόταν προεγχειρητικά στη λυχνία ανάλογα με την ομάδα στην οποία συμμετείχε. Στις περιπτώσεις όπου η απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής ήταν <90°, η κύρια τομή σημειωνόταν στις 100-130° και η βοηθητική στις 30-50°, ενώ στις περιπτώσεις απόστασης >110° η βοηθητική τομή σημειωνόταν στις 350-10°. Οι τομές είναι συγκεκριμένου εύρους, επομένως δεν μπορούμε να αναφερθούμε στην εντόπισή τους σε συγκεκριμένο άξονα. Σε κερατοειδή μέσης διαμέτρου 12,0mm, το εύρος 3,0mm της κύριας τομής αντιστοιχεί σε 28,66°-30° και το 1,0mm της βοηθητικής τομής σε 9,55-10°, αντίστοιχα. Διεγχειρητικά η εντόπιση των τομών επιβεβαιωνόταν με τον κλασσικό δακτύλιο του Mendez.

Ο προεγχειρητικός έλεγχος προγραμματιζόταν την 1^η μέρα, τον 1^ο μήνα και τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση του καταράκτη. Βιομικροσκόπηση στη σχισμοειδή λυχνία όπου ο άξονας της κύριας και βοηθητικής τομής σημειώνονταν στρέφοντας τη φωτεινή σχισμή επί του άξονα της τομής και αντιστοιχίζοντας το εύρος της σχισμής στα όρια της τομής. Επίσης εξεταζόταν η καλύτερα διορθωμένη οπτική οξύτητα σε οπτότυπο Snellen. Ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός (SIA) υπολογίστηκε διανυσματικά με τη μέθοδο Alpin. Όλες οι περιπτώσεις που παρουσίαζαν αλλαγή στην ισχύ του αστιγματισμού >0,5 διοπτρίες και στον άξονα >20° ανεξαρτήτως κατεύθυνσης κλίσης του άξονα μελετήθηκαν. Επίσης να σημειωθεί ότι «παρά τον κανόνα» αστιγματισμός θεωρούνταν τα μάτια με άξονα από 0-25° και 155-180°. «Συμφώνως με τον κανόνα» θεωρούνταν τα μάτια με άξονα αστιγματισμού 65-115°. Οι οφθαλμοί με πλάγιο αστιγματισμό λόγω του μικρού αριθμού τους αποκλείστηκαν από τη μελέτη.

Ο προεγχειρητικός έλεγχος και οι μετεγχειρητικά παρακολούθηση σημειώνονταν στο πρωτόκολλο τομών της επέμβασης καταράκτη (εικόνα 19).

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ - Microsoft Word

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΜΩΝ στην ΕΠΕΜΒΑΣΗ του ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗ				ΟΔΟΣ
Όνοματεπώνυμο:	Ηλικία:	Τηλέφωνο:		
Αρ. ασθενή:	Ημερομηνία επίμβασης:	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>ΠΡΟΕΓΧΕΙΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ:</p> <p>ΜΕΤΕΓΧΕΙΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ:</p> <p>1^{ος} μήνας:</p> <p>6^{ος} μήνας:</p> <p>Παρατηρήσεις:</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
Πρόσθιος θάλαμος:	ΤΟΜΗ:			
Αξονικό μήκος:	TUNNEL:			
Κερατοειδής:	SIDEPORT:			
Καταρράκτης:	Μήκος τούνελ:			
ΙΟΛ:	Πλάτος τούνελ:	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ		
PRE: 3mm K1= K2=	POST(1 ^{ος}): 3mm K1= K2=	POST(6 ^{ος}): 3mm K1= K2=		

Σελίδα 1 Ενότητα 1 1/2 Στο 1εκ. Γρ. 1 Στ. 1 ΕΠ ΑΝΑΘ ΕΚΤ ΑΝΤ Ελληνικά

Εικόνα 19. Πρωτόκολλο τομών επέμβασης καταρράκτη.

Χειρουργική τεχνική

Όλοι οι ασθενείς υπεβλήθησαν σε φακοθρυψία με οριζόντιο chopping χρησιμοποιώντας το μηχάνημα Sovereign με τεχνολογία WhiteStar (Abbott Medical Optics Inc, Santa Ana, CA, USA). Όλες οι επεμβάσεις διενεργήθηκαν από ένα χειρουργό (εμπειρία >3000 επεμβάσεις καταρράκτη). Γινόταν τοπική αναισθησία με ενστάλλαξη τετρακαΐνης 0,5%. Κύρια τομή ήταν καθαρά κερατική 3-βημάτων, 3,0mm εφαρμοζόταν άνω κροταφικά για τους δεξιούς οφθαλμούς και άνω ρινικά στους αριστερούς, δηλαδή στις 100-130°.

Για την προστασία του ενδοθηλίου και τη διατήρηση προσθίου θαλάμου χρησιμοποιήθηκε ιξωδοελαστικό μέτριου ινώδους sodium hyaluronate 1.5% (La Lon; LA Labs, Los Angeles, CA, USA).

Ακολούθησε συνεχής καμουλόρηξη και εφαρμογή της βοηθητικής τομής ενός βήματος 1,0mm σε προκαθορισμένη απόσταση από την κύρια τομή (<90°, 90-110° και >110°). Γινόταν υδροαποκόλληση υδροδιαχωρισμός και πλήρης αφαίρεση πυρήνα με φακοθρυψία και ένθεση αναδιπλούμενου PMMA 3-τμημάτων ενδοφακού. Όλοι οι

οφθαλμοί μετεγχειρητικά ακολουθούσαν φαρμακευτική αγωγή με σταγόνες τομπραμυκίνης-δεξαμεθαζόνης και νεπαφενάκης 4 φορές ημερησίως για την 1^η εβδομάδα και μείωση σε 3 φορές ημερησίως μέχρι να συμπληρωθεί 1 μήνας από την επέμβαση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μέσες τιμές (mean) και οι τυπικές αποκλίσεις (Standard Deviation=SD) χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των ποσοτικών μεταβλητών. Οι απόλυτες (N) και οι σχετικές (%) συχνότητες χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των ποιοτικών μεταβλητών. Για τη σύγκριση αναλογιών χρησιμοποιήθηκε το Pearson's χ^2 test ή το Fisher's exact test όπου ήταν απαραίτητο. Για τη σύγκριση ποσοτικών μεταβλητών μεταξύ δυο ομάδων χρησιμοποιήθηκε το Student's t-test. Πολυπαραγοντική λογαριθμιστική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε προκειμένου να ελέγξει αν ο τύπος αστιγματισμού και η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής σχετίζονται με τη μεταβολή πάνω από 0,5D στην ισχύ ή πάνω από 20° στον άξονα του αστιγματισμού. Ελέγχθηκαν και οι αλληλεπιδράσεις του τύπου αστιγματισμού με την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής. Προέκυψαν σχετικοί λόγοι (Odds ratio) με τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης τους (95% ΔΕ). Η ανάλυση διασποράς για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ελεγχθούν διαφορές στις μετρήσεις μεταξύ των ομάδων αλλά και χρονικά. Επίσης, με την ανωτέρω μέθοδο εκτιμήθηκε εάν ο βαθμός μεταβολής στο χρόνο των υπό μελέτη παραμέτρων ήταν διαφορετικός μεταξύ των δυο ομάδων. Για τον έλεγχο του σφάλματος τύπου I, λόγω των πολλαπλών συγκρίσεων χρησιμοποιήθηκε η διόρθωση κατά Bonferroni σύμφωνα με την οποία το επίπεδο σημαντικότητας είναι 0,05/κ (κ= αριθμός των συγκρίσεων). Τα επίπεδα σημαντικότητας είναι αμφίπλευρα και η στατιστική σημαντικότητα τέθηκε στο 0,05. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19.0.

Η ευρύτερη μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τον αστιγματισμό στην επέμβαση του καταρράκτη οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων όχι μόνο για την επίδραση της

βοηθητικής τομής, αλλά και για την επίδραση της διαμέτρου του κερατοειδή ως παράγοντα που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό της επέμβασης.

1.0 Διάμετρος κερατοειδή ως παράγοντας επίδρασης του κερατοειδικού αστιγματισμού στην επέμβαση καταρράκτη

Έγιναν μετρήσεις σε 330 μάτια (170 αριστερά και 160 δεξιά). Η μέση ηλικία των ασθενών ήταν 72,0 έτη (SD=9,0 έτη) και το 54,2% ήταν γυναίκες. Το 32,9% των αριστερών ματιών είχαν διάμετρο κερατοειδή 12-12,2mm και το 32,4% είχαν διάμετρο 11,7-11,9mm. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τα δεξιά μάτια ήταν 25,6% και 31,3% αντίστοιχα (πίνακας 3).

	Αριστερά μάτια (N=170)	Δεξιά μάτια (N=160)
	N (%)	N (%)
Διάμετρος κερατοειδή(mm)		
≤11,6	28 (16,5)	32 (20,0)
11,7-11,9	55 (32,4)	50 (31,3)
12-12,2	56 (32,9)	41 (25,6)
≥12,3	31 (18,2)	37 (23,1)

Πίνακας 3. Αριθμός δεξιών και αριστερών οφθαλμών ανάλογα με την κερατοειδική διάμετρο.

	Μάτι						P Student 's t-test
	Αριστερό			Δεξί			
	Μέση τιμή	SD	Διάμεσ ος	Μέση τιμή	SD	Διάμεσ ος	
ΔΚ* (D)	0,99	0,78	0,73	1,11	0,79	0,93	0,187
ΔΚ1	1,27	0,82	1,13	1,24	0,77	1,10	0,682
ΔΚ6	1,19	0,87	0,99	1,20	0,81	0,98	0,880
SIA1** (D)	0,77	0,44	0,66	0,70	0,50	0,64	0,221
SIA6	0,66	0,35	0,59	0,62	0,37	0,56	0,248

*ΔΚ-προεγχειρητική ισχύς αστιγματισμού, ΔΚ1 και ΔΚ6-ισχύς αστιγματισμού 1^{ου} και 6^{ου} μετεγχειρητικού μήνα αντίστοιχα

**SIA1 και SIA6-χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός τον 1^ο και 6^ο μήνα αντίστοιχα μετεγχειρητικά.

Πίνακας 4. Η ισχύς του αστιγματισμού (ΔΚ) και ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός (SIA) πριν και μετά την επέμβαση καταρράκτη σε δεξιούς και αριστερούς οφθαλμούς.

Οι τιμές της ισχύος του αστιγματισμού (ΔΚ) και του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού (SIA) ήταν παρόμοιες σε αριστερά και δεξιά μάτια, σε όλη τη διάρκεια της παρακολούθησης τον 1^ο και 6^ο μήνα μετά την επέμβαση (πίνακας 4).

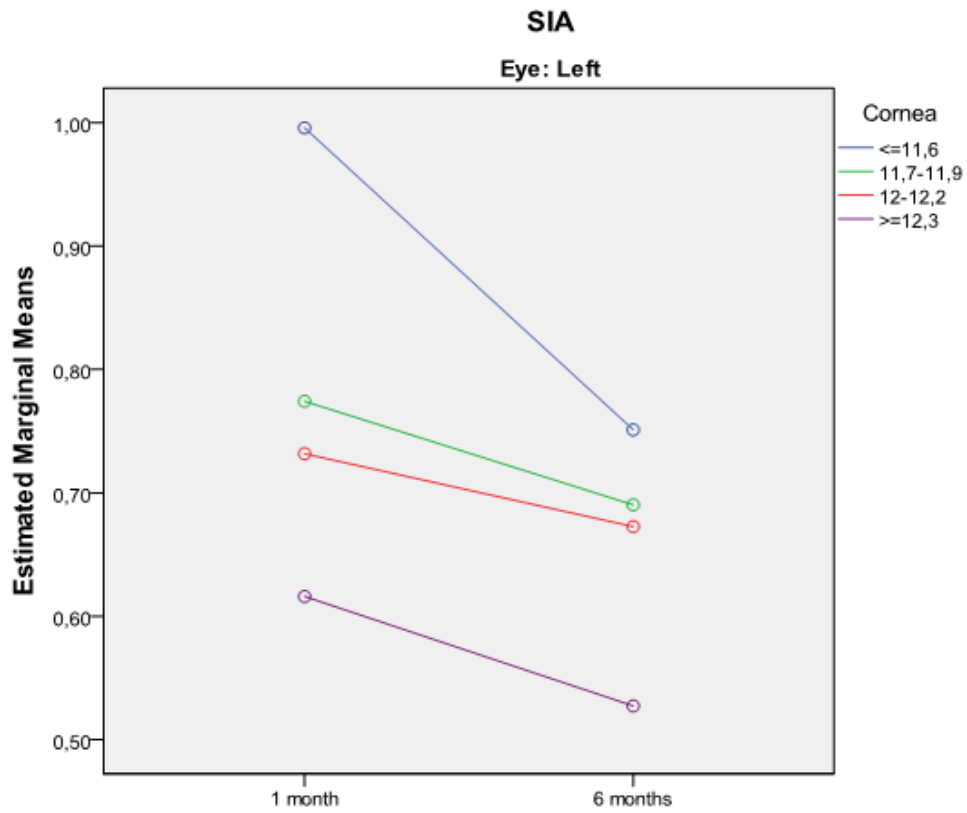
	<u>SIA (D) (1 μήνας)</u>		<u>SIA (D) (6 μήνες)</u>		P**
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	
Αριστερά μάτια					
Διάμετρος κερατοειδή (mm)					
≤11,6 ^A	1,00	0,45	0,75	0,37	<0,001
11,7-11,9 ^B	0,77	0,47	0,69	0,33	0,040
12-12,2 ^Γ	0,73	0,46	0,67	0,37	0,143
≥12,3 ^Δ	0,62	0,25	0,53	0,28	0,102
P* (A vs. B)	0,162		0,972		
P* (A vs. Γ)	0,054		0,908		
P* (A vs. Δ)	0,006		0,080		
P* (B vs. Γ)	0,996		1,000		
P* (B vs. Δ)	0,489		0,202		
P* (Γ vs. Δ)	0,799		0,317		
Δεξιά μάτια					
Διάμετρος κερατοειδή (mm)					
≤11,6 ^A	0,97	0,71	0,78	0,48	0,003
11,7-11,9 ^B	0,80	0,39	0,69	0,35	0,030
12-12,2 ^Γ	0,60	0,42	0,55	0,32	0,321
≥12,3 ^Δ	0,46	0,35	0,46	0,26	0,982
P* (A vs. B)	0,538		0,874		
P* (A vs. Γ)	0,008		0,041		
P* (A vs. Δ)	<0,001		0,002		
P* (B vs. Γ)	0,254		0,294		
P* (B vs. Δ)	0,006		0,017		
P* (Γ vs. Δ)	0,685		0,844		

Πίνακας 5. SIA τον 1^ο και 6^ο μετεγχειρητικό μήνα ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή, σε δεξιούς και αριστερούς οφθαλμούς.

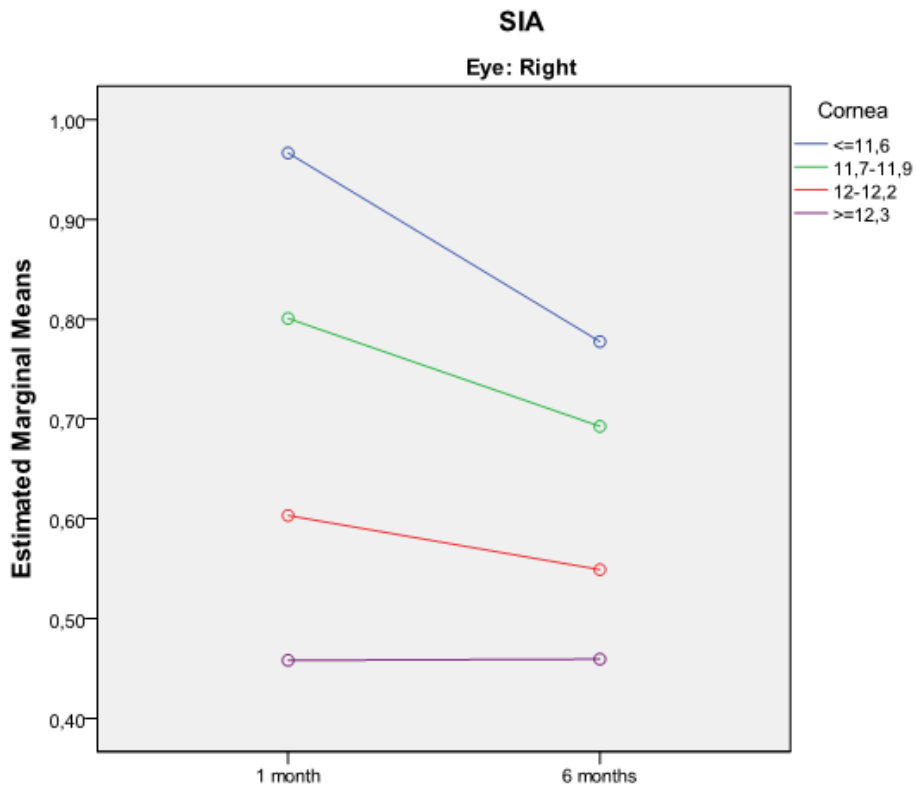
Τόσο στα αριστερά όσο και στα δεξιά μάτια, με διάμετρο κερατοειδή κάτω από 11,6mm ή 11,7- 11,9mm υπήρξε σημαντική μείωση του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού στους 6 μήνες, συγκριτικά με τον 1^ο μήνα (πίνακας 5).

Στα αριστερά μάτια, στον 1^ο μήνα οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες όταν η διάμετρος του κερατοειδή ήταν $\leq 11,6\text{mm}$ σε σύγκριση με όταν ήταν $\geq 12,3\text{mm}$. Στα δεξιά μάτια, στον 1^ο μήνα οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες όταν η διάμετρος του κερατοειδή ήταν το πολύ 11,6mm σε σύγκριση με όταν ήταν 12-12,2mm ή $\geq 12,3\text{mm}$. Επίσης, οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες όταν η διάμετρος του κερατοειδή ήταν 11,7-11,9mm σε σύγκριση με όταν ήταν $\geq 12,3\text{mm}$.

Στα αριστερά μάτια, στον 6^ο μήνα οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν παρόμοιες ανεξάρτητα από τη διάμετρο του κερατοειδή. Στα δεξιά μάτια, στον 6^ο μήνα οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες όταν η διάμετρος του κερατοειδή ήταν το πολύ 11,6mm σε σύγκριση με όταν η διάμετρος ήταν 12-12,2mm ή $\geq 12,3\text{mm}$. Επίσης, οι τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες όταν η διάμετρος του κερατοειδή ήταν 11,7-11,9mm σε σύγκριση με όταν ήταν $\geq 12,3\text{mm}$ (γράφημα 1, γράφημα 2).



Γράφημα 1. Μεταβολή του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού από τον 1 στους 6 μήνες, ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή για τα αριστερά μάτια.



Γράφημα 2. Μεταβολή του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού από τον 1 στους 6 μήνες, ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή για τα δεξιά μάτια.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα ποσοστά με μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή, ξεχωριστά για αριστερά και δεξιά μάτια.

		Διάμετρος κερατοειδή (mm)			
		≤11,6 A N (%)	11,7-11,9 B N (%)	12-12,2 Γ N (%)	≥12,3 Δ N (%)
Αριστερά μάτια					
Μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1 ^{ος} μήνας)	Όχι	13 (46,4)	29 (52,7)	41 (73,2)	21 (67,7)
	Ναι	15 (53,6) ^Γ	26 (47,3) ^Γ	15 (26,8) ^{A,B}	10 (32,3)
Μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6 ^{ος} μήνας)	Όχι	13 (46,4)	37 (67,3)	45 (80,4)	27 (87,1)
	Ναι	15 (53,6) ^{Γ,Δ}	18 (32,7) ^Δ	11 (19,6) ^A	4 (12,9) ^{A,B}
Μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1 ^{ος} μήνας)	Όχι	18 (64,3)	33 (60,0)	33 (58,9)	18 (58,1)
	Ναι	10 (35,7)	22 (40,0)	23 (41,1)	13 (41,9)
Μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6 ^{ος} μήνας)	Όχι	16 (57,1)	30 (54,5)	31 (55,4)	19 (61,3)
	Ναι	12 (42,9)	25 (45,5)	25 (44,6)	12 (38,7)
Δεξιά μάτια					
Μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1 ^{ος} μήνας)	Όχι	13 (46,4)	29 (52,7)	41 (73,2)	21 (67,7)
	Ναι	15 (53,6) ^Γ	26 (47,3) ^Γ	15 (26,8) ^{A,B}	10 (32,3)
Μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6 ^{ος} μήνας)	Όχι	13 (46,4)	37 (67,3)	45 (80,4)	27 (87,1)
	Ναι	15 (53,6) ^{Γ,Δ}	18 (32,7) ^Δ	11 (19,6) ^A	4 (12,9) ^{A,B}
Μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1 ^{ος} μήνας)	Όχι	18 (64,3)	33 (60,0)	33 (58,9)	18 (58,1)
	Ναι	10 (35,7)	22 (40,0)	23 (41,1)	13 (41,9)
Μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6 ^{ος} μήνας)	Όχι	16 (57,1)	30 (54,5)	31 (55,4)	19 (61,3)
	Ναι	12 (42,9)	25 (45,5)	25 (44,6)	12 (38,7)

Σημείωση: Τα A, B, Γ υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)

Πίνακας 6. Σύνολο οφθαλμών που παρουσίασαν μεταβολή > 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού και > 20° στον άξονα του αστιγματισμού ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή τον 1^ο και 6^ο μετεγχειρητικό μήνα.

Το ποσοστό της μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση καταρράκτη ήταν σημαντικά χαμηλότερο όταν η διάμετρος του κερατοειδή, τόσο στα αριστερά όσο και στα δεξιά μάτια, ήταν 12-12,2mm σε σύγκριση με όταν ήταν το πολύ 11,6mm ή όταν ήταν 11,7-11,9mm. Το ποσοστό μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση ήταν σημαντικά υψηλότερο όταν η διάμετρος του κερατοειδή, τόσο στα αριστερά όσο και στα δεξιά μάτια, ήταν το πολύ 11,6mm σε σύγκριση με όταν ήταν 12-12,2mm ή όταν ήταν πάνω από 12,2mm. Όμοια, το ποσοστό μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 6^ο μήνα ήταν σημαντικά υψηλότερο όταν η διάμετρος του κερατοειδή, τόσο στα αριστερά όσο και στα δεξιά μάτια, ήταν 11,7-11,9mm σε σύγκριση με όταν ήταν πάνω από 12,2mm (πίνακας 6, γράφημα 3).

Μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1ο μετεγχειρητικό μήνα



Γράφημα 3. Ποσοστά μεταβολής >0,5 D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα σε δεξιούς και αριστερούς οφθαλμούς.

2.0 Η επίδραση της βοηθητικής τομής στον αστιγματισμό μετά από επέμβαση καταρράκτη

Έγιναν μετρήσεις σε 308 μάτια (158 αριστερά και 150 δεξιά) αναφορικά με την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής. Η μέση ηλικία των ασθενών ήταν 72,6 έτη (SD=9,1 έτη) και το 46,4% ήταν άντρες. Το 55,5% των ματιών είχε αστιγματισμό ATR και το υπόλοιπο 44,5% είχε WTR. Η πλειοψηφία τόσο των αριστερών όσο και των δεξιών ματιών είχε 100-110° απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής με τα ποσοστά να είναι 47,5% και 40,0% αντίστοιχα (πίνακας 7).

	Αριστερά μάτια (N=158)	Δεξιά μάτια (N=150)
	N (%)	N (%)
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής		
≤95°	43 (27,2)	54 (36,0)
100-110°	75 (47,5)	60 (40,0)
>110°	40 (25,3)	36 (24,0)

Πίνακας 7. Κατανομή δεξιών και αριστερών οφθαλμών στις διαφορετικές αποστάσεις κύριας και βοηθητικής τομής.

Οι τιμές της ισχύος του αστιγματισμού ήταν παρόμοιες σε αριστερά και δεξιά μάτια, σε όλη τη διάρκεια της παρακολούθησης (πίνακας 8).

	Αριστερά μάτια		Δεξιά μάτια		P Student 's t- test
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	
Astigmatism (προεγχειρητικά)	1,04	0,86	1,12	0,78	0,359
Astigmatism (1^ο μετεγχειρητικό μήνα)	1,31	0,92	1,23	0,77	0,408
Astigmatism (6^ο μετεγχειρητικό μήνα)	1,14	0,90	1,20	0,80	0,545

Πίνακας 8. Προεγχειρητικές και μετεγχειρητικές μετρήσεις της ισχύος του αστιγματισμού σε αριστερούς και δεξιούς οφθαλμούς.

Το ποσοστό των αριστερών ματιών με μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση ήταν σημαντικά χαμηλότερο όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν 100-110^ο σε σύγκριση με όταν ήταν το πολύ 95^ο ή όταν ήταν πάνω από 110^ο. Τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα το αντίστοιχο ποσοστό ήταν σημαντικά υψηλότερο όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν πάνω από 110^ο σε σύγκριση με όταν ήταν το πολύ μέχρι 95^ο, καθώς και υψηλό σε απόσταση 100-110^ο σε σύγκριση με το πολύ μέχρι 95^ο.

Το ποσοστό των αριστερών ματιών με μεταβολή άνω των 20^ο στον άξονα του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα ήταν σημαντικά χαμηλότερο όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν 100-110^ο σε σύγκριση με όταν ήταν το πολύ 95^ο ή όταν ήταν πάνω από 110^ο. Τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα παρατηρήθηκε αύξηση του ποσοστού με μεταβολή >20^ο όταν η απόσταση μεταξύ των τομών ήταν 100-110^ο.

Το ποσοστό των δεξιών ματιών με μεταβολή πάνω από 0,5D τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα ήταν υψηλότερο όταν η απόσταση μεταξύ των τομών ήταν μέχρι 95^ο σε σύγκριση με τα ποσοστά στις περιπτώσεις απόστασης μεταξύ των τομών 100-110^ο και πάνω από 110^ο.

Τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα το ποσοστό μεταβολής ήταν χαμηλότερο στις περιπτώσεις απόστασης 100-110^ο.

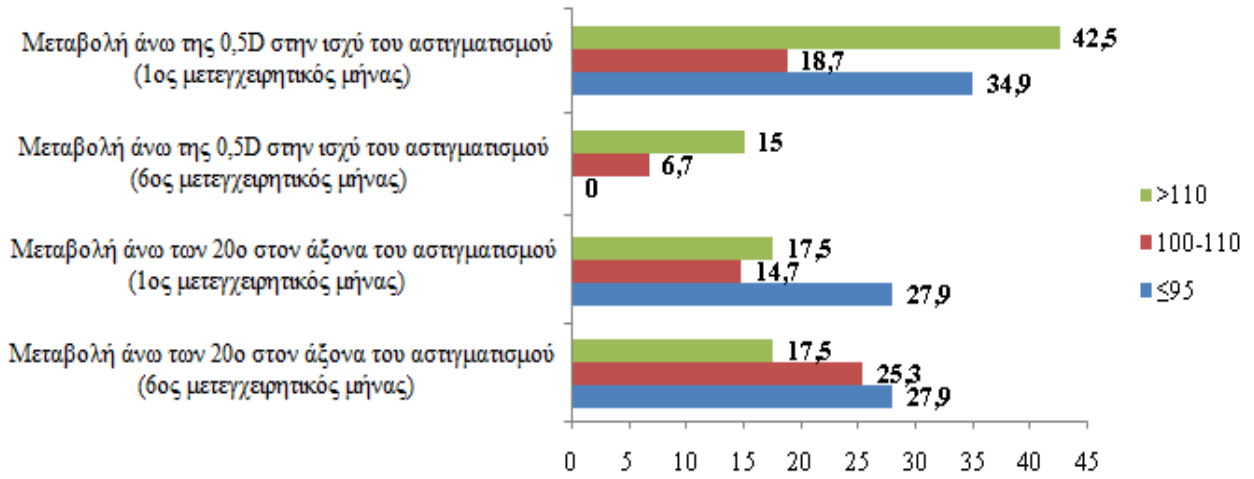
Τα δεξιά μάτια με απόσταση μεταξύ των τομών 100-110^ο δεν παρουσίασαν μεταβολή πάνω από 20^ο τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση, αλλά τον 6^ο μήνα. Επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό μεταβολής τον 1^ο μήνα ανήκει στις περιπτώσεις μέχρι 95^ο, ενώ τον 6^ο μήνα στις περιπτώσεις απόστασης πάνω από 110^ο μεταξύ των τομών. Σε όλες τις περιπτώσεις η απόσταση 100-110^ο παρουσιάζει τις μικρότερες μεταβολές τον 1^ο μήνα, ενώ τον 6^ο μήνα τα ποσοστά αλλαγής μεταξύ των ομάδων δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές (πίνακας 9, γράφημα 4, γράφημα 5).

		Απόσταση μεταξύ της κύριας και βοηθητικής τομής		
		≤95° A N (%)	100-110° B N (%)	>110° Γ N (%)
Αριστερά μάτια				
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	28 (65,1)	61 (81,3)	23 (57,5)
	Ναι	15 (34,9) ^B	14 (18,7) ^{A,Γ}	17 (42,5) ^B
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	43 (100,0)	70 (93,3)	34 (85,0)
	Ναι	0 (0,0) ^Γ	5 (6,7)	6 (15,0) ^A
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	31 (72,1)	64 (85,3)	33 (82,5)
	Ναι	12 (27,9)	11 (14,7)	7 (17,5)
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	31 (72,1)	56 (74,7)	33 (82,5)
	Ναι	12 (27,9)	19 (25,3)	7 (17,5)
Δεξιά μάτια				
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	42 (77,8)	50 (83,3)	30 (83,3)
	Ναι	12 (22,2)	10 (16,7)	6 (16,7)
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	49 (90,7)	56 (93,3)	31 (86,1)
	Ναι	5 (9,3)	4 (6,7)	5 (13,9)
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	42 (77,8)	60 (100,0)	32 (88,9)
	Ναι	12 (22,2) ^B	0 (0,0) ^{A,Γ}	4 (11,1) ^B
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	44 (81,5)	46 (76,7)	27 (75)
	Ναι	10 (18,5)	14 (23,3)	9 (25)

Σημείωση: Τα A, B, Γ υποδηλώνουν σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)

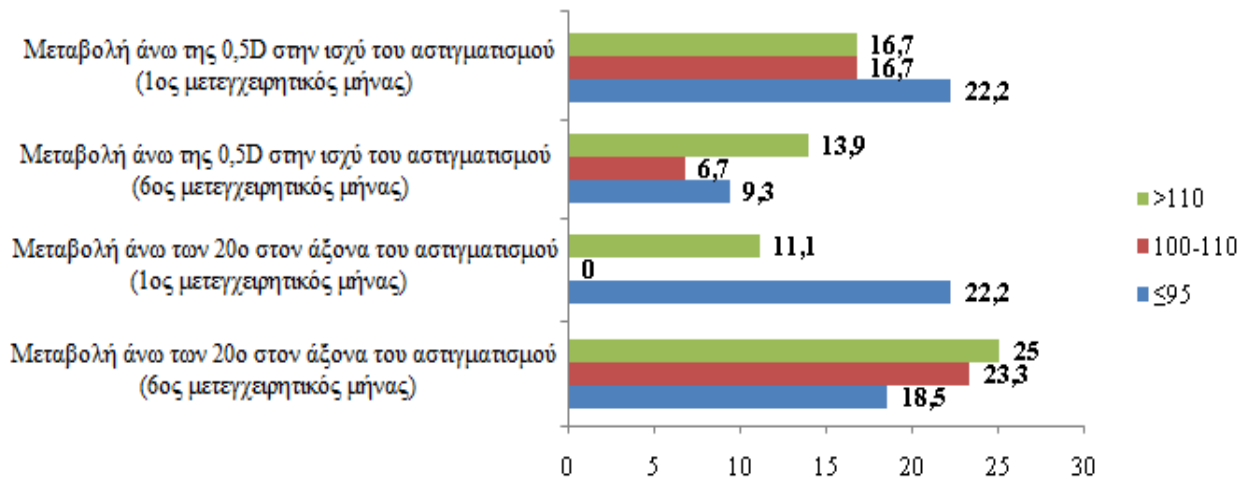
Πίνακας 9. Σύνολο οφθαλμών που παρουσίασαν μεταβολή > 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού και > 20° στον άξονα του αστιγματισμού ανάλογα με την απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής, ξεχωριστά για αριστερά και δεξιά μάτια.

Αριστερά μάτια



Γράφημα 4. Ποσοστά μεταβολής της ισχύος (>0,5D) και του άξονα (>20°) του αστιγματισμού σε αριστερούς οφθαλμούς.

Δεξιά μάτια



Γράφημα 5. Ποσοστά μεταβολής της ισχύος (>0,5D) και του άξονα (>20°) του αστιγματισμού σε δεξιούς οφθαλμούς.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν ξεχωριστά δεξιούς και αριστερούς οφθαλμούς μη λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του αστιγματισμού. Έτσι λοιπόν τα αποτελέσματα για τους αριστερούς οφθαλμούς με ATR αστιγματισμό έχουν ως εξής: σημαντική πλειοψηφία των

ματιών παρουσίασε μεταβολή της ισχύος του αστιγματισμού $>0,5D$ στις περιπτώσεις με απόσταση μεταξύ των τομών $>110^\circ$ και τον 1^ο και τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα. Στα δεξιά μάτια με ATR αστιγματισμό η μεταβολή της ισχύος ήταν περίπου η ίδια και στις τρεις ομάδες μελέτης με μικρή αύξηση του ποσοστού σε τομές με απόσταση μέχρι 95° τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση. Και εδώ, αν και με μικρότερη διαφορά, η απόσταση $100-110^\circ$ φαίνεται να επηρεάζει λιγότερο τις μεταβολές στην ισχύ του αστιγματισμού.

Η αντίστοιχη μεταβολή $>20^\circ$ του άξονα του αστιγματισμού σε αριστερούς οφθαλμούς με ATR φαίνεται ότι εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στις περιπτώσεις με $>110^\circ$ απόσταση μεταξύ των τομών τόσο τον 1^ο όσο και τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση. Σε δεξιούς με ATR αστιγματισμό τα ποσοστά μεταβολής του άξονα αλλάζουν από τον 1^ο στον 6^ο μήνα, καθώς στις περιπτώσεις μέχρι 95° απόστασης είναι υψηλότερα τον 1^ο μήνα συγκριτικά με τις περιπτώσεις $100-110^\circ$ και $>110^\circ$, ενώ τον 6^ο μήνα στις 2 τελευταίες περιπτώσεις παρατηρείται σημαντική αύξηση του ποσοστού ματιών που παρουσιάζουν μεταβολή του άξονα $>20^\circ$ (πίνακας 10).

Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής

		≤95°		100-110°		>110°	
		N	%	N	%	N	%
Αριστερά μάτια (ATR)							
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	15	57,7	29	76,3	6	35,3
	Ναι	11	42,3	9	23,7	11	64,7
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	26	100	35	92,1	12	70,6
	Ναι	0	0	3	7,9	5	29,4
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	20	76,9	33	86,8	16	94,1
	Ναι	6	23,1	5	13,2	1	5,9
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	18	69,2	26	68,4	15	88,2
	Ναι	8	30,8	12	31,6	2	11,8
Δεξιά μάτια (ATR)							
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	29	76,3	30	85,7	14	82,4
	Ναι	9	23,7	5	14,3	3	17,6
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	34	89,5	34	97,1	15	88,2
	Ναι	4	10,5	1	2,9	2	11,8
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (1^ο μήνα)	Όχι	26	68,4	35	100	15	88,2
	Ναι	12	31,6	0	0	2	11,8
Μεταβολή άνω 20° στον άξονα του αστιγματισμού (6^ο μήνα)	Όχι	28	73,7	21	60	9	52,9
	Ναι	10	26,3	14	40	8	47,1

Πίνακας 10. Ποσοστά με μεταβολή > 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού και > 20° στον άξονα του αστιγματισμού ανάλογα με την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής, ξεχωριστά για αριστερά και δεξιά μάτια που είχαν αστιγματισμό ATR.

Στις περιπτώσεις αριστερών οφθαλμών με WTR αστιγματισμό το μικρότερο ποσοστό μεταβολής της ισχύος $>0,5D$ παρουσιάζει η περίπτωση απόστασης $100-110^\circ$ τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση, ενώ τον 6^ο μήνα τα ποσοστά μεταξύ των 3 ομάδων είναι περίπου τα ίδια. Στα δεξιά μάτια με WTR αστιγματισμό το υψηλότερο ποσοστό μεταβολής ανήκει στην ομάδα $>110^\circ$ απόστασης τόσο στον 1^ο όσο και στον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση.

Η αντίστοιχη μεταβολή $>20^\circ$ του άξονα του αστιγματισμού σε αριστερούς οφθαλμούς με WTR φαίνεται ότι εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στις περιπτώσεις μέχρι 95° απόστασης μεταξύ των τομών τόσο τον 1^ο όσο και τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση. Σε δεξιούς με WTR αστιγματισμό τα ποσοστά μεταβολής του άξονα είναι μικρά και αφορούν την ομάδα με απόσταση $>110^\circ$ τον 1^ο και τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση (πίνακας 11).

Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής

		$\leq 95^\circ$		100-110 $^\circ$		$> 110^\circ$	
		N	%	N	%	N	%
Αριστερά μάτια (WTR)							
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1$^\circ$ μήνα)	Όχι	13	76,5	32	86,5	17	73,9
	Ναι	4	23,5	5	13,5	6	26,1
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6$^\circ$ μήνα)	Όχι	17	100	35	94,6	22	95,7
	Ναι	0	0	2	5,4	1	4,3
Μεταβολή άνω 20$^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού (1$^\circ$ μήνα)	Όχι	11	64,7	31	83,8	17	73,9
	Ναι	6	35,3	6	16,2	6	26,1
Μεταβολή άνω 20$^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού (6$^\circ$ μήνα)	Όχι	13	76,5	30	81,1	18	78,3
	Ναι	4	23,5	7	18,9	5	21,7
Δεξιά μάτια (WTR)							
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (1$^\circ$ μήνα)	Όχι	13	81,3	20	80	16	84,2
	Ναι	3	18,8	5	20	3	15,8
Μεταβολή άνω 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού (6$^\circ$ μήνα)	Όχι	15	93,8	22	88	16	84,2
	Ναι	1	6,3	3	12	3	15,8
Μεταβολή άνω 20$^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού (1$^\circ$ μήνα)	Όχι	16	100	25	100	17	89,5
	Ναι	0	0	0	0	2	10,5
Μεταβολή άνω 20$^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού (6$^\circ$ μήνα)	Όχι	16	100	25	100	18	94,7
	Ναι	0	0	0	0	1	5,3

Πίνακας 11. Ποσοστά με μεταβολή $> 0,5D$ στην ισχύ του αστιγματισμού και $> 20^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού ανάλογα με την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής, ξεχωριστά για αριστερά και δεξιά μάτια που είχαν αστιγματισμό WTR.

Ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός είναι ο αστιγματισμός που προκαλεί ο χειρουργός με την επέμβαση. Τόσο στα αριστερά όσο και στα δεξιά μάτια υπήρξε σημαντική μείωση του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού στους 6 μήνες μετά την επέμβαση όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν το πολύ 95°. Επίσης, στα αριστερά μάτια, υπήρξε σημαντική μείωση του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού στους 6 μήνες όταν η απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής ήταν πάνω από 110°.

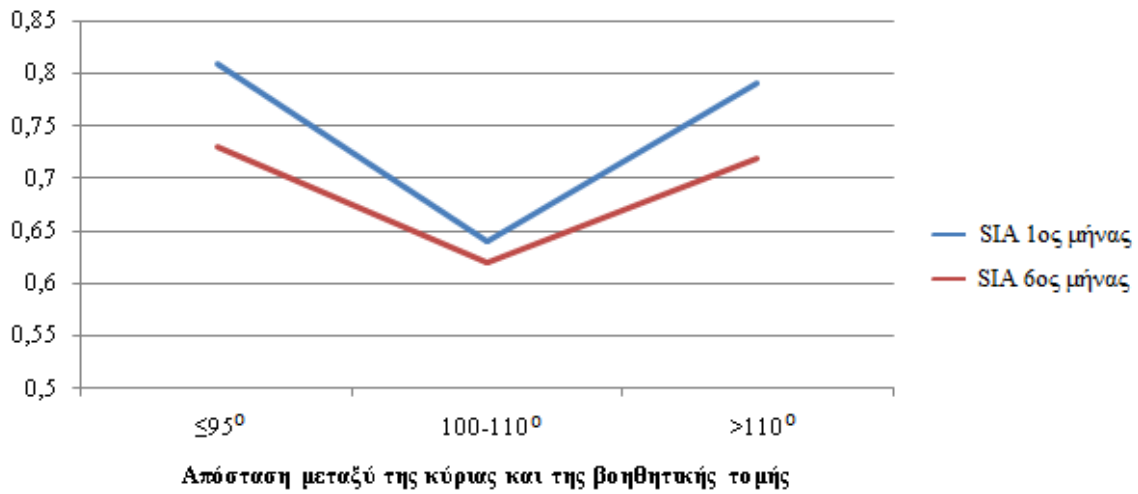
Στα αριστερά μάτια, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές ούτε στον 1^ο ούτε στον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα στις τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ανάλογα με την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής. Αντίθετα, στα δεξιά μάτια οι τιμές στον 1^ο μήνα του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού ήταν σημαντικά υψηλότερες σε απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής το πολύ 95° σε σύγκριση με όταν ήταν 100-110°. Στις τιμές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού τον 6^ο μήνα δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις τιμές σε σχέση με την απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής (πίνακας 12, γράφημα 6, γράφημα 7).

	<u>SIA</u>		P**
	<u>1^{ος} μήνας</u>	<u>6^{ος} μήνας</u>	
	Μέση τιμή (SD)	Μέση τιμή (SD)	
Αριστερά μάτια			
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής			
≤95° ^A	0,81 (0,53)	0,73 (0,52)	0,004
100-110° ^B	0,64 (0,36)	0,62 (0,38)	0,218
>110° ^Γ	0,79 (0,39)	0,72 (0,46)	0,020
P* (A vs. B)	0,114	0,569	
P* (A vs. Γ)	1,000	1,000	
P* (B vs. Γ)	0,225	0,686	
Δεξιά μάτια			
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής			
≤95° ^A	0,8 (0,53)	0,72 (0,52)	0,005
100-110° ^B	0,58 (0,36)	0,6 (0,37)	0,440
>110° ^Γ	0,73 (0,36)	0,7 (0,31)	0,370
P* (A vs. B)	0,020	0,353	
P* (A vs. Γ)	1,000	1,000	
P* (B vs. Γ)	0,290	0,761	

*p-value για διαφορές μεταξύ των ομάδων ** p-value για διαφορές μεταξύ των μετρήσεων

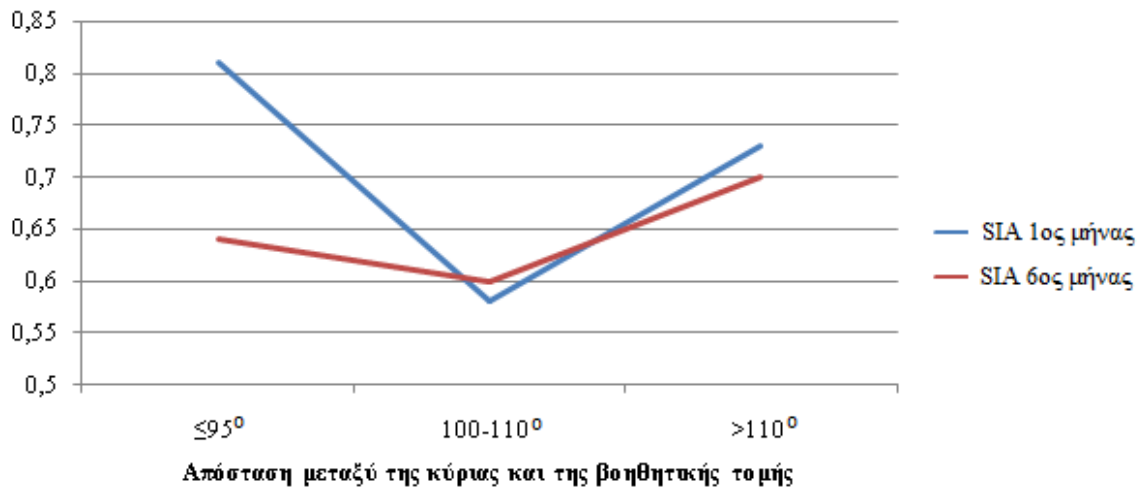
Πίνακας 12. Χειρουργικά προκαλούμενος στιγματισμός τον 1^ο και τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση του καταρράκτη ανάλογα με την απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής, ξεχωριστά για δεξιά και αριστερά μάτια.

Αριστερά μάτια



Γράφημα 6. Μεταβολές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού τον 1 $^\circ$ και 6 $^\circ$ μετεγχειρητικό μήνα στις διαφορετικές αποστάσεις κύριας και βοηθητικής τομής, σε αριστερούς οφθαλμούς.

Δεξιά μάτια



Γράφημα 7. Μεταβολές του χειρουργικά προκαλούμενου αστιγματισμού τον 1 $^\circ$ και 6 $^\circ$ μετεγχειρητικό μήνα στις διαφορετικές αποστάσεις κύριας και βοηθητικής τομής, σε δεξιούς οφθαλμούς.

Στον πίνακα 13 δίνονται τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης έχοντας σαν εξαρτημένη μεταβλητή την μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού από προεγχειρητικά έως τον 1^ο μήνα.

	OR(95% ΔΕ)*	P
Τύπος αστιγματισμού		
ATR	1,00**	
WTR	0,55(0,31-0,96)	0,037
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής		
100-110°	1,00	
≤95°	1,84(0,97-3,49)	0,064
>110°	2,22(1,13-4,35)	0,021

*Σχετικός λόγος (95% Διάστημα Εμπιστοσύνης), **υποδηλώνει κατηγορία αναφοράς

Πίνακας 13. Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβολή στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα.

Ο τύπος του αστιγματισμού και η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής βρέθηκαν να σχετίζονται ανεξάρτητα με τη μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση. Συγκεκριμένα η πιθανότητα μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα ήταν κατά 45% μικρότερη όταν ο τύπος αστιγματισμού ήταν WTR.

Η πιθανότητα μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα ήταν 2,22 φορές μεγαλύτερη όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν άνω των 110° συγκριτικά με όταν ήταν 100-110°.

Στον πίνακα 14 δίνονται τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης έχοντας σαν εξαρτημένη μεταβλητή την μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 6^ο μήνα μετά την επέμβαση του καταρράκτη.

	OR(95% ΔΕ)*	P
Τύπος αστιγματισμού		
ATR	1,00**	
WTR	0,72(0,30-1,69)	0,447
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής		
100-110°	1,00	
≤95°	1,42(0,46-4,42)	0,545
>110°	3,45(1,12-10,63)	0,031

*Σχετικός λόγος (95% Διάστημα Εμπιστοσύνης), **υποδηλώνει κατηγορία αναφοράς

Πίνακας 14. Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβολή στην ισχύ του αστιγματισμού τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα.

Μόνο η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής βρέθηκε να σχετίζεται ανεξάρτητα με τη μεταβολή άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού από προεγχειρητικά έως τον 6^ο μήνα ήταν 3,45 φορές μεγαλύτερη όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής ήταν άνω των 110° συγκριτικά με όταν ήταν 100-110°.

Στον πίνακα 15 δίνονται τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης έχοντας σαν εξαρτημένη μεταβλητή την μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού τον 1^ο μήνα μετά την επέμβαση καταρράκτη.

	OR(95% ΔΕ)*	P
Τύπος αστιγματισμού		
ATR	1,00**	
WTR	1,01(0,52-1,97)	0,972
Απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής		
100-110	1,00	
≤95	4,18(1,9-9,2)	<0,001
>110	1,97(0,8-4,83)	0,139

*Σχετικός λόγος (95% Διάστημα Εμπιστοσύνης), **υποδηλώνει κατηγορία αναφοράς

Πίνακας 15. Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβολή στον άξονα του αστιγματισμού τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα.

Μόνο η απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής βρέθηκε να σχετίζεται ανεξάρτητα με τη μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού από προεγχειρητικά έως τον 1^ο μήνα. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα μεταβολής άνω της 0,5D στην ισχύ του αστιγματισμού από προεγχειρητικά έως τον 1^ο μήνα ήταν 4,18 φορές μεγαλύτερη όταν η απόσταση μεταξύ της κύριας και βοηθητικής τομής ήταν κάτω των 95° συγκριτικά με όταν ήταν 100-110°.

Στον πίνακα 16 δίνονται τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης έχοντας σαν εξαρτημένη μεταβλητή την μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα.

	OR(95% ΔΕ)*	P
Τύπος αστιγματισμού		
ATR	1,00**	
WTR	0,30(0,16-0,54)	<0,001
Απόσταση μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής		
100-110°	1,00	
≤95°	0,81(0,43-1,53)	0,509
>110°	0,92(0,46-1,85)	0,811

*Σχετικός λόγος (95% Διάστημα Εμπιστοσύνης), **υποδηλώνει κατηγορία αναφοράς

Πίνακας 16. Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβολή στον άξονα του αστιγματισμού τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα.

Μόνο ο τύπος του αστιγματισμού βρέθηκε να σχετίζεται ανεξάρτητα με τη μεταβολή άνω των 20° στον άξονα του αστιγματισμού τον 6^ο μήνα. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα μεταβολής άνω των 20° στον άξονα τον 6^ο μήνα ήταν κατά 70% μικρότερη όταν ο τύπος αστιγματισμού ήταν WTR.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στόχος αυτής της μελέτης είναι να εισάγουμε στον προεγχειρητικό σχεδιασμό της επέμβασης του καταρράκτη, την απόσταση μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής τομής, ως ένα ακόμη παράγοντα επίδρασης του μετεγχειρητικού αστιγματισμού.

Οι Ferrer-Blasco και συν. μελετώντας την παρουσία κερατοειδικού αστιγματισμού πριν την επέμβαση του καταρράκτη βρήκαν ότι 13,2% των οφθαλμών δεν παρουσίαζε αστιγματισμό, 64,4% των οφθαλμών ο αστιγματισμός κυμαινόταν από 0,25 έως 1,25 D και σε 22,2% πάνω από 1,5 D.²⁸⁴

Τα ποσοστά αυτά καθιστούν επιτακτική την ανάγκη διόρθωσης όχι μόνο της σφαιρικής, αλλά και της αστιγματικής συνιστώσας της διάθλασης. Η ανάπτυξη στον τομέα της τεχνολογίας και η εμφάνιση καινούργιων μηχανημάτων φακοθρυψίας, οδήγησε σε αλλαγές στη χειρουργική τεχνική της εξαίρεσης του καταρράκτη. Πλέον εκτελούνται μικρότερου εύρους τομές με αποτέλεσμα να μειώνεται ή να μην αλλάζει ο προϋπάρχων αστιγματισμός, ενώ σαφώς μειώνεται ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός. Όλο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επέμβαση του καταρράκτη να μην αποτελεί πλέον απλή εξαίρεση του θολωμένου καταρρακτικού φακού, αλλά και τη διασφάλιση της καλύτερης μη διορθωμένης οπτικής οξύτητας (ψευδοφακική εμμετροπία) με μείωση του κερατοειδικού αστιγματισμού και με ένθεση ενδοφακών τελευταίας τεχνολογίας (ασφαιρικοί, τορικοί, πολυεστιακοί).^{229,230,231,266,285,286}

Στον προεγχειρητικό έλεγχο επέμβασης καταρράκτη, όπως και σε κάθε διαθλαστική επέμβαση όπου απαιτείται ακρίβεια αποτελεσμάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες εκείνοι που επηρεάζουν τον κερατοειδικό αστιγματισμό και οι οποίοι χωρίζονται σε αυτούς που σχετίζονται με: τον οφθαλμό (δεξί ή αριστερό μάτι, διάμετρος κερατοειδή, ισχύς και τύπος του αστιγματισμού), τα χαρακτηριστικά της κύριας τομής (μέγεθος, εντόπιση και αρχιτεκτονική) και την χειρουργική τεχνική (μικροχειρουργική επέμβαση καταρράκτη, επέμβαση καταρράκτη μικρής τομής, ομοαξονική και αμφίχειρη επέμβαση καταρράκτη).

Στη μελέτη της επίδρασης της βοηθητικής τομής στην καμπυλότητα του κερατοειδή μετά από επέμβαση καταρράκτη, οι οφθαλμοί χωρίστηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν ίδια οφθαλμικά χαρακτηριστικά και ίδια χαρακτηριστικά κύριας τομής. Η

βασική ομαδοποίηση έγινε με βάση την απόσταση της βοηθητικής τομής από την κύρια τομή, δηλαδή $\leq 95^\circ$, $100-110^\circ$ και $>110^\circ$. Ακολούθως έγινε περαιτέρω διαχωρισμός ανάλογα με τον οφθαλμό και τον τύπο του αστιγματισμού. Αυτό έγινε για να απομονωθούν κατά το δυνατόν περισσότεροι παράγοντες, οι οποίοι δυνητικά θα επηρέαζαν τον αστιγματισμό. Έτσι λοιπόν το κοινό μεταξύ των ομάδων ήταν η κύρια τομή, η οποία εκτελούνταν πάντα σε συγκεκριμένη εντόπιση (άνω κροταφική για τα δεξιά και άνω ρινική για τα αριστερά μάτια), ήταν τριών βημάτων, 3,0mm, καθαρά κερατική. Η επιλογή της εντόπισης της κύριας τομής έγινε βασιζόμενη σε δυο παράγοντες. Πρώτον ο χειρουργός έκανε την επέμβαση από την πάνω θέση και ήταν δεξιόχειρας. Δεύτερον το γεγονός ότι το πάχος του κερατοειδή διαφέρει σε διαφορετικές περιοχές. Για παράδειγμα το τεταρτημόριο κάτω κροταφικά του κερατοειδή θεωρείται το λεπτότερο.^{287,288}

Όσο παχύτερος είναι ο κερατοειδής τόσο μικρότερες αλλαγές παρατηρούνται στην καμπυλότητά του με την εκτέλεση των τομών. Διατηρώντας λοιπόν σταθερή εντόπιση τομής καταφέρνουμε να απομονώσουμε άλλο ένα δυνητικό παράγοντα επίδρασης στον αστιγματισμό και έτσι να έχουμε αντικειμενικά συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Και ο διαχωρισμός σε δεξιά και αριστερά μάτια περιορίζει την επίδραση του διαφορετικού πάχους σε διαφορετικά τεταρτημόρια, αλλά επιπλέον διατηρεί ίση και την απόσταση της κύριας τομής από το οπτικό κέντρο του κερατοειδή. Οι ανώτερες (από τη 12^η ώρα) και άνω ρινικές τομές θεωρείται ότι αυξάνουν τον SIA όχι μόνο λόγω της μικρότερης απόστασης από το οπτικό κέντρο, αλλά και λόγω των δυσχερέστερων χειρισμών που γίνονται κατά τη διάρκεια της επέμβασης από το συγκεκριμένο σημείο εξαιτίας της παρουσίας της ράχης της ρινός και του όφρεος και έχει ως αποτέλεσμα το «στρεσάρισμα» της τομής,^{209,226} ενώ οι κροταφικά εντοπισμένες κύριες τομές θεωρούνται από τους περισσότερους χειρουργούς «αστιγματικά ουδέτερες».^{205,216,235,247,267,268}

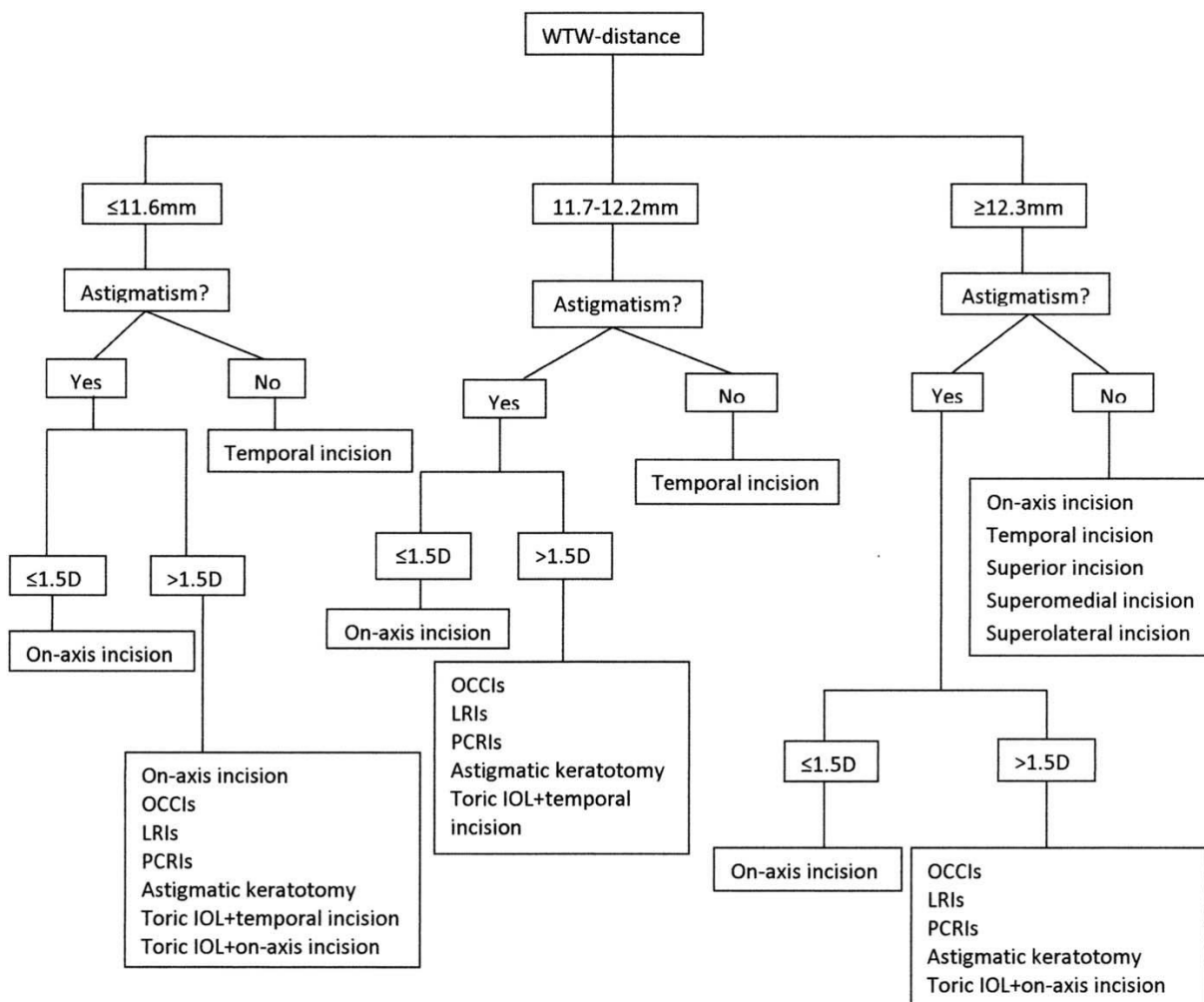
Κάθε ομάδα χωρίστηκε περαιτέρω ανάλογα με τον τύπο του αστιγματισμού σε «συμφώνως» και «παρά τον κανόνα». Έχει βρεθεί ότι οι ανώτερες και άνω κροταφικές τομές αυξάνουν τον αστιγματισμό σε ATR περιπτώσεις και μειώνουν τον αστιγματισμό σε WTR περιπτώσεις.²¹²

Οι οφθαλμοί με πλάγιο αστιγματισμό αποκλείστηκαν λόγω μικρού δείγματος, η ανάλυση του οποίου δεν θα οδηγούσε σε ασφαλή συμπεράσματα.

Ένας ακόμη περιορισμός στην επιλογή των περιστατικών που συμμετείχαν στη μελέτη ήταν η οριζόντια κερατοειδική διάμετρος, η οποία έπρεπε να είναι από 11,5-12,5 mm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης μας όσο μικρότερος είναι ο κερατοειδής τόσο περισσότερο επηρεάζεται από την τομή.²⁸¹

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος ομαδοποίησης των οφθαλμών, με τα ίδια χαρακτηριστικά κύριας τομής. Μελετήθηκαν κερατοειδείς διαμέτρου $\leq 11,6\text{mm}$, $11,7-12,2\text{mm}$ και $\geq 12,3\text{mm}$. Η βοηθητική τομή εκτελούνταν πάντα σε απόσταση $90-100^\circ$ από την κύρια τομή. Λόγω προχωρημένης ηλικίας η πλειοψηφία των ασθενών παρουσίαζε ATR αστιγματισμό. Οι οφθαλμοί με WTR και πλάγιο αστιγματισμό ήταν λίγοι για να συμπεριληφθούν στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Αν θεωρήσουμε ότι ο κερατοειδής είναι μια σφαίρα με τη γνωστή εξίσωση $2\pi r$ υπολογίζουμε την κερατοειδική περίμετρο. Κερατοειδής διαμέτρου 12,5 mm έχει περίμετρο 39,25mm, ενώ αν η διάμετρος είναι 11,5 mm η περίμετρος είναι 36,11mm. Η διαφορά μεταξύ τους είναι σχεδόν 3mm, όσο δηλαδή και το εύρος της κύριας τομής. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι οι τομές ίδιου εύρους δεν έχουν την ίδια επίδραση επί του κερατοειδή. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του κερατοειδή τόσο περισσότερο η κύρια τομή επιδρά στον κερατοειδή συγκριτικά με ένα κερατοειδή μεγαλύτερης διαμέτρου. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το εύρος της τομής είναι αναλογικά μεγαλύτερο σε ένα μικρό κερατοειδή και η τομή εντοπίζεται πλησιέστερα στο οπτικό κέντρο του, δυο παράγοντες που σαφώς επηρεάζουν την καμπυλότητα του κερατοειδή. Έτσι λοιπόν η κερατοειδική διάμετρος θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στον προεγχειρητικό έλεγχο και να λαμβάνεται υπόψη στις περιπτώσεις μεγάλης ή μικρής διαμέτρου κερατοειδή. Προτείνουμε τη χρήση διαγράμματος ροής για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αντιμετώπισης του προεγχειρητικού αστιγματισμού ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή (διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα ροής επιλογής κύριας τομής ανάλογα με τη διάμετρο του κερατοειδή

Υπάρχουν πολλές μελέτες όσον αφορά τις αλλαγές στον αστιγματισμό στην επέμβαση του καταρράκτη. Στην πλειοψηφία τους γίνεται σύγκριση μεταξύ κύριων τομών διαφορετικού εύρους και εντόπισης δίχως να λαμβάνονται υπόψη οι οφθαλμικές παράμετροι.^{203-212,216,247,268}

Η εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται στον κερατοειδή και η αλλαγή στη δομή και συμπεριφορά του μετά από επέμβαση (διαθλαστικές, κερατοπλαστική, επέμβαση καταρράκτη), ξεκίνησε βασιζόμενη στο νόμο του Gauss των ελαστικών θόλων σύμφωνα με τον οποίο «για κάθε αλλαγή στην καμπυλότητα ενός άξονα, υπάρχει αντίστοιχη ίση και αντίθετη στον κάθετο σε αυτή άξονα».²⁸⁹

Ο Cravy τροποποίησε το νόμο του Gauss με την υπόθεση ότι «πίεση σε ένα άξονα έχει ως αποτέλεσμα έκταση στο κάθετο στην πίεση άξονα».²⁹⁰

Αυτό είναι γνωστό και ως «φαινόμενο σύζευξης» (coupling effect), όπου ο άξονας επί του οποίου εκτελείται η κύρια τομή επιπεδώνεται ενώ παράλληλα παρατηρείται κύρτωση στον κάθετο στην κύρια τομή άξονα. Ένας ανέπαφος κερατοειδής διατηρεί το κυρτό σχήμα του λόγω των ασκούμενων δυνάμεων τάσης από την ενδοφθάλμια πίεση, την ατμοσφαιρική πίεση, την ασκούμενη από τα βλέφαρα και τους περιβάλλοντες ιστούς πίεση. Η ελαστικότητα του κερατοειδή είναι διαφορετική σε κάθε άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από την κερατοειδική υστέρηση (corneal hysteresis-CH) και τον παράγοντα αντίστασης του κερατοειδή (corneal resistance factor-CRF).

Ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός είναι ο αστιγματισμός που προκαλεί ο χειρουργός με την επέμβαση. Όταν η κύρια τομή δεν εκτελείται επί του κυρτότερου άξονα, ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός αλλάζει τον κερατοειδή με δυο τρόπους. Ένα μέρος του προκαλεί κλίση του άξονα του αστιγματισμού (torque) και το υπόλοιπο προκαλεί επιπέδωση στον άξονα επί του οποίου εφαρμόζεται.

Όπως προαναφέρθηκε το σχήμα του κερατοειδή είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της ενδοφθάλμιας πίεσης, των βλεφάρων, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της ελαστικότητας του κερατοειδή. Οι κερατικές τομές που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της επέμβασης καταρράκτη αλλάζουν τη δομή του κερατοειδή προκαλώντας ανακατανομή των ασκούμενων δυνάμεων τάσης. Δημιουργούνται περιοχές μειωμένης ελαστικότητας στα σημεία τομών και άρα μειωμένης κυρτότητας. Οι Alpins και Walsh υποστηρίζουν ότι, οποιαδήποτε τομή ανεξάρτητα από το αν είναι μικρού μεγέθους, θα επηρεάσει την αρχιτεκτονική του κερατοειδή και θα αλλάξει το μέγεθος και την κατεύθυνση του αστιγματισμού. Ουσιαστικά «δεν υπάρχει πλήρως αστιγματικά ουδέτερη τομή».²⁹¹

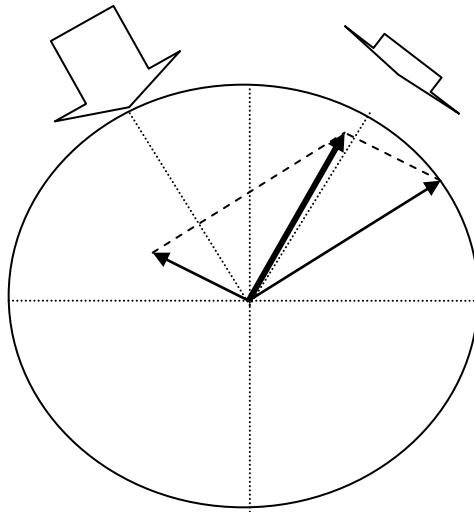
Όταν η απόσταση μεταξύ των δυο τομών είναι 90-100°, υπάρχει αλληλοεξουδετέρωση δυνάμεων.^{219,279,292}

Σε δεξιά μάτια η κύρια τομή εκτελείται άνω κροταφικά και η βοηθητική τομή ρινικά. Δεδομένου ότι οι τομές που εκτελούνται ρινικά επηρεάζουν περισσότερο τον κερατοειδή, λόγω της μικρής απόστασης από το οπτικό κέντρο,^{247,267} θεωρούμε ότι το ίδιο μπορεί να ισχύσει και για τις βοηθητικές τομές, παρά το μικρό τους εύρος. Αυτό σημαίνει επίσης ότι στα δεξιά μάτια το φαινόμενο της αμοιβαίας εξουδετέρωσης οδηγεί σε μικρότερη

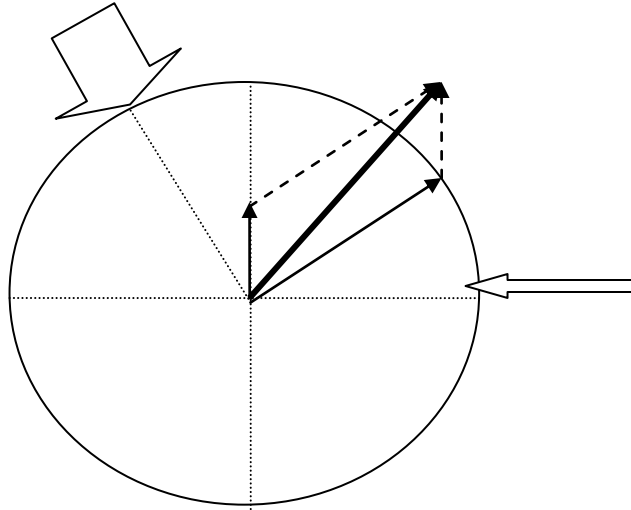
αστιγματική αλλαγή σε σύγκριση με τα αριστερά μάτια, όπου η κύρια τομή εντοπίζεται άνω ρινικά και η βοηθητική κροταφικά. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα ευρήματα άλλων μελετών όπου τα αριστερά μάτια επηρεάζονται περισσότερο σε σχέση με τα δεξιά.^{209,226}

Σχεδιάσαμε τις τομές με διανύσματα. Λόγω του μεγέθους της κύριας και βοηθητικής τομής 3 και 1mm αντίστοιχα, το διάνυσμα της κύριας τομής είναι τριπλάσιο του διανύσματος της βοηθητικής τομής. Ο άξονας επί του οποίου εκτελούνται οι τομές επιπεδώνεται ενώ ο αντίστοιχος κάθετος κυρτώνει. Τα διανύσματα κύρτωσης σε τομές $\leq 95^\circ$ είναι υπό αμβλεία γωνία, αυτό σημαίνει ότι η συνισταμένη τους είναι μικρή σε μέγεθος συγκριτικά με τα διανύσματα κύρτωσης σε τομές με απόσταση $>110^\circ$, των οποίων η συνισταμένη είναι μεγαλύτερη σε μέγεθος (εικόνα 20 και 21). Έτσι λοιπόν το αναμενόμενο θεωρητικά είναι μετά τις τομές των $100-110^\circ$ όπου έχουμε αλληλοεξουδετέρωση δυνάμεων, οι τομές $\leq 95^\circ$ να επηρεάζουν λιγότερο σε σχέση με τις τομές απόστασης $>110^\circ$, όπως και επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής μελέτης. Έτσι λοιπόν τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα σε αλλαγή στην ισχύ του αστιγματισμού $>0,5D$ υπόκεινται λιγότερο οι περιπτώσεις με απόσταση $100-110^\circ$ μεταξύ των τομών, ενώ ακολουθεί η απόσταση $\leq 95^\circ$.

Το ίδιο ισχύει και τον 6^ο μήνα, η απόσταση $100-110^\circ$ να παρουσιάζει τις μικρότερες αλλαγές και πάλι ακολουθεί η απόσταση $\leq 95^\circ$.



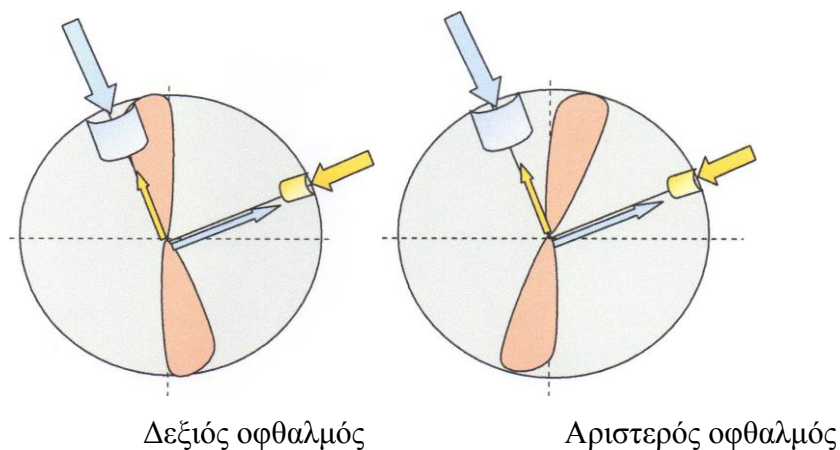
Εικόνα 20. Συνισταμένη διανυσμάτων κύρτωσης τομών με μεταξύ τους απόσταση $\leq 95^\circ$.



Εικόνα 21. Συνισταμένη διανυσμάτων κύρτωσης τομών με μεταξύ τους απόσταση $>110^\circ$.

Όσον αφορά την αλλαγή στον άξονα του αστιγματισμού $>20^\circ$ ενώ φαίνεται ότι τον 1° μετεγχειρητικό μήνα παρατηρείται συχνότερα αλλαγή σε απόσταση $100-110^\circ$ και ακολουθεί η απόσταση $>110^\circ$, τον 6° μήνα που σταθεροποιείται ακόμη περισσότερο η διάθλαση, η απόσταση $100-110^\circ$ φαίνεται να έχει τη μικρότερη επίδραση, ενώ ακολουθούν οι περιπτώσεις με $\leq 95^\circ$ και $>110^\circ$, οι οποίες δεν διαφέρουν ιδιαίτερα μεταξύ τους.

Έτσι λοιπόν για τους δεξιόχειρες χειρουργούς, οι οποίοι χειρουργούν από την άνω θέση (πάνω από το κεφάλι του ασθενή), προκειμένου η κύρια τομή να είναι κατά το δυνατό αστιγματικά ουδέτερη, θα πρέπει η βοηθητική τομή να εκτελείται σε απόσταση $100-110^\circ$ από την κύρια τομή (εικόνα 22).



Εικόνα 22. Κατάλληλη εντόπιση κύριας και βοηθητικής τομής για τη διατήρηση του κερατοειδικού εναντιομορφισμού σε δεξιό και αριστερό οφθαλμό.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2 λόγω του φαινομένου σύζευξης υπάρχει αλληλοεξουδετέρωση των ασκούμενων δυνάμεων, αφού η επιπέδωση που προκαλείται από την κύρια τομή έχει ως αποτέλεσμα κύρτωση στον κάθετο στην τομή άξονα. Η κύρτωση που προκαλείται μειώνεται από την αντίστοιχη βοηθητική τομή σε μικρότερο βέβαια βαθμό λόγω του μικρότερου εύρους της.

Με αυτό τον τρόπο δεν επηρεάζεται το μέγεθος του αστιγματισμού και επιπλέον διατηρείται ο εναντιομορφισμός μεταξύ δεξιού και αριστερού οφθαλμού λόγω της μικρότερης προκαλούμενης κλίσης του άξονα.²⁹³

Η μετεγχειρητική αλλαγή στον άξονα του αστιγματισμού διαταράσσει το φαινόμενο του εναντιομορφισμού μεταξύ των δυο ματιών και μπορεί να προκαλέσει δυσανεξία στο ασθενή.

Μια αδυναμία της μελέτης μας είναι ότι η κερατοειδική τοπογραφία μετράει μόνο την καμπυλότητα της πρόσθιας επιφάνειας και δεν γίνεται μέτρηση του πάχους του κερατοειδή. Λεπτοί κερατοειδείς σχετίζονται με μεγαλύτερη παραμόρφωση του κερατοειδή ή αλλαγή του SIA μετά την επέμβαση του καταρράκτη. Το πάχος του κερατοειδή θα μπορούσε να αποτελεί ένα ακόμη παράγοντα που επηρεάζει το μετεγχειρητικό αποτέλεσμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά για τον καλύτερο προεγχειρητικό σχεδιασμό στην επέμβαση του καταρράκτη θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα οφθαλμικά χαρακτηριστικά, αριστερό ή δεξί μάτι, ο τύπος και η ισχύς του αστιγματισμού, η διάμετρος του κερατοειδή, έτσι ώστε να αποφασίσουμε την χειρουργική τεχνική, καθώς και την εντόπιση των τομών.

Αστιγματικά ουδέτερη θεωρείται η απόσταση 100-110° μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής και επιλέγεται στις περιπτώσεις εκείνες που δεν επιθυμούμε αλλαγή της ισχύος ή του μεγέθους του αστιγματισμού μετεγχειρητικά, έτσι ώστε να διατηρηθεί ο εναντιομορφισμός μεταξύ των δυο οφθαλμών.

Τα συμπεράσματα της μελέτης δίνουν το έναυσμα για να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα όσον αφορά τη συμπεριφορά του κερατοειδή και την παρουσία μετεγχειρητικού αστιγματισμού, σε περιπτώσεις διαφορετικού πάχους κερατοειδή, μεγαλύτερου αστιγματισμού και διαφορετικής εντόπισης τομών, λαμβάνοντας υπόψη και την ελαστικότητα του κερατοειδή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός: η μελέτη των αλλαγών του κερατοειδικού αστιγματισμού μετά από επέμβαση καταρράκτη, σε όταν η βοηθητική τομή (siderport) εκτελείται σε ορισμένη απόσταση από την κύρια τομή (tunnel).

Υλικό και μέθοδος: 333 οφθαλμοί με κερατοειδικό αστιγματισμό $\leq 1,5$ διοπτρίες (D) υποβλήθηκαν σε επέμβαση καταρράκτη. Μια 3-βημάτων, 3.0mm, άνω κροταφική, καθαρά κερατική κύρια τομή στους δεξιούς οφθαλμούς και άνω ρινική καθαρά κερατική κύρια τομή στους αριστερούς οφθαλμούς, εκτελούνταν, ενώ η βοηθητική τομή εντοπιζόταν σε απόσταση $\leq 95^\circ$, $100^\circ-110^\circ$ και $>110^\circ$ από την κύρια τομή.

Οι κερατομετρικές ενδείξεις μετρήθηκαν σε τοπογραφία κερατοειδή EyeSys Vista 2000 προ- και μετεγχειρητικά τον 1^ο και 6^ο μήνα. Ο χειρουργικά προκαλούμενος αστιγματισμός (surgically induced astigmatism-SIA) υπολογίστηκε με διανυσματική ανάλυση. Μελετήθηκαν οι περιπτώσεις που παρουσίαζαν αλλαγή την ισχύος του αστιγματισμού $>0,5D$, καθώς και οι περιπτώσεις με αλλαγή $>20^\circ$ στον άξονα του αστιγματισμού, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της κλίσης.

Αποτελέσματα: τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο πολυπαραγοντικής λογαριθμιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή. Στις περιπτώσεις $>110^\circ$ απόστασης μεταξύ κύριας και βοηθητικής τομής υπήρξε 2,22 φορές ($p=0,021$) μεγαλύτερη πιθανότητα αλλαγής $>0,5D$ της αστιγματικής ισχύος τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα και 3,45 φορές ($p=0,031$) μεγαλύτερη πιθανότητα αλλαγής της ισχύος, τον 6^ο μετεγχειρητικό μήνα, σε σύγκριση με τις περιπτώσεις με απόσταση μεταξύ των δυο τομών $100-110^\circ$.

Ως προς την αλλαγή του άξονα του αστιγματισμού, στις περιπτώσεις $\leq 95^\circ$ απόστασης μεταξύ των δυο τομών, υπήρχε 4,18 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα αλλαγής $>20^\circ$ ($p<0,001$) τον 1^ο μετεγχειρητικό μήνα σε σύγκριση με τις περιπτώσεις με απόσταση $100-110^\circ$.

Συμπέρασμα: για τους χειρουργούς που χειρουργούν άνωθεν της κεφαλής του ασθενή, προκειμένου να έχουν κατά το δυνατόν «αστιγματικά ουδέτερες» τομές να εκτελούν την βοηθητική τομή σε απόσταση $100-110^\circ$ από την κύρια τομή.

ABSTRACT

Purpose: To study the changes in corneal astigmatism after cataract surgery when the sideport incision is performed at a predetermined location away from the tunnel incision.

Materials and methods: A total of 333 eyes with corneal astigmatism ≤ 1.5 diopters (D) underwent cataract surgery. A three-step superotemporal clear corneal incision for the right eye and a superonasal clear corneal incision for the left eye (3.0 mm) was made, while the sideport incision was located at $\leq 95^\circ$, 100° – 110° , and $>110^\circ$. Keratometric data were measured with corneal topography EyeSys Vista 2000 pre- and postoperatively at the 1st and 6th month. Surgically induced astigmatism was calculated by vector analysis. We noted all cases in which a change >0.5 D in corneal astigmatic power occurred, as well as a change $>20^\circ$ in axis torque, despite axis direction.

Results: After multiple logistic regression analysis was conducted, cases with $>110^\circ$ distance between the tunnel and sideport incision had 2.22 times ($P=0.021$) greater likelihood for having changed >0.5 D in astigmatic power at the 1st month and 3.45 times ($P=0.031$) at the 6th month postoperatively, as compared with cases with a 100° – 110° distance between the tunnel and sideport incision. As for the change in the astigmatic axis, cases with $\leq 95^\circ$ distance had a 4.18 times greater likelihood for having a change $>20^\circ$ ($P<0.001$) (preoperative to 1st month) as compared with cases having 100° – 110° of distance.

Conclusion: For surgeons that operate only from the superior position, we propose that in order to produce an incision that is as “astigmatically neutral” as possible, they should perform the sideport incision at a 100° – 110° distance.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Charman WN, Voisin L. Optical aspects of tolerances to uncorrected ocular astigmatism. *Optom Vis Sci* 1993b; Vol. 70, No. 2, pp. 111–117
2. American Academy of Ophthalmology Basic and Clinical Science Course Subcommittee. Basic and Clinical Science course. Section 3: Clinical Optics, 2007-2008. San Francisco, CA. American Academy of Ophthalmology; 2007:117-118
3. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom* 2007; Vol.90, No.1, pp.5-19
4. Harris WF. Astigmatism. *Ophthalmic Physiol Opt* 2000; Vol.20, No. 1, pp.11-30
5. Grosvenor T. Etiology of astigmatism. *Am J Optom Physiol Opt* 1978; Vol.55, No.3, pp.214-218
6. Grosvenor T, Quintero S, Perrigin DM. Predicting refractive astigmatism: a suggested simplification of Javal's rule. *Am J Optom Physiol Opt* 1988; Vol.65, No.5, pp.292-297
7. Keller PR, Collins MJ, Carney LD et al. The relation between corneal and total astigmatism. *Optom Vis Sci* 1996; Vol.73, No.2, pp.86-91
8. Porter J, Guirao A, Cox IG et al. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2001; Vol.18, No.8, pp.1793-1803
9. Hoffmann PC, Hütz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23.239 eyes. *J Cataract Refract Surg* 2010; Vol.36 No.9, pp.1479-1485
10. Lekhanont K, Wuthisiri W, Chatchaipun P et al. Prevalence of corneal astigmatism in cataract surgery candidates in Bangkok, Thailand. *J Cataract Refract Surg* 2011; Vol. 37 No.3, pp.613-615

11. Abrahamsson M, Fabian G, Sjostrand J. Changes in astigmatism between the ages of 1 and 4 years: a longitudinal study', *Br J Ophthalmol* 1988; 72 (2), 145-9.
12. Atkinson J, Braddick O, French J. Infant astigmatism: its disappearance with age, *Vision Res* 1980; 20 (11), 891-3.
13. Attebo K, Ivers RQ, Mitchell P. Refractive errors in an older population: the Blue Mountains Eye Study, *Ophthalmology* 1999; 106 (6), 1066-72
14. Baldwin WR, Mills D. A longitudinal study of corneal astigmatism and total astigmatism, *Am J Optom Physiol Opt* 1981; 58 (3), 206-11
15. Ehrlich DL, Braddick OJ, Atkinson J et al. Infant emmetropization: longitudinal changes in refraction components from nine to twenty months of age, *Optom Vis Sci* 1997; 74 (10), 822-43.
16. Gwiazda J, Scheiman M, Mohindra I et al. Astigmatism in children: changes in axis and amount from birth to six years, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1984; 25 (1), 88-92.
17. Hirsch MJ. Changes in astigmatism during the first eight years of school-an interim report from the Ojai longitudinal study, *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1963; 40, 127-32.
18. Kame RT, Jue TS, Shigekuni DM. A longitudinal study of corneal astigmatism changes in Asian eyes, *J Am Optom Assoc* 1993; 64 (3), 215-9.
19. Sawada A, Tomidokoro A, Araie M et al. Refractive errors in an elderly Japanese population: the Tajimi study, *Ophthalmology* 2008; 115 (2), 363-70 e3.
20. Stirling AW. The Influence of Age Upon the Axis of Astigmatism, *Br J Ophthalmol* 1920; 4 (11), 508-10.
21. Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA et al. Refractive astigmatism and the toricity of ocular components in human infants, *Optom Vis Sci* 2004; 81 (10), 753-61

22. Friling R, Weinberger D, Kremer I et al. Keratometry measurements in preterm and full term newborn infants, *Br J Ophthalmol* 2004; 88 (1), 8-10.
23. Campbell FW, Westheimer G. Factors influencing accommodation responses of the human eye, *J Opt Soc Am* 1959; 49 (6), 568–71
24. Howland HC. Infant eyes: optics and accommodation, *Curr Eye Res* 1982; 2(3), 217-24
25. Ho JD, Liou SW, Tsai RJ et al. Effects of aging on anterior and posterior corneal astigmatism, *Cornea* 2010; 29 (6), 632-7.
26. Goto T, Klyce SD, Zheng X et al. Gender- and age-related differences in corneal topography, *Cornea* 2001; 20 (3), 270 6.
27. Gudmundsdottir E, Arnarsson A, Jonasson F. Five-year refractive changes in an adult population: Reykjavik Eye Study, *Ophthalmology* 2005; Vol.112 No.4, pp.672-677
28. Gudmundsdottir E, Jonasson F, Jonsson V et al. "With the rule" astigmatism is not the rule in the elderly. Reykjavik Eye Study: a population based study of refraction and visual acuity in citizens of Reykjavik 50 years and older. Iceland-Japan Co-Working Study Groups, *Acta Ophthalmol Scand* 2000; Vol.78 No.6, pp.642-646
29. Marin-Amat M. Physiological variations of corneal curvature during life time; their importance and transcendence into ocular refraction, *Bull SocBelgeOphtalmol* 1956, 113, 251-93
30. Mehdizadeh M. Age and refraction, *Ophthalmology* 2008; 115 (11), 2097; author reply 2097-8.
31. Artal P, Guirao A, Berrio E et al. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye, *J Vis* 2001; 1 (1), 1-8.

32. Artal P, Guirao A, Berrio E et al. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age, *J Opt Soc Am A Opt Image Sci* 2002; *Vis*, 19 (1), 137-43.
33. Shankar S, Bobier WR. Corneal and lenticular components of total astigmatism in a preschool sample, *Optom Vis Sci* 2004; Vol.81 No.7, pp.536-42
34. Fotedar R, Mitchell P, Burlutsky G et al. Relationship of 10-year change in refraction to nuclear cataract and axial length findings from an older population, *Ophthalmology* 2008; 115 (8), 1273-8.
35. Vaughn LW, Schepens CL. Progressive lenticular astigmatism associated with nuclear sclerosis and coloboma of the iris, lens, and choroid: case report, *Ann Ophthalmol* 1981; Vol.13 No.1, pp.25-27
36. Tatham A, Prydal J. Progressive lenticular astigmatism in the clear lens, *J Cataract Refract Surg* 2008; Vol.34 No.3, pp.514-516
37. Tint NL, Jayaswal R, Masood I et al. Rapidly progressive idiopathic lenticular astigmatism, *J Cataract Refract Surg* 2007; Vol.33 No.2, pp.333-335
38. Hofstetter HW, Baldwin W. Bilateral correlation of residual astigmatism, *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1957; 34 (7), 388-91
39. Ludwig K, Moradi S, Rudolph G et al. Lens-induced astigmatism after perforating scleral injury, *J Cataract Refract Surg* 2002; Vol.28 No.10, pp.1873-1875
40. Urrets-Zavalía A. Displacement of the crystalline lens, *Dev Ophthalmol* 1989; Vol.18, pp.59-65
41. Read SA, Collins MJ, Carney LG. (2005), The diurnal variation of corneal topography and aberrations, *Cornea* 2005; 24 (6), 678-87

42. Kiely PM, Carney LG, Smith G. Diurnal variations of corneal topography and thickness, *Am Journal Optom Physiol Opt* 1982; 59 (12), 976-82
43. Manchester PT. Hydration of the cornea, *Trans Am Ophthalmol Soc* 1970; 68, 425-61.
44. Bowman KJ, Smith G, Carney LG. Corneal topography and monocular diplopia following near work, *J AAOPS* 1978; 55 (12), 818-23
45. Golnik KC, Eggenberger E. Symptomatic corneal topographic change induced by reading in downgaze, *J Neuroophthalmol* 2001; 21 (3), 199-204
46. Knoll HA. Letter: bilateral monocular diplopia after near work, *Am Journal Optom Physiol Opt* 1975; 52 (2), 139
47. Mandell RB. Bilateral monocular diplopia following near work, *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1966; 43 (8), 500-4.
48. Collins MJ, Buehren T, Trevor T et al. Factors influencing lid pressure on the cornea, *Eye & Contact Lens* 2006; 32 (4), 168-73
49. Read SA, Collins MJ, Carney LG. The influence of eyelid morphology on normal corneal shape, *Invest ophthalmolvisci* 2007a; 48 (1), 112-9
50. Lopping B, Weale RA. Changes in corneal curvature following ocular convergence, *Vision Res* 1965; 5 (4-5), 207-15
51. Buehren T, Collins MJ, Carney L. Corneal aberrations and reading, *Optom Vis Sci* 2003; 80 (2), 159-66.
52. Garcia ML, Huang D, Crowe S et al. Relationship between the axis and degree of high astigmatism and obliquity of palpebral fissure, *J AAPOS* 2003; 7 (1), 14-22.

53. Akinci A, Oner O, Bozkurt OH et al. Refractive errors and strabismus in children with down syndrome: a controlled study, *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2009; 46 (2), 83-6.
54. Little JA, Woodhouse JM, Saunders KJ. Corneal power and astigmatism in Down syndrome, *Optom Vis Sci* 2009; 86 (6), 748-54.
55. Wang FM, Millman AL, Sidoti PA et al. Ocular findings in Treacher Collins syndrome', *Am J Ophthalmol* 1990; 110 (3), 280-6
56. Osuobeni EP, Al Mijalli MH. Association between eyelid thickness and corneal astigmatism, *Clin Ex Optom* 1997; 80 (1), 35-9
57. Wilson G, Bell C, Chotai S. The effect of lifting the lids on corneal astigmatism, *Am J OptomPhysiol Opt* 1982; 59 (8), 670-4
58. Asano K, Nomura H, Iwano M et al. Relationship between astigmatism and aging in middle-aged and elderly Japanese, *Jpn J Ophthalmol* 2005; 49 (2), 127-33
59. Lyle WM, Grosvenor T, Dean KC. Corneal astigmatism in Amerind children, *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1972; 49 (6), 517-24
60. Jain A, Paulus YM, Cockerham GC et al. Keratoconus and Other Noninflammatory Corneal Thinning Disorders, In: *Duane's Ophthalmology* 2011; Tasman W, Jaeger EA, pp.1-20, Lippincott
61. Williams & Wilkins, Retrieved from <<http://www.duanessolution.com/pt/re/duanes/bookcontent>
62. Walsh G. The effect of mydriasis on the pupillary centration of the human eye, *Ophthalmic Physiol Opt* 1988; 8 (2), 178-82.
63. Wilson MA, Campbell MC, Simonet P. Change of pupil centration with change of illumination and pupil size, *Optom Vis Sci* 1992; 69 (2), 129-36

64. Cakmak HB, Cagil N, Simavli H et al. Refractive Error May Influence Mesopic Pupil Size, *Curr Eye Res* 2010; 35 (2), 130-36
65. Hu JR, Yan ZH, Liu CF et al. Higher-order aberrations in myopic and astigmatism eyes, *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2004; 40 (1), 13-6
66. Sakai H, Hirata Y, Usui S. Relationship between residual aberration and lightadapted pupil size, *Optom Vis Sci* 2007; 84 (6), 517-21
67. Kamiya K, Kobashi H, Shimizu K et al. Effect of pupil size on uncorrected visual acuity in astigmatic eyes, *Br J Ophthalmol* 2012;96(2):267-70. 2011 Apr 21.
68. Brzezinski MA. Review: Astigmatic Accommodation (Sectional Accommodation)—a form of Dynamic Astigmatism, *Aust J Optom* 1982; 65 (1), 5-11
69. Denieul P. Effects of stimulus vergence on mean accommodation response, microfluctuations of accommodation and optical quality of the human eye, *Vision Res* 1982; 22 (5), 561-69
70. Ukai K, Ichihashi Y. Changes in ocular astigmatism over the whole range of accommodation, *Optom Vis Sci* 1991; 68 (10), 813-8
71. Tsukamoto M, Nakajima K, Nishimo J et al. Accommodation causes with-the-rule astigmatism in emmetropes, *Optom Vis Sci* 2000; 77 (3), 150-5
72. Tsukamoto M, Nakajima T, Nishino J et al. The binocular accommodative response in uncorrected ametropia, *Optom Vis Sci* 2001; 78 (10), 763-8
73. Buehren T, Collins MJ, Loughridge J et al. Corneal topography and accommodation, *Cornea* 2003; 22 (4), 311-6
74. Read SA, Collins MJ, Carney LG. Influence of accommodation on the anterior and posterior cornea, *J Cataract Refrac Surg* 2007c; 33 (11), 1877-85

75. Regan D, Spekreijse H. Electrophysiological correlate of binocular depth perception in man, *Nature* 1970; 3 (5227), 92-4
76. Tjon-Fo-Sang MJ, de Faber JT, Kingma C et al. Cyclotorsion: a possible cause of residual astigmatism in refractive surgery, *J Cataract Refract Surg* 2002; 28 (4), 599-602.
77. Borish IM, Benjamin WJ. Monocular and Binocular Subjective Refraction, In: *Borish's Clinical Refraction*, Benjamin, WJ, pp. (857-858), Butterworth-Heinemann 2006; ISBN-13:978-0-7506-7524-6, Missouri.
78. Park SH, Kim M, Joo CK. Measurement of pupil centroid shift and cyclotorsional displacement using iris registration, *Ophthalmologica* 2009; 223 (3), 166-71
79. Hori-Komai Y, Sakai C, Toda I et al. Detection of cyclotorsional rotation during excimer laser ablation in LASIK, *J Refract Surg* 2007; 23(9), 911-15
80. Fea AM, Sciandra L, Annetta F et al. Cyclotorsional eye movements during a simulated PRK procedure, *Eye (Lond)* 2006; 20(7), 764-8
81. Chernyak DA. Cyclotorsional eye motion occurring between wavefront measurement and refractive surgery, *J Cataract Refract Surg* 2004; 30 (3), 633-8
82. Swami AU, Steinert RF, Osborne WE et al. Rotational malposition during laser in situ keratomileusis, *Am J Ophthalmol* 2002; 133(4), 561-2
83. Neuhann IM, Lege BA, Bauer M et al. Static and dynamic rotational eye tracking during LASIK treatment of myopic astigmatism with the Zyoptix laser platform and Advanced Control Eye Tracker, *J Refract Surg* 2010; 26(1), 17-27
84. Becker R, Krzizok TH, Wassill H. Use of preoperative assessment of positionally induced cyclotorsion: a video-oculographic study, *Br J Ophthalmol* 2004; 88 (3), 417-421

85. Noel Alpíns and Gemma Walsh. Refractive Miscalculation with Refractive Surprise. In: Jorge L. Alió and Dimitri T. Azar, editors. Management of Complications in Refractive Surgery. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2008: 106-112
86. Oldenburg JB, Garbus J, McDonnell JM et al. Conjunctival pterygia: Mechanism of Corneal Topographic Changes, *Cornea* 1990; 9 (3), 200-4
87. Montés-Micó R, Alió JL, Muñoz G et al. Temporal changes in optical quality of air-tear film interface at anterior cornea after blink, *Invest ophthalmolvisci* 2004a; 45 (6), 1752-57
88. Goto E, Endo K, Suzuki A et al. Tear evaporation dynamics in normal subjects and subjects with obstructive meibomian gland dysfunction, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003; 44 (2), 533-9
89. Goto T, Zheng X, Klyce SD et al. Evaluation of the tear film stability after laser in situ keratomileusis using the tear film stability analysis system, *Am J Ophthalmol* 2004; 137 (1), 116-20
90. Koh S, Maeda N, Kuroda T et al. Effect of tear film break-up on higher-order aberrations measured with wavefront sensor, *Am J Ophthalmol* 2002; 134 (1), 115-17
91. Kojima T, Ishida R, Dogru M et al. A new noninvasive tear stability analysis system for the assessment of dry eyes, *Invest ophthalmolvisci* 2004; 45 (5), 1369-74
92. Németh J, Erdélyi B, Csákány B et al. High-speed videotopographic measurement of tear film build-up time, *Invest ophthalmolvisci* 2002; 43 (6), 1783-90
93. Zhu M, Collins MJ, Iskander DR. Dynamics of ocular surface topography, *Eye* 2006; 21 (5), 624-32
94. Buehren T, Collins MJ, Iskander DR et al. The stability of corneal topography in the post-blink interval, *Cornea* 2001; 20 (8), 826-33

95. Iskander DR, Collins MJ, Davis B. Evaluating tear film stability in the human eye with high-speed videokeratoscopy, *IEEE Trans Biomed Eng* 2005; 52 (11), 1939-49
96. Mitchell DE, Freeman RD, Westheimer G. Effect of orientation on the modulation sensitivity for interference fringes on the retina, *J Opt Soc Am* 1967; 57(2), 246-49.
97. Shlaer S. The relation between visual acuity and illumination, *J Gen Physiol* 1937; 21 (2), 165-88
98. Flüeler UR, Guyton DL. Does a tilted retina cause astigmatism? The ocular imagery and the retinoscopic reflex resulting from a tilted retina, *Surv Ophthalmol* 1995; 40 (1), 45-50
99. Goto T, Klyce SD, Zheng X et al. Gender- and age-related differences in corneal topography, *Cornea* 2001; Vol.20 No.3, pp.270-276
100. Price MO, Price FW Jr. Endothelial keratoplasty - a review, *Clin Experiment Ophthalmol* 2010 Mar;38(2):128-40
101. Johnson JD, Azar DT. Surgically induced topographical abnormalities after LASIK: management of central islands, corneal ectasia, decentration, and irregular astigmatism. *Curr Opin Ophthalmol* 2001; Vol.12 No.4, pp. 309-317
102. Waring GO 3rd, Lynn MJ, Gelender H et al. Results of the prospective evaluation of radial keratotomy (PERK) study one year after surgery, *Ophthalmology*. Vol.92 No.2 February 1985), pp. 177-198
103. Lakshminarayanan V, Enoch JM, Raasch T et al. Refractive changes induced by intraocular lens tilt and longitudinal displacement, *Arch Ophthalmol*. 1986 Jan;104(1):90-2
104. Akinci A, Ileri D, Polat S et al. Does blunt ocular trauma induce corneal astigmatism? *Cornea*. 2007 Jun;26(5):539-42

105. Abrams D. (Ed.). (1993). Duke-Elder's Practice of Refraction, (10th ed), chap.6, pp.6, Churchill Livingstone, ISBN 10:0443038562, London
106. Artal P, Berrio E, Guirao A. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age, J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. 2002;19:137-143
107. Artal P, Guirao A, Berrio E et al. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye, J Vis. 2001;1:1-8
108. Raviv T, Epstein RJ. Astigmatism management, Int Ophthalmol Clin 2000; Vol.40, No.3, pp.183-198
109. Abrams D. (Ed.). (1993). Duke-Elder's Practice of Refraction, (10th ed), chap.6, pp.6, Churchill Livingstone, ISBN 10:0443038562, London.
110. Goggin M, Alpíns N, Schmid LM. Management of irregular astigmatism, Curr Opin Ophthalmol 2000; Vol.11, No.4, pp.260-266
111. Duke-Elder S. (Ed.). (1970). Pathological refractive errors, In: System of Ophthalmology, pp.363, Publisher, ISBN 10:0061406724, London
112. Azar DT, Strauss L. (1994). Principles of applied clinical optics, In: Principles and Practice of Ophthalmology, Clinical Practice. Edited by Albert DE, Jakobiec FA, Robinson NL, pp.3612, WB Saunders Company, ISBN 10:141600016X, Philadelphia
113. Rapuano CJ. Excimer laser phototherapeutic keratectomy, In: Advances in refractive and corneal surgery , Duplessie M, Rocha G, Sanchez-Thorin JC, eds. Int Ophthalmol Clin 1996; Vol.36, No.4, pp.127-136
114. Tamayo Fernández GE, Serrano MG. Early clinical experience using custom excimer laser ablations to treat irregular astigmatism, J Cataract Refract Surg 2000; Vol.26, No.10, pp.1442-1450

115. Read SA, Collins MJ, Carney LG et al. The topography of the central and peripheral cornea, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006, Vol.47, No.4, pp.1404-1415
116. Kaimbo Wa Kaimbo D, Missotten L. Headaches in ophthalmology, *J Fr Ophthalmol* 2003; Vol. 26, No.2, pp.143-147
117. Wiggins, NP, Daum KM. Visual discomfort and astigmatic refractive errors in VDT use, *J Am Optom Assoc* 1991; Vol. 62, No. 9, pp. 680–684
118. Campos M, Nielsen S, Szerenyi K et al. Clinical follow-up of phototherapeutic keratectomy for treatment of corneal opacities, *Am J Ophthalmol* 1993; Vol. 115, No.4, pp.433-440
119. Harris WF. Wavefronts and their propagation in astigmatic optical systems, *Optom Vis Sci* 1996; Vol.73, No.9, pp.606-612
120. Arffa RC, Klyce SD, Busin M. Keratometry in epikeratophakia, *J Refract Surg* 1986; Vol.2, No.1, pp.61-4
121. Müller LJ, Pels E, Vrensen GFJM. The specific architecture of the anterior stroma accounts for maintenance of corneal curvature, *Br J Ophthalmol* 2001; 85:437–443.
122. Simon G, Ren Q. Biomechanical behavior of the cornea and its response to radial keratotomy. *J Refract Corneal Surg* 1994; 10:343–351; comments by RK Maloney, ST Feldman, K Buzard, G Simon, Q Ren, 351–356
123. Mishima S. Corneal thickness, *Surv Ophthalmol* 1968; 13:57-96
124. Maurice DM: The cornea and sclera. In: Davson H, ed. *The eye*, Orlando, FL: Academic Press; 1984:1-158.
125. Rozsa AJ, Beuerman RW. Density and organization of free nerve endings in the corneal epithelium of the rabbit., *Pain* 1982; 14:105-120.

126. Muller LJ, Marfurt CF, Kruse F et al. Corneal nerves: structure, contents and function, *Exp Eye Res* 2003; 76:521-542
127. Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell JE: *Histology of the human eye*. Philadelphia, PA, WB Saunders, 1971.
128. Roberts C and Dupps WJ: In: Krueger R, Applegate R, and MacRae S: eds. *Wavefront Customized Visual Correction: The Quest for Super Vision II*. NJ:SLACK Incorporated;2004: 109-131 *Res* 2003; 76:521-542.
129. Serrao S, Lombardo G, Lombardo M. Differences in nasal and temporal responses of the cornea after photorefractive keratectomy, *J Cataract Refract Surg*. 2005; 31(1):30-8.
130. Meek KM, Blamires T, Elliot GF et al. The organization of collagen fibrils in the human corneal stroma: a synchrotron X-ray diffraction study, *Curr Eye Res* 1987; 6(7):841-846
131. Smolek MK, McCarey BE. Interlamellar adhesive strength in human eyebank corneas, *Invest Ophthal Vis Sci* 1990; 31(6):1087-1095
132. Anders N, Pham DT, Antoni HJ et al. Postoperative astigmatism and relative strength of tunnel incisions: a prospective clinical trial, *J Cataract Refract Surg* 1997; 23(3):332-336
133. Ernest PH, Lavery KT, Kiessling LA. Relative strength of scleral corneal and clear corneal incisions constructed in cadaver eyes, *J Cataract Refract Surg* 1994; 20(6):626-629
134. Boote C, Dennis S, Newton RH et al. Collagen fibrils appear more closely packed in the prepupillary cornea: optical and biomechanical implications, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003; 44(7):2941-2948

135. Wollensak G.: Crosslinking treatment of progressive keratoconus: new hope, *Curr Opin Ophthalmol* 2006; 17(4):356-360.
136. Caporossi A, Baiocchi S, Mazzotta C et al. Parasurgical therapy for keratoconus by riboflavin-ultraviolet type A rays induced cross-linking of corneal collagen: preliminary refractive results in an Italian study, *J Cataract Refract Surg* 2006; 32(5):837-845
137. Burek H, Douthwaite WA. Corneal models, *Ophthalmol Physiol Opt* 1993; Vol. 13, January
138. Mandell RB, St Helen R. Mathematical model of the corneal contour, *Br. J. Physiol. Opt.* 26, 1971; 183-197
139. Chang SW, Hu FR. Changes in corneal autofluorescence and corneal epithelial barrier function with aging, *Cornea* 1993; 12(6):493-499
140. Alvarado J, Murphy C, Juster R. Age-related changes in the basement membrane of the human corneal epithelium, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1983; 24(8):1015-1028
141. Johnson DH, Bourne WM, Campbell RJ. The ultrastructure of Descemet's membrane. I. Changes with age in normal corneas, *Arch Ophthalmol* 1982; 100(12):1942-1947
142. Laule A, Cable MK, Hoffman CE et al. Endothelial cell population changes of human cornea during life, *Arch Ophthalmol* 1978; 96(11):2031-2035
143. Daxer A, Misof K, Grabner B et al. Collagen fibrils in the human corneal stroma: structure and aging, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998; 39(3):644-648
144. Dawczynski J, Franke S, Blum M et al. Advanced glycation end-products in corneas of patients with keratoconus, *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2002; 240(4):296-301

145. Kaji Y, Nagal R, Amano S et al. Advanced glycation end product deposits in climactic droplet keratopathy, *Br J Ophthalmol* 2007; 85-88
146. Kotecha A, Elsheikh A, Roberts CR et al. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47:5337–5347
147. Ortiz D, Pinero D, Shabayek MH et al. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconic eyes, *J Cataract Refract Surg* 2007; 33:1371–1375
148. Daxer A, Misof K, Grabner B et al. Collagen fibrils in the human corneal stroma: structure and aging, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998; 39:644–648
149. Malik NS, Moss SJ, Ahmed N et al. Ageing of the human corneal stroma: structural and biochemical changes, *Biochim Biophys Acta* 1992; 1138:222–228
150. Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA et al. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry, *Am J Ophthalmol* 2007; 143:39–47
151. Kamiya K, Shimizu K, Ohmoto F. Effect of aging on corneal biomechanical parameters using the Ocular Response Analyzer, *J Refract Surg* 2009; 25:888–893
152. Moreno-Montanés J, Maldonado MJ, Garcia N et al. Reproducibility and clinical relevance of the Ocular Response Analyzer in nonoperated eyes: corneal biomechanical and tonometric implications, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49:968–974
153. Luce D. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer, *J Cataract Refract Surg* 2005; 31:156–162
154. Alio JL, Klonowski P, El Kady B. Microincisional lens surgery. In: Kohner T, Koch DD, eds, *Cataract and Refractive Surgery: Progress III. (Essentials in Ophthalmology)*. Berlin, Germany, Springer, 2008; 12–13

155. Hager A, Loge K, Füllhas M-O et al. Changes in corneal hysteresis after clear corneal cataract surgery, *Am J Ophthalmol* 2007; 144:341–346
156. Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E et al. Corneal biomechanical properties and intraocular pressure changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation, *J Cataract Refract Surg* 2008; 34:2096–2098
157. Jorge L. Alio, Ma. Cecilia C. Agdeppa, Jose Luis Rodriguez-Prats et al. Factors influencing corneal biomechanical changes after microincision cataract surgery and standard coaxial phacoemulsification, *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:890–897
158. Roy AS, Dupps WJ Jr. Effects of altered corneal stiffness on native and postoperative LASIK corneal biomechanical behavior: a whole-eye finite element analysis, *J Refract Surg* 2009; 25:875–887
159. Elkady B, Alio JL, Ortiz D et al. Corneal aberrations alter microincision cataract surgery, *J Cataract Refract Surg* 2008; 34:40–45
160. Yao K, Tang X, Ye P. Corneal astigmatism, high order aberrations, and optical quality after cataract surgery: microincision versus small incision, *J Refract Surg* 2006; 22:S1079–S1082
161. Berdahl JP, DeStefano JJ, Kim T. Corneal wound architecture and integrity alter phacoemulsification; evaluation of coaxial, microincision coaxial, and microincision bimanual techniques, *J Cataract Refract Surg* 2007; 33:510–515
162. Elkady B, Pinero D, Alio JL. Corneal incision quality: microincision cataract surgery versus microcoaxial phacoemulsification, *J Cataract Refract Surg* 2009; 35:466–474
163. Cavallini GM, Lugli N, Campi L et al. Surgically induce astigmatism after manual extracapsular cataract extraction or after phacoemulsification procedure, *Eur J Ophthalmol* 1996; 6:257–263

164. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N et al. Wavefront analysis of higher-order aberrations in patients with cataract, *J Cataract Refract Surg* 2002; 438-444.
165. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N et al. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract, *Am J Ophthalmol*. 2002;134(1):1-9. [PMID: [12095801](#)]
166. Amano S, Amano Y, Yamagami S et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations, *Am J Ophthalmol*. 2004; 137:988-992
167. Wang L, Koch DD. Age-related changes in corneal and ocular higher-order aberrations (comment), *Am J Ophthalmol* 2004; 138:897
168. Wang L, Dai E, Koch DD et al. Optical aberrations of the human anterior cornea, *J Cataract Refract Surg* 2003; 1514-1521
169. Wang L, Koch DD.: Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery, *J Cat Refract Surg* 2003; 29:1896-1903
170. Fujikado T, Kuroda T, Ninomiya S et al. Age-related changes in ocular and corneal aberrations, *Am J Ophthalmol* 2004; 138:143-146
171. Artal P, Berrio E, Guirao A et al. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age, *J Opt Soc Am A Opt Image Sci* 2002; 19:137-143
172. Artal P, Guirao A, Berrio E et al. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye, *J Vision* 2001; 1:108
173. Snellen H. Die Richtunge des Hauptmeri-diane des Astigmatischen Auges, *Albrecht vonGraefes Arch Klin Ophthalmol* 1869;15:199–207
174. Schiötz H. Ein fall von hochgradigem Hornhautastigmatismus nach Strarextraction. Besserung auf operativem wege, *Arch fur Augen-heilk* 1885;15:178-181

175. Faber E. Operative Behandeling van Astigmatisme, Ned Tijdschr Geneeskd 1895;2:495
176. Lucciola J. Traitement chirurgical de l'astigmatisme, Arch d'Ophthalmol 1886;16:630
177. Bates WH. A suggestion of an operation to correct astigmatism, Refract Corneal Surg 1989;5(1):58-9
178. Lans LJ. Experimentelle Untersuchungen über Entsehung von Astigmatismus durch nicht-perforirende Corneawunden, Arch für Ophthalmologie 1898;45:117–152
179. Sato T. Treatment of conical cornea by incision of Descemet's membrane, Acta Soc Ophthalmol Jpn 1939;43:541
180. Sato T. Experimental study on surgical correction of astigmatism, Juntendo Kenkyukaizasshi 1943;589:37
181. Sato T. Posterior incision of cornea; surgical treatment for conical cornea and astigmatism, Am J Ophthalmol 1950;33(6):943-8
182. Sato T. Die operative Behandlung des Astigmatismus, Klin Monatsbl Augenheilkd 1955;126:16
183. Snellen H. Die Richtunge des Hauptmeridiane des Astigmatischen Auges, Albrecht von Graefes Arch Klin Ophthalmol 1869;15:199–207
184. Thornton SP, Sanders DR. Graded nonintersecting transverse incisions for correction of idiopathic astigmatism, J Cataract Refract Surg 1987;13(1):27-31
185. Buzard K, Haight D, Troutman R. Ruiz procedure for postkeratoplasty astigmatism, J Refract Surg 1987;3:40-5
186. Price FW, Grene RB, Marks RG et al. Astigmatism reduction clinical trial: a multicenter prospective evaluation of the predictability of arcuate keratotomy.

Evaluation of surgical nomogram predictability. ARC-T Study Group, Arch Ophthalmol 1995;113(3):277-82

187. Nordan LT. Quantifiable astigmatism correction: concepts and suggestions, J Cataract Refract Surg 1986;12(5):507-18

188. Lindstrom RL. The surgical correction of astigmatism: a clinician's perspective, Refract Corneal Surg 1990;6(6):441-54

189. Troutman RC, Swinger C. Relaxing incision for control of postoperative astigmatism following keratoplasty, Ophthalmic Surg 1980;11(2):117-20

190. Nichamin LD. Changing approach to astigmatism management during phacoemulsification: peripheral arcuate astigmatic relaxing incisions. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; 2000; Boston, Mass

191. Nichamin LD. Nomogram for limbal relaxing incision, J Cataract Refract Surg 2006; 32(9):1408

192. Nichamin LD. Expanding the role of bioptics to the pseudophakic patient, J Cat Refract Surg 2001; 27(9):1343-1344

193. Nichamin LD. Bioptics for the pseudophakic patient. In: Gills JP, ed. A complete guide to astigmatism management: An ophthalmic manifesto. Thorofare, NJ: SLACK Inc; 2003:37-39

194. Nichamin LD. 2003. Management of astigmatism in conjunction with clear corneal phaco surgery. Available at; ww.mastel.com/pdf/napa. Pdf

195. Tan AG, Tay WT, Mitchell P et al. Prevalence of lens opacities in Asian Malays, Ophthalmic Epidemiol 2012; 19:380–387

196. Xu L, Cui T, Zhang S et al. Prevalence and risk factors of lens opacities in urban and rural Chinese in Beijing, *Ophthalmology* 2006; 113:747–755
197. Varma R, Torres M; Los Angeles Latino Eye Study Group. Prevalence of lens opacities in Latinos: the Los Angeles Latino Eye Study, *Ophthalmology* 2004; 111:1449–1456
198. Porter RB. GLOBAL INITIATIVE The Economic Case. *Community Eye Health* 1998; 11:44–45
199. Saw SM, Gazzard G, Koh D et al. Prevalence rates of refractive errors in Sumatra, Indonesia, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43:3174–3180
200. Gupta A, Casson RJ, Newland HS et al. Prevalence of refractive error in rural Myanmar: the Meiktila Eye Study, *Ophthalmology* 2008; 115:26–32
201. Xu L, Zheng DY. Investigation of corneal astigmatism in phacoemulsification surgery candidates with cataract. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2010; 46:1090–1094
202. Visser N, Nuijts RM, de Vries NE et al. Visual outcomes and patient satisfaction after cataract surgery with toric multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37:2034–2042
203. Borasio E, Mehta JS, Maurino V. Torque and flattening effects of clear corneal temporal and on-axis incisions for phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(12):2030–2038.
204. Wei YH, Chen WL, Su PY et al. The influence of corneal wound size on surgically induced corneal astigmatism after phacoemulsification. *J Formos Med Assoc.* 2012;111(5):284–289.
205. Merriam JC, Zheng L, Merriam JE et al. The effect of incisions for cataract on corneal curvature. *Ophthalmology.* 2003;110(9):1807–1813.

206. Matsumoto Y, Hara T, Chiba K et al. Optimal incision sites to obtain an astigmatism-free cornea after cataract surgery with a 3.2 mm sutureless incision. *J Cataract Refract Surg.* 2001;27(10):1615–1619.
207. Moon SC, Mohamed T, Fine IH. Comparison of surgically induced astigmatism after clear corneal incisions of different sizes. *Korean J Ophthalmol.* 2007;21(1):1–5.
208. Ermiş SS, Inan UU, Oztürk F. Surgically induced astigmatism after superotemporal and superonasal clear corneal incisions in phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30(6):1316–1319.
209. Ozkurt Y, Erdoğan G, Güveli AK et al. Astigmatism after superonasal and superotemporal clear corneal incisions in phacoemulsification. *Int Ophthalmol.* 2008;28(5):329–332.
210. Woo SJ, Lee JH. Effect of central corneal thickness on surgically induced astigmatism in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29(12):2401–2046.
211. Tejedor J, Murube J. Choosing the location of corneal incision based on preexisting astigmatism in phacoemulsification. *Am J Ophthalmol.* 2005;139(5):767–776.
212. Özyol E, Özyol P. The relation between superior phacoemulsification incision and steep axis on astigmatic outcomes. *Int Ophthalmol.* 2012;32(6):565–570.
213. Lyle WA, Jin G. Prospective evaluation of early visual and refractive effects with small clear corneal incision for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 1996; 22:1456-1460
214. Masket S, Tennen DG. Astigmatic stabilization of 3.0 mm. temporal clear corneal cataract incisions. *J Cataract Refract Surg* 1996; 22: 1451-1455
215. Alio JL, Rodriguez-Prats JL, Galal A et al. Outcomes of microincision cataract surgery versus coaxial phacoemulsification. *Ophthalmology* 2005;112(11):1997-2003

216. Kaufmann C, Krishnan A, Landers J et al. Astigmatic neutrality in biaxial microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;1555-62
217. Long DA, Monica LM. A prospective evaluation of corneal curvature changes with 3.0- to 3.5-mm corneal tunnel phacoemulsification. *Ophthalmology* 1996;103(2):226-232
218. Masket S, Wang L, Belani S. Induced astigmatism with 2.2- and 3.0-mm coaxial phacoemulsification incisions. *J Refract Surg* 2009;25(1):21-24
219. Hayashi K, Yoshida M, Hayashi H. Postoperative corneal shape changes:microincision versus small-incision coaxial cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(2):233-239
220. Wilczynski M, Supady E, Piotr L et al. Comparison of surgically induced astigmatism after coaxial phacoemulsification through 1.8 mm microincision and bimanual phacoemulsification through 1.7 mm microincision. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(9):1563-1569
221. Kaufmann C, Thiel MA, Esterman A et al. Astigmatic change in biaxial microincisional cataract surgery with enlargement of one incision: a prospective controlled study. *Clin Experiment Ophthalmol* 2009;37(3):254-61
222. Chayez S, Chayet A, Celikkol L et al. Analysis of astigmatic keratotomy with a 5.0-mm optical clear zone. *Am J Ophthalmol* 1996;121:65–76
223. Armeniades CD, Boriek A, Knolle GE. Effect of incision length, localization and shape on local corneoscleral deformation during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 1990;16(1):83-87
224. Rauz S, Reynolds A, Henderson HW et al. Variation in astigmatism following the single-step,self-sealing clear corneal section for phacoemulsification. *Eye* 1997; 11(5):656-660

225. Altan-Yaycioglu R, Evyapan PA, Akova YA. Astigmatism induced by oblique clear corneal incision: right vs. left eyes. *Can J Ophthalmol* 2007;42(4):557-61
226. Ermis S, Ubeyt U, Ozturk F. Surgically induced astigmatism after superotemporal and superonasal clear corneal incisions in phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(6):1316-1319
227. Altan-Yaycioglu R, Akova YA, Akca S et al. Effect on astigmatism of the location of clear corneal incision in phacoemulsification of the cataract. *J Refract Surg* 2007;23(5):515-8
228. Gonçalves FP, Rodrigues AC. Phacoemulsification using clear cornea incision in steepest meridian. *Arq Bras Oftalmol* 2007;70(2):225-8
229. Kohnen T, Koch DD. Methods to control astigmatism in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 1996; 7(1):75–80
230. Gills JP. Treating astigmatism at the time of surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2002; 13(1):2–6
231. Nordan LT, Lusby FW. Refractive aspects of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 1995;6(1):36–40
232. Prissant O, Hoang-Xuan T, Proano C et al. Vector summation of anterior and posterior corneal topographical astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1636-1643
233. Giasanti F, Rapizzi E, Virgili G et al. Clear corneal incision of 2.75 mm for cataract surgery induces little change of astigmatism in eyes with low preoperative corneal cylinder. *Eur J Ophthalmol* 2006;16:385–393
234. Marek R, Klu's A, Pawlik R. Comparison of surgically induced astigmatism of temporal versus superior clear corneal incisions. *Klin Oczna* 2006;108:392–396

235. Borasio E, Mehta J, Maurino V. Surgically induced astigmatism after phacoemulsification in eyes with mild to moderate corneal astigmatism. Temporal versus on axis clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(4):565-572
236. Kaufmann C, Krishnan A, Landers J et al. Astigmatic neutrality in biaxial microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;1555-62
237. Alio JL, Elkady B, Ortiz D. Corneal optical quality following sub 1.8mm microincision cataract surgery vs 2.2 mm mini-incision coaxial phacoemulsification. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2010;17(1):94-9
238. Tong N, He JC, Lu F et al. Changes in corneal wavefront aberrations in microincision and small-incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(12):2085-90
239. Jaffe NS Clayman HM. The pathophysiology of corneal astigmatism after cataract extraction. *Ophthalmology* 1975; 79: 615-30
240. Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci* 1997;74:367-75
241. HoKohnen T, Dick B, Jacobi KW. Comparison of induced astigmatism after temporal, clear corneal tunnel incisions of different sizes. *J Cataract Refract Surg* 1995;21:417-24
242. Reddy B, Raj A, Singh VP. Site of incision and corneal astigmatism in conventional SICS versus phacoemulsification. *Ann Ophthalmol (Skokie)* 2007;39(3):209-16
243. Pflieger T, Skorpik C, Menapace R et al. Long-term course of induced astigmatism after clear corneal incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 1996;22(1):72-7

244. Beltrame G, Salvetat ML, Chizzolini M et al. Corneal topographic changes induced by different oblique cataract incisions. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:720–727
245. Steinert RF, Brint SF, White SM et al. Astigmatism after small incision cataract surgery: a prospective, randomized, multicenter comparison of 4- and 6.5-mm incisions. *Ophthalmology* 1991;98:417–423
246. Naeser K, Knudse EB, Hansen MK. Bivariate polar value analysis of surgically induced astigmatism. *J Refract Surg* 2002;18:72–78
247. Kohnen S, Neuber R, Kohnen T. Effect of temporal and nasal unsutured limbal tunnel incisions on induced astigmatism after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:821–825
248. Cataract surgery, A. Coombes, D. Gartry ©BMJ 2003
249. Lyhne N, Krogsager J, Corydon L et al. One year follow-up of astigmatism after 4.0mm temporal clear corneal and superior scleral incisions. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26:83–87
250. Pawar VS, Sindal DK. A comparative study on the superior, supero-temporal and the temporal incisions in small incision cataract surgeries for postoperative astigmatism. *J Clin Diagn Res* 2012; 6:1229–1232
251. Mallik VK, Kumar S, Kamboj R et al. Comparison of astigmatism following manual small incision cataract surgery: superior versus temporal approach. *Nepal J Ophthalmol* 2012; 4:54–58
252. Oshika T, Sugita G, Tanabe T et al. Regular and irregular astigmatism after superior versus temporal scleral incision cataract surgery. *Ophthalmology* 2000; 107:2049–2053

253. Roman SJ, Auclin FX, Chong-Sit DA et al. Surgically induced astigmatism with superior and temporal incisions in cases of with-the-rule preoperative astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24:1636–1641
254. Goes FM Jr, Goes FJ. Astigmatic changes after sutureless small-incision cataract-surgery using a superior or temporal corneal incision. *Bull Soc Belge Ophthalmol* 1998; 268:27–32
255. Tadros A, Habib M, Tejwani D et al. Opposite clear corneal incisions on the steep meridian in phacoemulsification: early effects on the cornea. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:414–417
256. Lever J, Dahan E. Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26:803–805
257. Rosen ES. Opposite clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26:789–790
258. Khokhar S, Lohiya P, Murugiesan V et al. Corneal astigmatism correction with opposite clear corneal incisions or single clear corneal incision: comparative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:1432–1437
259. Razmjoo H, Koosha N, Vaezi MH et al. Corneal astigmatism change and wavefront aberration evaluation after cataract surgery: ‘single’ versus ‘paired opposite’ clear corneal incisions. *Adv Biomed Res* 2014; 3:163
260. Gills Jp, Van der Karr M, Cherchio M. Combined toric intraocular lens implantation and relaxing incisions to reduce high preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28:1585–1588
261. Rho CR, Joo CK. Effects of steep meridian incision on corneal astigmatism in phacoemulsification cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38:666–671

262. Lu SH, Zhang Y, Lü J. Effect of 3.0mm corneal incision guided by corneal topography on corneal astigmatism in cataract surgery. *Int Eye Science* 2013; 13:1170–1171
263. Özyol E, Özyol P. Analyses of surgically induced astigmatism and axis deviation in microcoaxial phacoemulsification. *Int Ophthalmol* 2014; 34:591–596
264. Borasio E, Mehta JS, Maurino V. Surgically induced astigmatism after phacoemulsification in eyes with mild to moderate corneal astigmatism: temporal versus on-axis clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:565–572
265. Kaufmann C, Peter J, Ooi K et al. Limbal relaxing incisions versus on-axis incisions to reduce corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31:2261–2265
266. Nielsen PJ. Prospective evaluation of surgically induced astigmatism and astigmatic keratotomy effects of various self-sealing small incisions. *J Cataract Refract Surg* 1995; 21:43–48
267. Barequet IS, Yu E, Vitale S et al. Astigmatism outcomes of horizontal temporal versus nasal clear corneal incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:418–423
268. Rainer G, Menapace R, Vass C et al. Corneal shape changes after temporal and superolateral 3.0mm clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25:1121–1126
269. Cillino S, Morreale D, Mauceri A et al. Temporal versus superior approach phacoemulsification: short-term postoperative astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1997; 23:267–271
270. Oshika T, Sugita G, Tanabe T et al. Regular and irregular astigmatism after superior versus temporal scleral incision cataract surgery. *Ophthalmology* 2000; 107:2049–2053

271. Gokhale NS, Sawhney S. Reduction in astigmatism in manual small incision cataract surgery through change of incision site. *Indian J Ophthalmol* 2005; 53:201–203
272. Yoon JH, Kim KH, Lee JY et al. Surgically induced astigmatism after 3.0mm temporal and nasal clear corneal incisions in bilateral cataract surgery. *Indian J Ophthalmol* 2014; 62:753
273. Febbraro JL, Wang L, Borasio E et al. Astigmatic equivalence of 2.2-mm and 1.8-mm superior clear corneal cataract incision. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015; 253:261–265
274. Wang J, Zhang EK, Fan WY et al. The effect of micro-incision and smallincision coaxial phaco-emulsification on corneal astigmatism. *Clin Experiment Ophthalmol* 2009; 37:664–669
275. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F et al. The correlation between incision size and corneal shape changes in sutureless cataract surgery. *Ophthalmology* 1995; 102:550–556
276. Kohnen T, Lambert RJ, Koch DD. Incision sizes for foldable intraocular lenses. *Ophthalmology* 1997; 104:1277–1286
277. Jauhari N, Chopra D, Chaurasia RK et al. Comparison of surgically induced astigmatism in various incisions in manual small incision cataract surgery. *Int J Ophthalmol* 2014; 7:1001–1004
278. Guy J. Ben Simon, Howard Desatnik. Correction of pre-existing astigmatism during cataract surgery: comparison between the effects of opposite clear corneal incisions and a single clear corneal incision. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005;243:321–326
279. Izzet Can, Tamer Takmaz, Yelda Yıldız et al. Coaxial, microcoaxial, and biaxial microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:740–746

280. Theodoulidou S, Asproudis I, Athanasiadis A et al. Comparison of surgically induced astigmatism among different surgeons performing the same incision. *Int J Ophthalmol* 2017;10(6):1004-1007
281. Theodoulidou S, Asproudis I, Kalogeropoulos Ch et al. Corneal Diameter as a Factor Influencing Corneal Astigmatism After Cataract Surgery, *Cornea* 2016;35:132–136
282. Tjon-Fo-Sang MJ, de Faber JT, Kingma C et al. Cyclotorsion: a possible cause of residual astigmatism in refractive surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28(4):599–602
283. Kim H, Joo CK. Ocular cyclotorsion according to body position and flap creation before laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(4):557–561
284. Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(1):70-5
285. Fine IH, Hoffman RS. Refractive aspects of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 1996;7:21-25
286. Buckhurst PJ, Wolffsohn JS, Davies LN et al. Surgical correction of astigmatism during cataract surgery. *Clin Exp Optom* 2010;93(6): 409-18
287. Fares U, Otri AM, Al-Aqaba MA et al. Correlation of central and peripheral corneal thickness in healthy corneas. *Cont Lens Anterior Eye.* 2012;35(1):39–45.
288. Jonuscheit S, Doughty MJ, Martin R et al. Peripheral nasal-temporal corneal asymmetry in relation to corneal thickness: a Scheimpflug imaging study. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2015;35(1):45–51.
289. Thornton SP. Astigmatic keratotomy: a review of basic concepts with case reports. *J Cataract Refract Surg.* 1990;16(4):430–435.

290. Cravy TV. Calculation of the change in corneal astigmatism following cataract extraction. *Ophthalmic Surg.* 1979;10(1):38–49
291. Alio JL, Azar DT, editors. *Management of complications in refractive surgery.* Berlin, Germany: Springer-Verlag; 2008:107–112
292. Hayashi K, Yoshida M, Hayashi H. Corneal shape changes after 2.0-mm or 3.0-mm clear corneal versus sclera tunnel incision cataract surgery. *Ophthalmology.* 2010;117(7):1313–1323.
293. Boote C, Hayes S, Abahussin M et al. Mapping collagen organization in the human cornea: left and right eyes are structurally distinct. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47(3):901–908.