

## Ενδοφακοί: Νεότερες εξελίξεις

Α. Νικολαΐδου, Α. Διάφας, Κ. Αναγνώστου, Θ. Χατζημπαλής

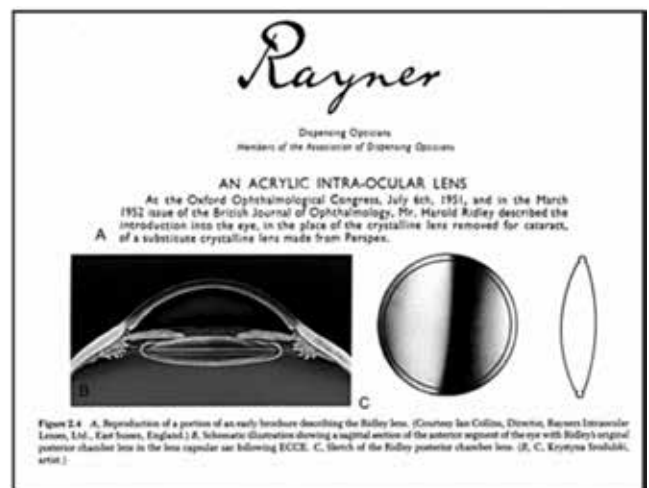
### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σύγχρονοι ενδοφακοί (Intraocular Lenses, IOL) έχουν προχωρήσει πολύ από τους πρώτους φακούς από άκαμπτους πολυμεθακρυλικούς μεθυλεστέρες. Η χειρουργική επέμβαση καταρράκτη είναι πλέον αρκετά ακριβής και προβλέψιμη ώστε να επιτρέπει στους χειρουργούς να βελτιστοποιούν τα διαθλαστικά αποτελέσματα προσφέροντας μια σειρά τεχνολογιών IOL για την ικανοποίηση των αναγκών των ασθενών. Επειδή κάθε φακός έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του, αυτό το άρθρο θα εξετάσει όλες τις κατηγορίες ενδοφακών που έχουν σχεδιαστεί για χειρουργική επέμβαση καταρράκτη, συμπεριλαμβανομένων των πιο πρόσφατων τεχνολογιών φακών για καθεμία.

**Λέξεις κλειδιά:** Ενδοφακοί, Χειρουργική Αφαίρεση καταρράκτη, Πολυεστιακοί ενδοφακοί, Μονοεστιακοί ενδοφακοί, Τορικοί ενδοφακοί, Ενδοφακοί αυξημένου βάθους εστίασης, Θόλωση ενδοφακών.

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιστορία των ενδοφακών είναι ένα πραγματικό παράδειγμα στενής συνεργασίας της ιατρικής με την τεχνολογία. Όλα ξεκίνησαν όταν ο Sir Harold Ridley παρατήρησε την αδράνεια που εμφάνιζαν οι οφθαλμοί τραυματιών στα θραύσματα του ανεμοθώρακα των αεροπλάνων μετά από ατύχημα, και έτσι συνέλαβε την ιδέα του ενδοφακού. Το υλικό του πρώτου ενδοφακού ήταν το polymethylmethacrylate (PMMA).<sup>1</sup>



Εικόνα 1. <https://royalsocietypublishing.org>

Ο πρώτος ενδοφακός κατασκευάστηκε από τις εταιρίες Rayner Company and Imperial Chemical Industries και ο Sir Harold Ridley πραγματοποίησε την 1<sup>η</sup> τοποθέτηση

Εργαστήριο Πειραματικής Οφθαλμολογίας, Τμήμα Ιατρικής, ΑΠΘ

Corresponding author: A. Nikolaidou  
e-mail: anniko744@gmail.com

ενδοφακού στις 8 Φεβρουαρίου του 1950.<sup>2,3</sup> Παλαιότερα οι ασθενείς που υποβάλλονταν σε επέμβαση καταρράκτη παρέμεναν αφακικοί και έπρεπε να χρησιμοποιούν είτε πολύ χοντρά γυαλιά οράσεως, είτε φακούς επαφής για να μπορούν να βλέπουν. Ο πρώτος ενδοφακός έγινε αποδεκτός από τον FDA το 1981. Παραδοσιακά, ο φακός που χρησιμοποιείτο για την επέμβαση καταρράκτη ήταν ένας μονοεστιακός φακός. Αυτός ο τύπος φακού μπορούσε να προσφέρει καλή, λειτουργική μακρινή όραση, αλλά οι άνθρωποι και πάλι έπρεπε να συνεχίζουν να φοράνε γυαλιά για το διάβασμα.<sup>4</sup> Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην κατασκευή πολλών ειδών ενδοφακών, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες περισσότερων ασθενών.

### Ενδοφακοί (Intra Ocular Lenses, IOLs)

Ενδοφακοί ονομάζονται οι τεχνητοί φακοί που αντικαθιστούν τον κρυσταλλοειδή φακό του ασθενούς (εικόνα 1), με σκοπό τη διόρθωση της διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού ή μετά από χειρουργείο καταρράκτη. Είναι κατασκευασμένοι από βιοσυμβατό υλικό. Αποτελούνται, από το οπτικό μέρος στο κέντρο και τα απτικά τμήματα περιφερειακά, τα οποία άπτονται σε ορισμένες ανατομικές δομές του οφθαλμού έτσι ώστε να σταθεροποιούν και να συγκρατούν τον φακό.

Η τοποθέτηση τεχνητού φακού κατά το χειρουργείο καταρράκτη αποτελεί την θεραπεία εκλογής για την αντιμετώπιση του καταρράκτη στις ανεπτυγμένες χώρες. Η ισχύς του ενδοφακού που θα επιλεγεί για τοποθέτηση επηρεάζει καθοριστικά τη μετεγχειρητική δια-

θλαστική δύναμη του οφθαλμού. Για να υπολογισθεί η διαθλαστική δύναμη του φακού που θα χρησιμοποιηθεί, είναι απαραίτητη η γνώση της διοπτρικής ισχύος του κερατοειδή, η ορθή θέση του ενδοφακού μέσα στο μάτι, η αφακική διάθλαση και το αξονικό μήκος του βολβού.

Η διοπτρική δύναμη του ενδοφακού που θα χρησιμοποιηθεί, υπολογίζεται μέσω της βιομετρίας (λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους) και καθιστά το μάτι εμμετρωπικό στο βαθμό που αυτό μπορεί να επιτευχθεί.

Στην αγορά διατίθενται πλέον πολλοί τύποι ενδοφακών, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται περαιτέρω με βάση το σχήμα τους (square edge, round edge), τον αριθμό των απτικών τμημάτων τους, το σημείο στο οποίο τοποθετούνται (πρόσθιος θάλαμος, οπίσθιος θάλαμος, sulcus), το υλικό κατασκευής τους (σιλικόνη, ακρυλικό, PMMA) καθώς και την λειτουργία τους (μονοεστιακοί, πολυεστιακοί, EDOF) κ.α.<sup>5</sup>

Οι σύγχρονοι ενδοφακοί (Intraocular Lenses, IOLs) (εικόνα 2) έχουν προχωρήσει πολύ από τους πρώτους φακούς από άκαμπτους πολυμεθακρυλικούς μεθυλεστέρες που χρησιμοποιούνταν τη δεκαετία του 1950. Σημαντικός παράγοντας που οδήγησε στην πρόοδο και εξέλιξη των ενδοφακών, μεταξύ άλλων, είναι η μεγάλη αύξηση των χειρουργείων καταρράκτη παγκοσμίως.<sup>5,6</sup>

Οι ενδοφακοί χρησιμοποιούνται στη χειρουργική επέμβαση καταρράκτη για την αντικατάσταση του κρυσταλλοειδούς φακού ή και για τη διόρθωση διαθλαστικών ανωμαλιών. Τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί ένα ευρύ φάσμα πολυεστιακών ενδοφακών οι οποίοι έχουν ξεπεράσει τους παραδοσιακούς μονοεστιακούς φακούς. Με την αύξηση του προσδόκιμου ορίου



Εικόνα 2. <https://www.midohioeye.com/cataract-columbus/premium-lens-options/>

ζωής και την αλλαγή του τρόπου ζωής, ένας αυξανόμενος αριθμός ασθενών ζητά ανεξάρτητη από γυαλιά κοντινή και ενδιάμεση όραση για τις καθημερινές τους δραστηριότητες, πέρα από την άριστη μακρινή όραση. Οι ενδοφακοί μπορούν να αποτελέσουν επίσης μια θεραπευτική επιλογή για τους πρεσβυωπικούς ασθενείς που δεν είναι υποψήφιοι για διαθλαστική χειρουργική επέμβαση με λέιζερ και δεν θέλουν να βασίζονται σε γυαλιά ανάγνωσης.<sup>7</sup>

Καθώς υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων ενδοφακών στην αγορά, συνιστάται η προσεκτική και πλήρης οφθαλμολογική αξιολόγηση του ασθενούς και στη συνέχεια η επιλογή ενδοφακού με βάση τον τρόπο ζωής και τις οπτικές του ανάγκες.

### Μονοεστιακοί ενδοφακοί

Οι μονοεστιακοί ενδοφακοί είναι οι κλασικοί ενδοφακοί που τοποθετούνται στα χειρουργεία καταρράκτη εδώ και πολλά χρόνια. Προσφέρουν σφαιρική διόρθωση και διαθέτουν την ίδια διοπτρική δύναμη σε όλη τους την επιφάνεια, συνεπώς δίνουν τη δυνατότητα εστίασης σε μία μόνο απόσταση. Δεν μπορούν να διορθώσουν τον αστιγματισμό ή να δώσουν όραση σε πολλαπλές αποστάσεις, επομένως οι ασθενείς θα χρειαστούν γυαλιά μετεγχειρητικά για να επιτευχθεί άριστη όραση. Συνήθως η διοπτρική δύναμη των μονοεστιακών φακών προσαρμόζεται έτσι, ώστε να εξυπηρετείται η μακρινή όραση χωρίς γυαλιά. Για να μπορέσει όμως ο ασθενής να δει κοντά θα χρειαστεί τη βοήθεια γυαλιών (εκτός αν έχει επιλεγεί η τεχνική Monovision). Οι μονοεστιακοί ενδοφακοί παρέχουν εξαιρετική καθαρότητα και ευαισθησία αντίθεσης, εικόνα με ελάχιστες εκτροπές. Αυτοί οι φακοί είναι ιδανικοί για ασθενείς με οφθαλμικές συννοσηρότητες, όπως η απώλεια οπτικού πεδίου και η μειωμένη ευαισθησία φωτεινών αντιθέσεων λόγω ηλικιακής εκφύλισης της ωχράς κηλίδας ή γλαυκώματος.<sup>8,9</sup>

Πολλοί φακοί είναι παραλλαγές των μονοεστιακών φακών που προσφέρονται από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές ενδοφακών. Σήμερα, οι περισσότεροι μονοεστιακοί φακοί που εμφυτεύονται είναι φακοί ενός τεμαχίου (one piece) κατασκευασμένοι από υδροφοβό ακρυλικό υλικό. Αυτοί οι φακοί είναι πτυσσόμενοι και

έχουν σχεδιαστεί για τοποθέτηση στον σάκο του περιφακίου. Διατίθενται επίσης μονοεστιακοί φακοί τριών τεμαχίων (three piece). Στα πλεονεκτήματα των φακών τριών τεμαχίων περιλαμβάνεται η ευελιξία για την ασφαλή τοποθέτησή τους στο περιφάκιο, στο sulcus ή στον σκληρό χιτώνα μέσω στερέωσης.

Οι ασφαιρικοί ενδοφακοί αποτελούν μια εξέλιξη των μονοεστιακών με πολλά πλεονεκτήματα. Ενώ το σώμα των κλασικών μονοεστιακών ενδοφακών είναι σφαιρικό σε όλη τους την επιφάνεια, οι ασφαιρικοί έχουν το σώμα τους πιο πεπλατυσμένο περιφερειακά. Αυτή η ειδική σχεδίαση έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιωμένη ευαισθησία φωτεινών αντιθέσεων και λιγότερες εκτροπές (aberrations), συνεπώς και βελτιωμένη ποιότητα όρασης.<sup>10</sup>

### Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των μονοεστιακών ενδοφακών

Οι τελευταίας γενιάς μονοεστιακοί ενδοφακοί έχουν καθαρότερη εικόνα συγκριτικά με τους προηγούμενους.

Ενδείκνυνται σε ασθενείς που χρειάζονται βέλτιστη μακρινή όραση (π.χ. επαγγελματίες οδηγοί).

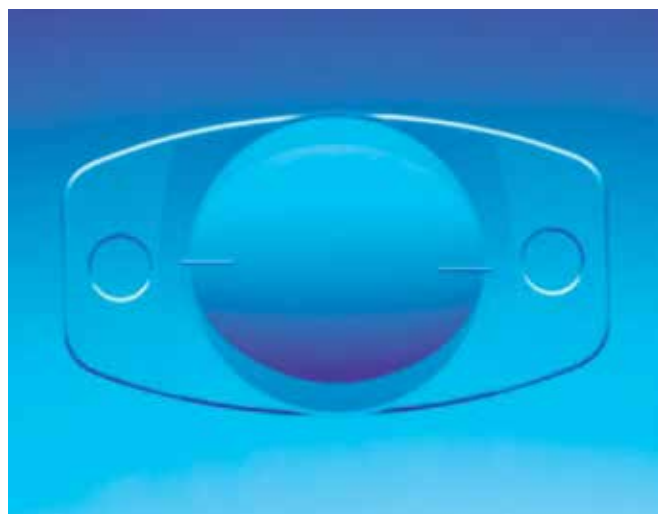
Προσφέρουν ανώτατη ποιότητα όρασης σε όλο το φάσμα του φωτισμού.

Οι γλανκωματικοί ασθενείς ή αυτοί με εκφύλιση της ωχράς κηλίδας επωφελούνται στο μέγιστο.

Το κύριο μειονέκτημα των μονοεστιακών ενδοφακών είναι ότι προσφέρει καθαρή όραση μόνο σε συγκεκριμένη απόσταση. Υπάρχει όμως η δυνατότητα ρύθμισης με την τεχνική Monovision. Η Monovision είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να επιτευχθεί καλή μακρινή όραση στο ένα μάτι και καλή κοντινή όραση στο άλλο.<sup>11</sup>

### Τορικοί ενδοφακοί

Οι τορικοί ενδοφακοί (εικόνα 3) είναι επίσης μονοεστιακοί, κατασκευασμένοι να προσφέρουν καλή μακρινή όραση, και να διορθώνουν τόσο την μυωπία και την υπερμετροπία όσο και τον αστιγματισμό. Διαφέρουν από τους απλούς μονοεστιακούς στο ότι χρειάζεται ιδιαίτερη μέριμνα από τον χειρουργό για την ορθή τοποθέτησή τους και πάντα με βάση προεγχειρητικές μετρήσεις. Αντίθετα από τους μονοεστιακούς φακούς, που έχουν την ίδια δύναμη σε όλους τους άξονές τους,



Εικόνα 3. AMO Toric IOL, Staar Toric IOL [https://eyewiki.aao.org/Toric\\_IOLs](https://eyewiki.aao.org/Toric_IOLs)

οι τορικοί φακοί έχουν διαφορετική δύναμη σε κάποιους άξονες, για να αντιμετωπιστεί ο αστιγματισμός του ασθενούς. Αυτό έχει ως συνέπεια να απαιτείται ορθή τοποθέτηση του τορικού ενδοφακού με υψηλή ακρίβεια μέσα στο περιφάκιο, γιατί ακόμα και μια ελάχιστη απόκλιση λίγων μοιρών μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη όραση με θολώσεις. Διατίθενται σε ένα εύρος διαφορετικών διαθλαστικών δυνάμεων (σφαίρας, κυλίνδρου) για να καλύψουν τις ανάγκες των περισσότερων ασθενών. Όλοι οι τρέχοντες τύποι μονοεστιακών, πολυεστιακών και εκτεταμένου βάθους εστίασης ενδοφακών διατίθενται επίσης σε τορική έκδοση, για ασθενείς με αστιγματισμό.<sup>12</sup>

Οι τορικοί ενδοφακοί είναι η θεραπεία εκλογής για τη διόρθωση του κερατοειδικού αστιγματισμού 1 D ή περισσότερο σε περιπτώσεις που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση καταρράκτη. Τα αποτελέσματα μετά την εμφύτευση τορικού ενδοφακού επηρεάζονται από πολυάριθμους παράγοντες όπως, η προεγχειρητική επιλογή και εκτίμηση του περιστατικού, η ακριβής διεγχειρητική ευθυγράμμιση και η μετεγχειρητική φροντίδα. Η αυξημένη ακρίβεια της εκτίμησης της κερατομετρίας μπορεί να επιτευχθεί με τη λήψη πολλαπλών μετρήσεων και τη χρήση τουλάχιστον δύο ξεχωριστών συσκευών που βασίζονται σε διαφορετικές αρχές.<sup>13</sup> Ένας ιδανικός τύπος υπολογισμού της ισχύος του φακού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον χειρουργικά προκαλούμενο αστιγματισμό, την οπίσθια καμπυλό-

τητα του κερατοειδούς καθώς και την τελική θέση του φακού. Η μετεγχειρητική παρεκτόπιση του τορικού φακού είναι ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για τη μη επίτευξη βέλτιστων οπτικών αποτελεσμάτων μετά την εμφύτευσή του. Επαναπροσαρμογή του τορικού φακού απαιτείται σε ποσοστό 0,65%-3,3% των περιπτώσεων, με περιστροφή άνω των 10° από τον άξονα-στόχο. Οι νεότεροι τορικοί ενδοφακοί έχουν ενισχυμένη σταθερότητα περιστροφής και παρέχουν ακριβή οπτικά αποτελέσματα με ελάχιστες σοβαρές εκτροπές.<sup>14</sup>

Οι εφαρμογές των τορικών ενδοφακών επεκτείνονται και περιλαμβάνουν επίσης περιπτώσεις με υψηλό αστιγματισμό, ακανόνιστο αστιγματισμό, εκτατικές διαταραχές του κερατοειδούς και ειδικές περιπτώσεις μετά από κερατοπλαστική. Οι μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις ενδέχεται να βελτιώσουν περαιτέρω τα αποτελέσματα των τορικών φακών, με ακριβέστερα οπτικά αποτελέσματα και ενισχυμένη σταθερότητα του ενδοφακού. Παρουσιάζονται νεότεροι προσαρμοσμένοι φακοί που μπορούν να εμφυτευτούν στον άξονα 0°-180° χωρίς την ανάγκη περιστροφικής ευθυγράμμισης. Αναμένεται τέλος, ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων καθοδήγησης κατά την τοποθέτηση του ενδοφακού, που ενσωματώνουν την προεγχειρητική κερατομετρία, την εκτίμηση της ισχύος του ενδοφακού και την τορική ευθυγράμμιση.<sup>15</sup>

### **Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των τορικών ενδοφακών**

Οι τορικοί φακοί μας επιτρέπουν να συνδυάσουμε τη διόρθωση της μυωπίας (ή της υπερμετροπίας) και του αστιγματισμού ταυτόχρονα.

Σχεδόν όλα τα είδη ενδοφακών διατίθενται σε τορική έκδοση, γεγονός που επιτρέπει την εξατομίκευση της θεραπευτικής προσέγγισης και την προσαρμογή της στις ανάγκες του κάθε ασθενούς.

Ένα μειονέκτημα αυτού του είδους φακών αποτελεί το αυξημένο κόστος τους, το οποίο συνήθως δεν καλύπτεται από τα ασφαλιστικά ταμεία ούτε στην Ευρώπη, ούτε στην Αμερική.

Επίσης είναι καθοριστικής σημασίας το σωστό προεγχειρητικό μαρκάρισμα του κερατοειδούς και η καλή επικέντρωση του ενδοφακού διεγχειρητικά στον ακριβή άξονα του αστιγματισμού. Όλα αυτά απαιτούν αυξημένη προσοχή και δεξιότητα από τον χειρουργό.<sup>16</sup>

Οι τορικοί ενδοφακοί δεν ενδείκνυνται σε επιπλεγμένα χειρουργεία καταρρακτικών ασθενών, όπου αυξάνεται ο κίνδυνος μετατόπισης του φακού και αλλαγής του άξονα του αστιγματισμού.

### **Πολυεστιακοί ενδοφακοί**

Οι πολυεστιακοί ενδοφακοί, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, δημιουργούν πολλαπλά εστιακά σημεία σε διαφορετικές αποστάσεις για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας. Αυτοί οι φακοί έχουν ένα μοτίβο δακτυλίων που σχηματίζονται στην κεντρική οπτική οδό. Οι δακτύλιοι εστιάζουν το φως για να παρέχουν καθαρή μακρινή, κοντινή ή/και ενδιάμεση όραση, ανάλογα με τον φακό. Είναι γενικά διαθέσιμοι σε διαφορετικές δυνάμεις addition, σφαίρας και κυλίνδρου. Καθώς το σώμα των πολυεστιακών ενδοφακών είναι χωρισμένο σε δακτυλίους (δίκηνη στόχου) με διαφορετική διοπτρική ισχύ εστίασης, για την εξυπηρέτηση της όρασης του ασθενούς σε πολλές αποστάσεις, μπορεί να δημιουργηθεί πολλές φορές μείωση της ευαισθησίας φωτεινών αντιθέσεων. Οι περισσότεροι ασθενείς αναφέρουν πολύ καλή ενδιάμεση και κοντινή όραση, όμως κάποιοι ασθενείς μπορεί να χρειαστούν επιπλέον γυαλιά για κοντά.

Οι διπλοεστιακοί ενδοφακοί κατασκευάστηκαν για να εξυπηρετούν μακρινή και κοντινή όραση. Το άνω

μέρος ενός διπλοεστιακού φακού χρησιμοποιείται για την μακρινή όραση, ενώ το κάτω μέρος έχει περισσότερη διοπτρική ισχύ, ώστε να εξυπηρετεί την κοντινή όραση (30-35 cm, για ανάγνωση βιβλίου).<sup>17-19</sup>

### **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πολυεστιακών ενδοφακών**

Παρέχουν καλή κοντινή, ενδιάμεση και μακρινή όραση δημιουργώντας πολλαπλά εστιακά σημεία.

Έχουν αυξημένες εκτροπές («φωτοστέφανα» και θαμβώσεις) και έως και 50% απώλεια της ευαισθησίας φωτεινών αντιθέσεων, λόγω των δακτυλίων της οπτικής ζώνης.

Δεν ενδείκνυνται για ασθενείς που πάσχουν από ασθένειες του αμφιβληστροειδούς, γλαύκωμα ή διαθέτουν ακανόνιστο κερατοειδή.

Για την απόφαση τοποθέτησης ενός πολυεστιακού ενδοφακού απαιτείται σημαντική αξιολόγηση του «προφίλ» του ασθενή και των αναγκών του, ενώ και η επέμβαση του καταρράκτη θα πρέπει να είναι η καλύτερη δυνατή. Ανάλογα με τον ασθενή και τις δραστηριότητες ή ανάγκες που έχει επιλέγεται ο τύπος του πολυεστιακού ενδοφακού, καθώς υπάρχουν ιδιαιτερότητες ως προς τη βέλτιστη μακρινή, ενδιάμεση ή κοντινή όραση σε κάθε τύπο ενδοφακού.

Παρόλα αυτά οι πολυεστιακοί ενδοφακοί αντιπροσωπεύουν πάνω από το ένα τρίτο των αιτιών ανταλλαγής ενδοφακών.<sup>18</sup>

### **Ενδοφακοί αυξημένου βάθους εστίασης (Extended depth-of-focus, EDOF)**

Οι ενδοφακοί αυξημένου βάθους εστίασης (Extended depth-of-focus, EDOF) αντιμετωπίζουν την πρεσβυωπία επεκτείνοντας το εύρος της εστίασης αντί να διαχωρίζουν το φως σε διακριτά εστιακά σημεία. Το κυριότερο πλεονέκτημα των φακών EDOF είναι οι μειωμένες εκτροπές σε σύγκριση με τους πολυεστιακούς/τριεστιακούς φακούς και η βελτιωμένη ενδιάμεση όραση σε σύγκριση με τους πολυεστιακούς. Η κοντινή όραση με τους EDOF δεν είναι συνήθως τόσο υψηλής ποιότητας όσο με τους πολυεστιακούς ή τριεστιακούς. Αυτοί οι φακοί επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν μόνο για ασθενείς με σχετικά υγιείς οφθαλμούς.<sup>20</sup>

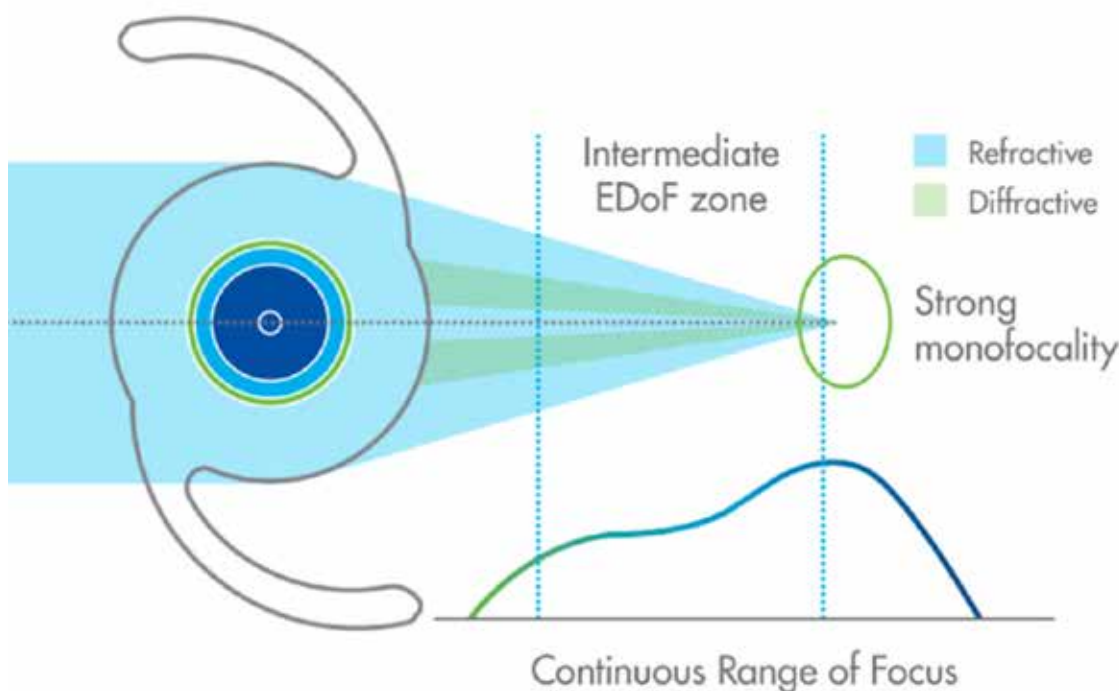
Σε αντίθεση με τους πολυεστιακούς IOL, οι φακοί EDOF (εικόνα 4) δημιουργούν ένα ενιαίο επιμηκυμένο σημείο εστίασης, αντί για πολλές εστίες, για να ενισχύσουν το βάθος εστίασης. Με αυτόν τον τρόπο, οι EDOF στοχεύουν στη μείωση των εκτροπών, του «θάμβους» όρασης και των «φωτοστεφάνων», τα οποία έχουν αναφερθεί στους πολυεστιακούς.<sup>21</sup> Συχνά, οι EDOF συνδυάζονται με πολυεστιακούς οπτικούς σχεδιασμούς. Με βάση τις τεχνολογίες των ενδοφακών θα πρέπει να διακριθούν 2 ομάδες, οι αμιγείς EDOF και οι υβριδικοί MF-EDOF. Οι αμιγείς EDOF χρησιμοποιούν οπτική βασισμένη αποκλειστικά στη σφαιρική εκτροπή ή το φαινόμενο «pinhole». Οι υβριδικοί MF-EDOF IOLs θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν ως diffractive-EDOF, refractive-EDOF και diffractive-refractive-EDOF. Για αρκετούς τύπους αυτών των φακών, τα διαθέσιμα κλινικά στοιχεία είναι περιορισμένα.<sup>22,23</sup>

Οι Breyer et al σημείωσαν ότι με τους EDOF IOLs η μακρινή και η ενδιάμεση οπτική οξύτητα είναι καλή, ωστόσο η κοντινή όραση εξακολουθεί να υπολείπεται για τους περισσότερους φακούς EDOF, παρότι κάποιες μελέτες ανέφεραν ικανοποιητική ποιότητα κοντινής όρασης.<sup>24</sup> Ένας από τους τρόπους αντιστάθμισης της

ανεπάρκειας της κοντινής οπτικής οξύτητας, σε ασθενείς που έχουν τοποθετηθεί ενδοφακοί EDOF, είναι η χρήση γυαλιών κοντινής όρασης. Θα ήταν επίσης σημαντικό να αναπτυχθεί ένα τυποποιημένο αντικειμενικό μέσο μέτρησης και αναφοράς των οπτικών και διαθλαστικών αποτελεσμάτων με αυτούς τους φακούς, ως οδηγός για τις κλινικές έρευνες στο μέλλον.

Η νευροπροσαρμογή αποτελεί μείζονα ανησυχία στους πολυεστιακούς ή EDOF. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και εξαρτάται από ατομικούς παράγοντες, ορισμένοι εκ των οποίων είναι άγνωστοι. Αν και ο εγκέφαλος προσαρμόζεται σε μια ορισμένη ποσότητα εκτροπών με την πάροδο του χρόνου, μια ξαφνική αύξηση των εκτροπών μπορεί να μη γίνει αποδεκτή.

Ορισμένες μελέτες ανέφεραν χαμηλότερη ένταση των εκτροπικών φαινομένων στους φακούς EDOF σε σύγκριση με τους φακούς MF. Ειδικότερα, οι Savini et al ανέφεραν ότι μικρότερο μέσο μέγεθος σχετίζεται με χαμηλότερη μέση ένταση των φαινομένων αυτών. Τέσσερις έως έξι μήνες μετά τη χειρουργική επέμβαση το 87,0% έως 97,6% των ατόμων δεν είχαν καθόλου ή είχαν ήπια ένταση «φωτοστεφάνων, θάμβους ή starbursts».<sup>25</sup>



Εικόνα 4. <https://www.teleon-surgical.com/en/national/products/xact-mono-edof-iol/>

### Ρυθμιζόμενος με φως ενδοφακός (Light Adjustable Lens)

Ο Light Adjustable Lens (RxSight) (εικόνα 5) διαφέρει από τους προηγούμενους, καθώς η ισχύς του φακού μπορεί να αλλάξει μετά την τοποθέτησή του, με τη χρήση υπεριώδους φωτός. Πρόκειται για κατασκευή από φωτοευαίσθητη σιλικόνη και ένα ειδικό μικροτοίπι. Το οπτικό υλικό του φακού περιέχει μονομερή που μπορούν να ενεργοποιηθούν (με επεξεργασία με υπεριώδες φως) για να αλλάξουν το σχήμα και την ισχύ του φακού. Αυτός ο φακός τοποθετείται παρόμοια με τους άλλους φακούς που συζητήθηκαν. Κατά τη μεταχειριστική περίοδο, λαμβάνεται η διάθλαση και εφαρμόζονται θεραπείες στον φακό στο ιατρείο, κλειδώνοντας τελικά την τελική ισχύ περίπου ένα μήνα μετά την επέμβαση.<sup>26-28</sup>

Αυτός ο φακός είναι ιδανικός για ασθενείς των οποίων οι προεγχειρητικοί υπολογισμοί είναι δύσκολοι, όπως εκείνοι που έχουν ανωμαλίες στον κερατοειδή ή έχουν υποβληθεί σε διαθλαστική επέμβαση. Οι ρυθμιζόμενοι με φως φακοί δεν αντιμετωπίζουν την πρεσβυωπία και έχουν υψηλή ποιότητα εικόνας με ελάχιστες εκτροπές συγκριτικά με τους μονοεστιακούς.<sup>29,30</sup>

### Προσαρμοστικοί ενδοφακοί

Οι προσαρμοστικοί ενδοφακοί έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση της πρεσβυωπίας αλλάζοντας θέση, σχήμα ή διαμόρφωση όταν ο οφθαλμός προσαρμόζεται. Μιμούνται δηλαδή τις ιδιότητες και τη λειτουργία

του φυσικού φακού. Αυτό αναδημιουργεί τη φυσική αλλαγή στην ισχύ του φακού με την προσαρμογή, μειώνοντας ή εξαλείφοντας την πρεσβυωπία. Οι ασθενείς με αυτούς τους φακούς μπορούν να βλέπουν καλά μακριά, ενδιάμεσα και κοντά. Σε αντίθεση με τους πολυεστιακούς φακούς και τους φακούς EDOF, οι οποίοι έχουν εκτροπές λόγω των δακτυλίων, οι ενδοφακοί προσαρμογής έχουν ελάχιστες εκτροπές. Επομένως, αυτοί οι φακοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ασθενείς με οφθαλμικές παθήσεις όπως το γλαύκωμα ή η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας.<sup>31-33</sup>

Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους ενδοφακούς που παραμένουν ακίνητοι στη θέση τους, οι προσαρμοστικοί ενδοφακοί μετακινούνται προς τα εμπρός (αύξηση εστίασης) κατά τη σύσπαση του ακτινωτού μυός. Παρόλαυτα, έχουν κάποιες φορές αμφίβολα αποτελέσματα γιαυτό και απαιτείται περαιτέρω έρευνα επαυτών.

### Τηλεσκοπικοί ενδοφακοί (telescopic)

Πρόκειται για μεγενθυντικούς ενδοφακούς που εμφυτεύονται στον έναν μόνο οφθαλμό. Ο χειρουργημένος οφθαλμός παρέχει κοντινή όραση ενώ ο έτερος οφθαλμός διατηρεί την περιφερική όραση. Αφορούν ασθενείς με χαμηλή όραση και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ασθενείς με ξηρά ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς.<sup>34</sup>

### Φακικοί ενδοφακοί (ICL)

Οι φακικοί ενδοφακοί (εικόνα 6) αποτελούν την κύρια θεραπεία για τους ασθενείς που έχουν είτε υψηλή



Εικόνα 5. <https://www.eyessociatesofsouthtexas.com/light-adjustable-lens-san-antonio/>

αμετρωπία, είτε αντενδείξεις για διαθλαστική επέμβαση με λέιζερ. Αυτό το είδος της χειρουργικής διαδικασίας έχει αποδειχθεί ότι είναι ασφαλές και αποτελεσματικό με χαμηλό ποσοστό επιπλοκών. Επιπλέον, αυτή η επιλογή διαθλαστικής διόρθωσης έγινε πιο σημαντική κατά τα τελευταία χρόνια λόγω της αύξησης του μυωπικού πληθυσμού. Οι αισθητικοί και οπτικοί περιορισμοί των παραδοσιακών οφθαλμικών φακών, καθώς και η τάση για κατάχρηση των φακών επαφής καθιστούν τους φακικούς ενδοφακούς μια κατάλληλη θεραπεία για ασθενείς με σοβαρή μυωπία. Μπορούν με ασφάλεια να διορθώσουν μέχρι και 20 βαθμούς μυωπίας γεγονός που τους καθιστά ως μια καλή και αξιόπιστη εναλλακτική λύση για τους οφθαλμούς με υψηλή μυωπία που δεν μπορούν να υποβληθούν σε επέμβαση LASIK ή PRK.<sup>35-37</sup>

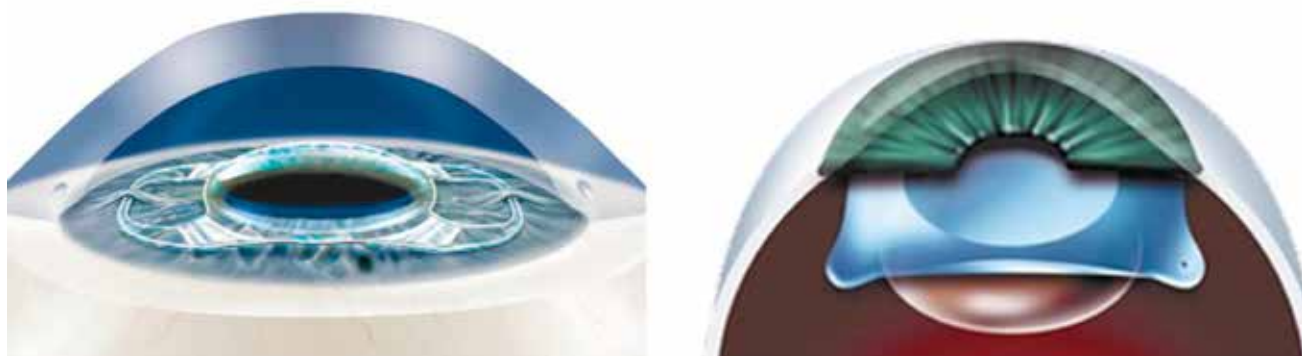
Οι φακικοί ενδοφακοί έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη διαθλαστική χειρουργική με λέιζερ (καλύτερη οπτική ποιότητα σε υψηλές αμετρωπίες, ευρύτερο εύρος διόρθωσης, αναστρεψιμότητα, κ.λ.π.), παρόλα αυτά, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η τοποθέτηση ενός φακικού ενδοφακού αποτελεί μια χειρουργική επέμβαση συνοδευόμενη με τους επακόλουθους κινδύνους που συνδέονται με τις ενδοφθάλμιες χειρουργικές επεμβάσεις, συμπεριλαμβανομένων σοβαρών επιπλοκών όπως η ενδοφθαλμίτιδα.

Αυτοί οι ενδοφακοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες ανάλογα με την θέση τοποθέτησης του φακού: στον πρόσθιο θάλαμο ή στον οπίσθιο θάλαμο. Η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια και των δύο τύ-

πων είναι παρόμοια όταν συγκρίνονται οι φακικοί ενδοφακοί πρόσθιου θαλάμου με σταθεροποίηση στην ίριδα και οι φακικοί οπίσθιου θαλάμου, αν και οι τελευταίοι έχουν υψηλότερη προβλεψιμότητα και καλύτερη αισθητική. Το κύριο χαρακτηριστικό που καθιστά αυτό το είδος φακών κατάλληλο για την εμφύτευσή του σε νεαρούς ενήλικες είναι η διατήρηση της προσαρμογής, καθώς δεν απαιτείται η εξαγωγή του κρυσταλλοειδούς φακού. Ωστόσο, η επιστημονική βιβλιογραφία είναι περιορισμένη όσον αφορά τη λειτουργία της προσαρμογής μετά την εμφύτευση και πολύ λίγες μελέτες την αναλύουν από κλινικής άποψης.<sup>38-40</sup>

### Εύρεση του σωστού φακού

Με την πρόοδο της τεχνολογίας και της υγειονομικής περιθαλψης, οι ασθενείς είναι καλύτερα ενημερωμένοι και έχουν υψηλότερες προσδοκίες από τη χειρουργική επέμβαση του καταρράκτη από ότι σε παλαιότερες εποχές. Οι ασθενείς θα πρέπει να ενημερώνονται για όλες τις επιλογές ενδοφακών, ώστε να μπορούν, μαζί με τον χειρουργό τους, να επιλέξουν τους καλύτερους φακούς που ταιριάζουν στις ατομικές τους ανάγκες και στον τρόπο ζωής τους. Οι ερευνητικές μελέτες συνεχίζουν να αναπτύσσουν νέες μεθόδους υπολογισμού των χαρακτηριστικών των ενδοφακών για τη βελτίωση της διαθλαστικής ακρίβειας μετά από χειρουργική επέμβαση καταρράκτη. Για να αποκτήσουν ακριβέστερη πρόβλεψη της ισχύος του ενδοφακού, οι τύποι υπολογισμού έχουν ενσωματώσει πρόσθετες βιομετρικές μεταβλητές, όπως το βάθος του πρόσθιου θαλάμου, το πάχος του



Εικόνα 6: Phakic intraocular lenses. (A) Verisyse (courtesy of Ophtec). (B) Visian Implantable Collamer Lens (courtesy of STAAR Surgical Co.).



φακού, τη διαμέτρο του κερατοειδούς, ακόμη και την ηλικία του ασθενούς σε ορισμένους αλγορίθμους.<sup>41</sup>

Οι νεότερες φόρμουλες για τον υπολογισμό των ενδοφακών χρησιμοποιούν μοντέλα μέτρησης με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης. Τα διαθλαστικά αποτελέσματα με τους νεότερους τύπους είναι όλο και πιο ακριβή.

Παρόλα αυτά, ακόμα και σήμερα ορισμένες κλινικές περιπτώσεις παραμένουν προκλήσεις για τους οφθαλμιάτρους ως προς τον υπολογισμό του ενδοφακού. Τέτοιες περιπτώσεις μεταξύ άλλων είναι: εκτασίες κερατοειδούς, οφθαλμοί που έχουν υποβληθεί σε laser και παιδιατρικοί οφθαλμοί. Τα εμπόδια στον ακριβή υπολογισμό του ενδοφακού περιλαμβάνουν την αστάθεια των διαστάσεων του οφθαλμού και τις ανακριβείς ή δύσκολες βιομετρικές μετρήσεις.<sup>42,43</sup>

Από τους σημερινούς τύπους τρίτης και τέταρτης γενιάς, ο Barrett Universal II μπορεί να γίνει ένα σύγχρονο εργαλείο για τον υπολογισμό της ισχύος των IOL. Επίσης οι επιλογές IOL με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, όπως ο Hill-RBF και ο Kane, διαθέτουν αλγόριθμους που θα εξελίσσονται συνεχώς καθώς ενσωματώνονται ολοένα και περισσότερα δεδομένα. Η έκδοση του Hill-RBF 2.0 έδειξε μεγαλύτερη ακρίβεια και διευρυμένα εύρη για ανατομικές παραμέτρους σε σχέση με την πρώτη γενιά του<sup>44</sup>.

### Παιδιατρικοί ασθενείς

Η παιδιατρική χειρουργική καταρράκτη εξελίσσεται με την πρόοδο των μικροχειρουργικών τεχνικών. Οι παιδιατρικοί ασθενείς είναι επιρρεπείς σε μετεγχειρητικές διαθλαστικές εκπλήξεις λόγω των πολύ μικρών αξονικών μηκών τους. Οι νεότεροι τύποι και μέθοδοι υπολογισμού μπορεί να είναι ακριβέστεροι από τους παλαιότερους αλλά υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης της ακρίβειας για την επιλογή του IOL.<sup>45</sup>

Η κοινώς αποδεκτή ελάχιστη ηλικία τοποθέτησης IOL είναι τα 1-2 έτη. Ωστόσο, όλο και περισσότεροι χειρουργοί πραγματοποιούν τοποθέτηση IOL μεταξύ 6 μηνών και 1 έτους για την αποφυγή της αμβλυωπίας. Η τοποθέτηση IOL σε ηλικία μικρότερη των 6 μηνών εξακολουθεί να είναι αμφιλεγόμενη και να μελετάται. Η ισχύς του IOL, ο υπολογισμός και η επιλογή αποτελούν μείζονα αινίγματα σε αυτές τις περιπτώσεις. Το αξονικό μήκος πρέπει να μετράται προσεκτικά για να

αποφεύγονται λάθη στον υπολογισμό της ισχύος του IOL. Για τη μέτρηση του αξονικού μήκους μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο οι υπέρηχοι όσο και η οπτική βιομετρία. Δεν υπάρχει συμφωνία σχετικά με το ποιος τύπος υπολογισμού του IOL είναι ακριβέστερος σε παιδιατρικές περιπτώσεις. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι να αφήνονται οι ασθενείς πιο υπερμετρωπικοί όσο πιο νέοι είναι, αν και δεν έχουν ακόμη καθιερωθεί τυποποιημένες κατευθυντήριες γραμμές. Η γενική πρακτική για την παιδιατρική χειρουργική επέμβαση καταρράκτη είναι ο ασθενής να παραμείνει αφακικός εάν είναι μικρότερος από 1 έτος, με τοποθέτηση φακού σε μεταγενέστερο χρόνο. Όταν η τοποθέτηση IOL είναι κατάλληλη κατά τη στιγμή της φακεκτομής, οι χειρουργοί επιλέγουν σκόπιμα μια υπερμετρωπική διόρθωση για να συνυπολογίσουν την ανάπτυξη του οφθαλμού με την πάροδο του χρόνου. Διάφορες μελέτες προτείνουν μια κλίμακα υποδιόρθωσης ανάλογα με την ηλικία του ασθενούς κατά τη στιγμή της χειρουργικής επέμβασης καταρράκτη.

Οι εκλεπτυσμένες χειρουργικές τεχνικές, τα βελτιωμένα υλικά, ο καλύτερος σχεδιασμός του IOL και η χρήση αντιφλεγμονωδών φαρμάκων έχουν παίξει ρόλο στη μείωση της συχνότητας εμφάνισης επιπλοκών και στη διατήρηση ενός καθαρού οπτικού άξονα.

Η χειρουργική αφαίρεση του καταρράκτη στα παιδιά για τη βέλτιστη αποκατάσταση της όρασης, θα πρέπει να γίνεται με βάση τη συνεργασία και την αμοιβαία κατανόηση ανάμεσα στους γονείς και τον θεράποντα οφθαλμίατρο, με σκοπό να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα. Πρέπει να εξηγούνται οι ρεαλιστικές προσδοκίες για το οπτικό αποτέλεσμα, ιδιαίτερα σε ετερόπλευρο καταρράκτη με καθυστερημένη διάγνωση, λόγω της πιθανής αμβλυωπίας ή άλλης παθολογίας που μπορεί να «ανακαλυφθεί» μετά την αφαίρεση του καταρράκτη.<sup>46,47</sup>

Οι κλινικοί ιατροί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι ο παιδιατρικός οφθαλμός θα συνεχίσει να αυξάνεται σε μέγεθος μέχρι την εφηβική ηλικία, μέχρι τη σταδιακή επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης.<sup>48</sup>

Μελέτες έχουν συγκρίνει διαφορετικούς τύπους IOLs για παιδιατρικούς ασθενείς, αλλά έχουν δείξει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τη μελέτη. Ακόμη περισσότερο από τους οφθαλμούς των ενηλίκων,

οι παιδιατρικοί οφθαλμοί είναι επιρρεπείς σε μεγάλα σφάλματα πρόβλεψης IOL λόγω του πολύ μικρού μεγέθους και των αξονικών μηκών τους. Σίγουρα, υπάρχει μεγάλο περιθώριο για συνεχή βελτίωση του υπολογισμού της ισχύος του IOL στα παιδιά, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής τους.<sup>49,50</sup>

### Επιπλοκές

Αυτές περιλαμβάνουν αυξημένη πιθανότητα αποκόλλησης αμφιβληστροειδούς, λοιμώξεις, φλεγμονές, καταρράκτη ή αύξηση της ενδοφθάλμιας πίεσης. Μείωση των ενδοθηλιακών κυττάρων του κερατοειδούς μπορεί να συμβεί μετεγχειρητικά, για αυτό και θα πρέπει να παρακολουθείται και να μετράται ο αριθμός των ενδοθηλιακών κυττάρων, σημαντικός δείκτης της υγείας του κερατοειδούς. Άλλα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν είναι «φωτοστέφανα» και ακτίνες γύρω από τα φώτα το βράδυ κατά την νυχτερινή οδήγηση, που όμως μειώνονται με τον καιρό και συνήθως εξαφανίζονται.

### Θόλωση ενδοφακών

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες ενδοφακών, οι υδρόφιλοι (poly-hydroxyl-ethyl methacrylate, PHEMA) και οι υδρόφοβοι (κατά κύριο λόγο Polymethyl methacrylate, PMMA). Κάθε κατηγορία παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι υδρόφιλοι ενδοφακοί είναι αρκετά εύκαμπτοι, ευκολότεροι ως προς την εισαγωγή τους και έχουν καλύτερη βιοσυμβατότητα. Καθώς παρουσιάζουν υψηλό δείκτη απορρόφησης της υπερϊώδους ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται ευρέως στην αποκατάσταση του καταρράκτη μέσω μικρής τομής. Η θόλωση των IOLs, οφείλεται κυρίως στην ασβεστοποίηση των υδρόφιλων ενδοφακών, γεγονός το οποίο είναι δυνατόν να έχει πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στην όραση. Ενώ κλινικά η ασβεστοποίηση έχει ταυτοποιηθεί, οι αναφορές στο μηχανισμό θόλωσης λόγω ασβεστοποίησης και οι μελέτες που αφορούν την αναστρεψιμότητα του φαινομένου είναι ελάχιστα.<sup>51,52</sup>

Στις πρόσφατες μελέτες δόθηκε μεγαλύτερη προσοχή σε πιθανούς νέους παράγοντες κινδύνου, ωστόσο ένας από τους σημαντικότερους σκοπούς των μελετών παραμένει η επίδραση των θολώσεων στην οπτική απόδο-

ση, η οποία θα μπορούσε να διαταραχθεί σε διάφορες πτυχές.<sup>53</sup>

Οι ενδοφακικές αλλοιώσεις (glistenings) εμφανίζονται συχνότερα σε ένα υδρόφοβο υλικό. Αλλαγές στην περιεκτικότητα των φακών σε νερό μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον σχηματισμό τους. Οι υδρόφιλοι ενθαρρύνουν τον πολλαπλασιασμό και τη μετανάστευση των επιθηλιακών κυττάρων, οδηγώντας σε θολώσεις της οπίσθιας κάψας. Οι Labuz et al έδειξαν ότι διαφορετικά υδρόφοβα υλικά διαφέρουν στη δημιουργία αλλοιώσεων, με πιθανότερη αιτία την περιεκτικότητα τους σε νερό. Οι μελέτες έδειξαν σημαντική επίδραση της ενδοφθάλμιας έγχυσης εξωγενούς αέρα ή αερίου κατά τη διάρκεια της DSEK, της DSAEK, της DMEK και της PPV στον σχηματισμό αλλοιώσεων, θόλωσης και ασβεστοποίησης. Γεγονός ανησυχητικό, λαμβάνοντας υπόψη ότι η συχνότητα αυτών των χειρουργικών επεμβάσεων αυξάνεται. Η οπτική οξύτητα μειώνεται σημαντικά μετά την εμφάνιση της ασβεστοποίησης στους ενδοφακούς. Έχει υποστηριχθεί επίσης ότι η σοβαρότητα των αλλοιώσεων συνδέεται με την διαθλαστική ισχύ των IOL, με τις μελέτες να δίστανται επ'αυτού. Κάποιες από αυτές τις μελέτες επισημαίνουν την επίδραση του πάχους του υλικού, δηλαδή ότι η υψηλότερη διαθλαστική ισχύς του IOL μπορεί να σχετίζεται με μεγαλύτερη σοβαρότητα των αλλοιώσεων.<sup>54,55,56</sup>

Η επίπτωση των μετεγχειρητικών επιπλοκών, συμπεριλαμβανομένων των θολώσεων της οπίσθιας κάψας, παρατηρήθηκε ότι είναι χαμηλότερη με τους ακρυλικούς σε σχέση με άλλα υλικά και με τη χαμηλότερη επίπτωση στους υδρόφοβους φακούς. Οι Godlewska et al δεν διαπίστωσαν στατιστικά σημαντική διαφορά, παρατήρησαν όμως ότι ο σχηματισμός «γυαλάδων» ήταν συχνότερος σε ασθενείς με γλαύκωμα σε σύγκριση με άτομα χωρίς γλαύκωμα.<sup>57</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιλογή IOL για τη χειρουργική επέμβαση καταρράκτη είναι πιο ακριβής από ποτέ λόγω των εξελίξεων στη βιομετρία, αλλά και των νέων μεθόδων υπολογισμού της ισχύος του IOL. Οι νεότεροι τύποι ενδοφακών και οι αναβαθμίσεις τους προσπαθούν να δημιουργήσουν έναν ενιαίο αλγόριθμο που θα αποδίδει ακριβή

αποτελέσματα σε ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων του οφθαλμού. Ταυτόχρονα, οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι μεγάλης κλίμακας υπόσχονται περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας. Καθώς οι τύποι των IOLs συνεχίζουν να εξελίσσονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία και στις δύσκολες - ειδικές κλινικές περιπτώσεις, καθιστώντας έτσι τα καλά συνδυαστικά αποτελέσματα εφικτά για μεγαλύτερο αριθμό ασθενών.

## INTRAOCCULAR LENSES: RECENT DEVELOPMENTS

A. Nikolaidou, A. Diafas, K. Anagnostou, T. Chatzibalas

Laboratory of Experimental Ophthalmology, Aristotle University of Thessaloniki

### ABSTRACT

Modern intraocular lenses (IOL) have come a long way from the first lenses made of rigid methyl polymethacrylate. Cataract surgery is now accurate and predictable enough to allow surgeons to optimize refractive results by offering a range of IOL technologies to meet patients' needs. Because each lens has its advantages and disadvantages, this article will look at all the categories of intraocular lenses designed for cataract surgery, including the latest lens technologies for each.

*Key Words:* Intraocular lenses, Cataract surgery, Multifocal intraocular lenses, Unifocal intraocular lenses, Toric intraocular lenses, Intraocular focusing lenses, Intraocular lens blur.

### REFERENCES

1. Ridley H. Intra-ocular acrylic lenses after cataract extraction. *Lancet* 1952; 1(6699):118-121. doi: 10.1016/s0140-6736(52)92426-4. PMID: 14889779.
2. Ridley H. Further observations on intraocular acrylic lenses in cataract surgery. *J Int Coll Surg* 1952; 18(6):825-833. PMID: 13011431.
3. Ridley H. Intra-ocular acrylic lenses; a recent development in the surgery of cataract. *Br J Ophthalmol* 1952; 36(3):113-122. doi: 10.1136/bjo.36.3.113. PMID: 14904869; PMCID: PMC1323886.
4. Stark WJ, Worthen DM, Holladay JT, Bath PE, Jacobs ME, Murray GC, McGhee ET, Talbott MW, Shipp MD, Thomas NE, Barnes RW, Brown DW, Buxton JN, Reinecke RD, Lao CS, Fisher S. The FDA report on intraocular lenses. *Ophthalmol* 1983; 90(4):311-317. doi: 10.1016/s0161-6420(83)34555-3. PMID: 6877763.
5. Grzybowski A. Recent developments in cataract surgery. *Ann Transl Med* 2020; 8(22):1540. doi:10.21037/atm-2020-rcs-16
6. Li S, Jie Y. Cataract surgery and lens implantation. *Curr Opin Ophthalmol* 2019; 30(1):39-43. doi: 10.1097/ICU.0000000000000547. PMID: 30335627.
7. Liu J, Dong Y, Wang Y. Efficacy and safety of extended depth of focus intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol* 2019; 19(1):198. doi: 10.1186/s12886-019-1204-0. PMID: 31477053; PMCID: PMC6719364.
8. Manzouri B, Dari M, Claoué C. Supplementary IOLs: Monofocal and Multifocal, Their Applications and Limitations. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2017; 6(4):358-363. doi: 10.22608/APO.2017110. Epub 2017 Jun 26. PMID: 28650130.
9. Ong HS, Evans JR, Allan BD. Accommodative intraocular lens versus standard monofocal intraocular lens implantation in cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; 1(5):CD009667. doi: 10.1002/14651858.CD009667.pub2. PMID: 24788900.
10. Schuster AK, Tesarz J, Vossmerbaeumer U. The impact on vision of aspheric to spherical monofocal intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review with meta-analysis. *Ophthalmology* 2013; 120(11):2166-2175. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.04.011. Epub 2013 Jun 7. PMID:

23751220.

11. Yamauchi T, Tabuchi H, Takase K, Ohsugi H, Ohara Z, Kiuchi Y. Comparison of visual performance of multifocal intraocular lenses with same material monofocal intraocular lenses. *PLoS One* 2013; 8(6):e68236. doi:10.1371/journal.pone.0068236

12. Kaur M, Shaikh F, Falera R, Titiyal JS. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol* 2017; 65(12):1301-1313. doi: 10.4103/ijo.IJO\_810\_17. PMID: 29208810; PMCID: PMC5742958.

13. Allard K, Zetterberg M. Toric IOL implantation in a patient with keratoconus and previous penetrating keratoplasty: a case report and review of literature. *BMC Ophthalmol* 2018; 18(1):215. doi: 10.1186/s12886-018-0895-y. PMID: 30157798; PMCID: PMC6114742

14. Kessel L, Andresen J, Tendal B, Erngaard D, Flesner P, Hjortdal J. Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmol* 2016; 123(2):275-286. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.10.002. Epub 2015 Nov 18. PMID: 26601819.

15. Zhai Y, Zhang G, Zheng L, Yang G, Zhao K, Gong Y, Zhang Z, Zhang X, Sun B, Wang Z. Computer-Aided Intraoperative Toric Intraocular Lens Positioning and Alignment During Cataract Surgery. *IEEE J Biomed Health Inform* 2021; 25(10):3921-3932. doi: 10.1109/JBHI.2021.3072246. Epub 2021 Oct 5. PMID: 33835929.

16. Chi Q, Yang T, Chen Y. A systematic review and meta-analysis on intraocular lens implantation with different performances for the treatment of cataract. *Ann Palliat Med* doi: 10.21037/apm-21-3767. PMID: 35144417.

17. Zhang Z, Jiang H, Zhou H, Zhou F. Comparative Efficacy Between Trifocal and Bifocal Intraocular Lens Among Patients Undergoing Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med (Lausanne)* 2021; 8:647268. doi: 10.3389/fmed.2021.647268. PMID: 34660614; PMCID: PMC8514957.

18. Cao K, Friedman DS, Jin S, Yusufu M, Zhang J, Wang J, Hou S, Zhu G, Wang B, Xiong Y, Li J, Li X, He H, Chai L, Wan XH. Multifocal versus monofocal intraocular lenses for age-related cataract patients: a system review and meta-analysis based on randomized controlled trials. *Surv Ophthalmol* 2019; 64(5):647-658. doi: 10.1016/j.survophthal.2019.02.012. Epub 2019 Mar 6. PMID: 30849425.

19. Alio JL, Plaza-Puche AB, Fernández-Buenaga R, Pikkell J, Maldonado M. Multifocal intraocular lenses: An overview. *Surv Ophthalmol* 2017; 62(5):611-634. doi: 10.1016/j.survophthal.2017.03.005. Epub 2017 Mar 31. PMID: 28366683.

20. Liu J, Dong Y, Wang Y. Efficacy and safety of extended depth of focus intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*. 2019; 19(1):198. doi: 10.1186/s12886-019-1204-0. PMID: 31477053; PMCID: PMC6719364.

21. Guo Y, Wang Y, Hao R, Jiang X, Liu Z, Li X. Comparison of Patient Outcomes following Implantation of Trifocal and Extended Depth of Focus Intraocular Lenses: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Ophthalmol* 2021; 2021:1115076. doi: 10.1155/2021/1115076. PMID: 35003788; PMCID: PMC8731298.

22. Coassin M, Di Zazzo A, Antonini M, Gaudenzi D, Gallo Afflitto G, Kohnen T. Extended depth-of-focus intraocular lenses: power calculation and outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46(11):1554-1560. doi: 10.1097/j.jcrs.000000000000293. PMID: 32590481.

23. Kanclerz P, Toto F, Grzybowski A, Alio JL. Extended Depth-of-Field Intraocular Lenses: An Update. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020; 9(3):194-202. doi: 10.1097/APO.0000000000000296. PMID: 32511121; PMCID: PMC7299221.

24. Breyer DRH, Kaymak H, Ax T, Kretz FTA, Auffarth GU, Hagen PR. Multifocal Intraocular Lenses and Extended Depth of Focus Intraocular Lenses. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2017; 6(4):339-349. doi: 10.22608/APO.2017186. PMID: 28780781.

25. Savini G, Balducci N, Carbonara C, Rossi S, Altieri M, Frugis N, Zappulla E, Bellucci R, Alessio G. Functional assessment of a new extended depth-of-focus intraocular lens. *Eye (Lond)* 2019; 33(3):404-410. doi: 10.1038/s41433-018-0221-1. Epub 2018 Sep 28. PMID: 30266985; PMCID: PMC6460699.

26. Schwartz DM. Light-adjustable lens. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2003; 101:417-436. PMID: 14971588; PMCID: PMC1358999.

27. Moshirfar M, Duong AA, Shmunis KM, Castillo-Ronquillo YS, Hoopes PC. Light Adjustable Intraocular Lens for Cataract Surgery After Radial Keratotomy. *J Refract Surg*. 2020 Dec 1;36(12):852-854. doi: 10.3928/1081597X-

20201002-01. PMID: 33295999.

28. Olson R, Mamalis N, Haugen B. A light adjustable lens with injectable optics. *Curr Opin Ophthalmol* 2006; 17(1):72-79. doi: 10.1097/01.icu.0000193073.17122.ba. PMID: 16436928.

29. Kohnen T. Light-adjustable intraocular lens technology. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(12):2091. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.10.005. PMID: 22108102.

30. Chayet A, Sandstedt C, Chang S, Rhee P, Tsuchiyama B, Grubbs R, Schwartz D. Correction of myopia after cataract surgery with a light-adjustable lens. *Ophthalmol* 2009; 116(8):1432-1435. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.02.012. Epub 2009 Jun 4. PMID: 19500852.

31. Dick HB. Accommodative intraocular lenses: current status. *Curr Opin Ophthalmol* 2005; 16(1):8-26. doi: 10.1097/00055735-200502000-00004. PMID: 15650575.

32. Ong HS, Evans JR, Allan BD. Accommodative intraocular lens versus standard monofocal intraocular lens implantation in cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; (5):CD009667. doi: 10.1002/14651858.CD009667.pub2. PMID: 24788900.

33. Zhou H, Zhu C, Xu W, Zhou F. The efficacy of accommodative versus monofocal intraocular lenses for cataract patients: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97(40):e12693. doi: 10.1097/MD.00000000000012693. PMID: 30290663; PMCID: PMC6200466.

34. Hengerer FH, Artal P, Kohnen T, Conrad-Hengerer I. Initial clinical results of a new telescopic IOL implanted in patients with dry age-related macular degeneration. *J Refract Surg* 2015; 31(3):158-162. doi: 10.3928/1081597X-20150220-03. PMID: 25751831.

35. Zhou H, Zhu C, Xu W, Zhou F. The efficacy of accommodative versus monofocal intraocular lenses for cataract patients: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97(40):e12693. doi: 10.1097/MD.00000000000012693. PMID: 30290663; PMCID: PMC6200466.

36. Chen LJ, Chang YJ, Kuo JC, Rajagopal R, Azar DT. Metaanalysis of cataract development after phakic intraocular lens surgery. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(7):1181-1200. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.03.029. PMID: 18571089.

37. Praeger DL, Momose A, Muroff LL. Thirty-six month follow-up of a contemporary phakic intraocular lens for

the surgical correction of myopia. *Ann Ophthalmol* 1991; 23(1):6-10. PMID: 2012374.

38. Pineda R 2nd, Chauhan T. Phakic Intraocular Lenses and their Special Indications. *J Ophthalmic Vis Res* 2016; 11(4):422-428. doi:10.4103/2008-322X.194140

39. Karimian F, Baradaran-Rafii A, Hashemian SJ, et al. Comparison of three phakic intraocular lenses for correction of myopia. *J Ophthalmic Vis Res* 2014; 9(4):427-433. doi:10.4103/2008-322X.150805

40. Chang DH, Davis EA. Phakic intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2006; 17(1):99-104. doi: 10.1097/01.cco.0000188624.54743.c7. PMID: 16436931.

41. Xia T, Martinez CE, Tsai LM. Update on Intraocular Lens Formulas and Calculations. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020; 9(3):186-193. doi:10.1097/APO.0000000000000293

42. Reitblat O, Assia EI, Kleinmann G, Levy A, Barrett GD, Abulafia A. Accuracy of predicted refraction with multifocal intraocular lenses using two biometry measurement devices and multiple intraocular lens power calculation formulas. *Clin Exp Ophthalmol* 2015; 43(4):328-334. doi: 10.1111/ceo.12478. Epub 2015 Jan 14. PMID: 25491591.

43. Jeong J, Song H, Lee JK, Chuck RS, Kwon JW. The effect of ocular biometric factors on the accuracy of various IOL power calculation formulas. *BMC Ophthalmol* 2017; 17(1):62. doi: 10.1186/s12886-017-0454-y. PMID: 28464806; PMCID: PMC5414130.

44. Roberts, Timothy & Hodge, Chris & Sutton, Gerard & Lawless, Michael. (2017). Comparison of Hill-RBF, Barrett Universal and current third generation formulas for the calculation of intraocular lens power during cataract surgery: Comparison of IOL formulae during cataract surgery. *Clinical & Experimental Ophthalmol* 46. 10.1111/ceo.13034.

45. Medsinge A, Nischal KK. Pediatric cataract: challenges and future directions. *Clin Ophthalmol* 2015; 9:77-90. doi: 10.2147/OPHTH.S59009. PMID: 25609909; PMCID: PMC4293928.

46. Nihalani BR, VanderVeen DK. Technological advances in pediatric cataract surgery. *Semin Ophthalmol*. 2010; 25(5-6):271-274. doi: 10.3109/08820538.2010.518836. PMID: 21091011.

47. Eibschitz-Tsimhoni M, Archer SM, Del Monte MA. Intraocular lens power calculation in children. *Surv Ophthalmol* 2007; 52(5):474-482. doi: 10.1016/j.

survophthal.2007.06.010. PMID: 17719370.

48. Shuaib AM, Elhusseiny AM, Hassanein DH, Zedan RH, Elhilali HM. Predictive Value of Intraocular Lens Power Calculation Formulae in Children. *Clin Ophthalmol* 2021; 15:2527-2536. doi: 10.2147/OPHTH.S316697. PMID: 34168426; PMCID: PMC8216728.

49. Kou J, Chang P, Lin L, Li Z, Fu Y, Zhao YE. Comparison of the Accuracy of IOL Power Calculation Formulas for Pediatric Eyes in Children of Different Ages. *J Ophthalmol* 2020; 2020:8709375. doi: 10.1155/2020/8709375. PMID: 32802491; PMCID: PMC7403939.

50. Ahmadieh H, Javadi MA. Intra-ocular lens implantation in children. *Curr Opin Ophthalmol* 2001; 12(1):30-34. doi: 10.1097/00055735-200102000-00006. PMID: 11150078.

51. Grzybowski A, Markeviciute A, Zemaitiene R. A narrative review of intraocular lens opacifications: update 2020. *Ann Transl Med* 2020; 8(22):1547. doi:10.21037/atm-20-4207

52. Kanclerz P, Yildirim TM, Khoramnia R. A review of late intraocular lens opacifications. *Curr Opin Ophthalmol* 2021; 32(1):31-44. doi: 10.1097/ICU.0000000000000719. PMID: 33165018.

53. Cooksley G, Lacey J, Dymond MK, Sandeman S. Factors Affecting Posterior Capsule Opacification in the Development of Intraocular Lens Materials. *Pharmaceutics* 2021; 13(6):860. doi: 10.3390/pharmaceutics13060860. PMID: 34200928; PMCID: PMC8230425.

54. Łabuz G, Knebel D, Auffarth GU, et al. Glistening Formation and Light Scattering in Six Hydrophobic-Acrylic Intraocular Lenses. *Am J Ophthalmol* 2018; 196:112-120. [Crossref] [PubMed]

55. Łabuz G, Reus NJ, van den Berg TJ. Light scattering levels from intraocular lenses extracted from donor eyes. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43:1207-1212. [Crossref] [PubMed]

56. Łabuz G, Reus NJ, van den Berg TJ. Straylight from glistenings in intraocular lenses: In vitro study. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43:102-108. [Crossref] [PubMed]

57. Godlewska A, Owczarek G, Jurowski P. Glistening phenomenon in acrylichydrophobic intraocular lenses – how do perioperative factors and con-comitant diseases effect it's incidence and severity. *Klin Oczna* 2016; 118:191-196.