

Μηχανισμοί πρεσβυωπίας. Είναι πιθανή η αναστροφή της με τις υπάρχουσες χειρουργικές τεχνικές;

Σ. Πλαΐνης, Ι. Παλλήκαρης

1. Εισαγωγή

Δημογραφικές μελέτες στην χώρα μας αλλά και παγκοσμίως οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε λίγα χρόνια τα ηλικιωμένα άτομα θα αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Η επιβράδυνση της γήρανσης έχει επιτευχθεί λόγω σημαντικών βελτιώσεων στον τομέα της υγιεινής, της διατροφής και της ιατρικής περίθαλψης. Παρά τις παραπάνω εξελίξεις, η εμφάνιση της πρεσβυωπίας, λόγω της βαθμιαίας απώλειας της προσαρμοστικής ικανότητας του φακού με την πάροδο του χρόνου, συνεχίζει να γίνεται αισθητή κατά την ηλικία των 45-40 ετών. Ως αποτέλεσμα, η μείωση του εύρους προσαρμογής ενός φυσιολογικού οφθαλμού με την ηλικία δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου από αυτή που κατέγραψε πριν από 140 περίπου χρόνια ο Donders¹, ο οποίος κατέληξε ότι το εύρος προσαρμογής μειώνεται σχεδόν γραμμικά από ένα μέγιστο (~ 15 D) στην ηλικία των 10 ετών σε μηδενική τιμή στα 50 έτη (Σχ. 1). Η σταδιακή «εμφάνιση» της πρεσβυωπίας περνά σχεδόν απαρατήρητη έως ότου μειωθεί σημαντικά το εύρος προσαρμογής (στην ηλικία των 40 ετών περίπου για εμμετρωπικά άτομα), με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται με δυσκολία ασχολίες που απαιτούν ευκρινή κοντινή όραση, π.χ. η ανάγνωση.

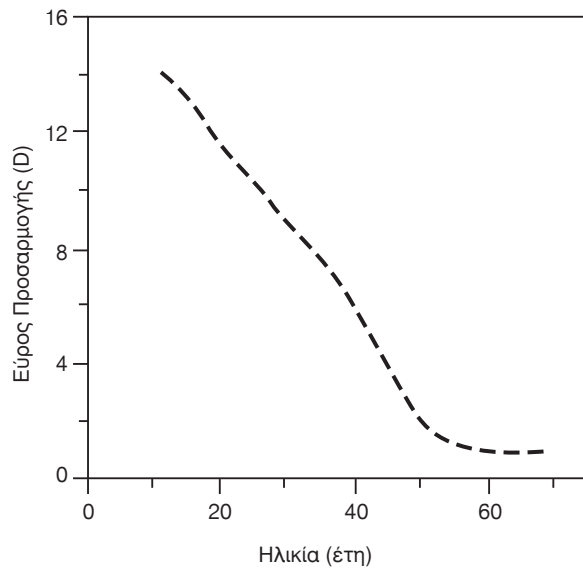
Σε αυτή την ανασκόπηση πραγματοποιείται μία παράθεση των μηχανισμών που είναι πιθανόν να εμπλέκονται στην εμφάνιση της πρεσβυωπίας και των τρεχουσών και προτεινόμενων χειρουργικών προσεγγίσεων, που έχουν ως σκοπό την ανα-

στροφή της. Απαραίτητη προηγουμένως είναι μία σύντομη αναφορά στη δομή του κρυσταλλοειδή φακού και του μηχανισμού της προσαρμογής.

2. Κρυσταλλοειδής φακός – μηχανισμός προσαρμογής

Η ελαστική και ινώδης δομή του φακού περικλείεται μέσα στο ελαστικό περιφάκιο, το οποίο αποτελεί το «καλούπι» του φακού (Σχ. 2). Η θέση του φακού μέσα στον οφθαλμό εξασφαλίζεται από την υποστήριξη που παρέχουν στον ισημερινό οι ίνες της ζιννείου ζώνης μέσω των συνδέσεων τους στο περιφάκιο καθώς επίσης και από την ίριδα (στο πρόσθιο μέρος) και το υαλώδες σώμα (στο οπίσθιο μέρος). Στην πραγματικότητα το περιφάκιο και οι ίνες της ζιννείου ζώνης αποτελούν τον σύνδεσμο μεταξύ του φακού και του ακτινωτού μυός και γι' αυτό παίζουν σημαντικό ρόλο στην «μετάδοση» της έντασης που προκαλείται από την σύσπαση του ακτινωτού μυός για την αλλαγή του σχήματος και της διαθλαστικής ισχύος του φακού.

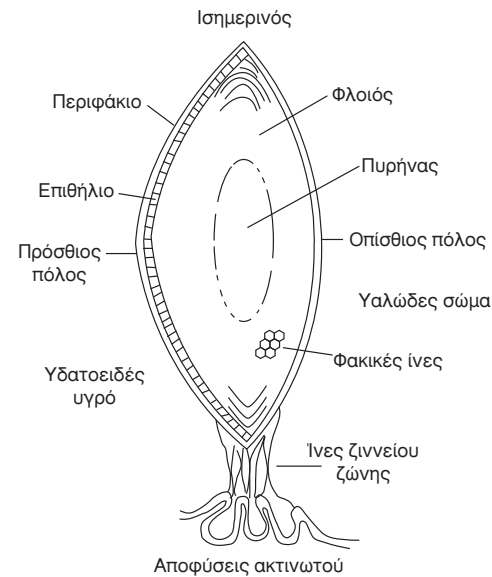
Σύμφωνα με τη θεωρία του Helmholtz², κατά την παρατήρηση μακρινών αντικειμένων, το ακτινωτό σώμα είναι χαλαρό και η μεγάλη διάμετρος της ακτινωτής απόφυσης διατηρεί τις ίνες της ζιννείου ζώνης τεταμένες (Σχ. 2). Αν και δεν έχει διευκρινισθεί με ποιο τρόπο η συστολή του ακτινωτού μυός επηρεάζει την πίεση που ασκούν οι ίνες στο φακό, είναι γνωστό ότι αυτές οι ίνες προσφύονται στον ισημερινό, στο πρόσθιο και στο ο-



Σχ. 1. Αλλαγές στο εύρος της προσαρμογής με την ηλικία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός ειδικά κατασκευασμένου χάρακα (γνωστού ως RAF rule). Το εύρος προσαρμογής αρχίζει να μειώνεται σταθερά από τις αρχές της εφηβικής ηλικίας με ένα ρυθμό περίπου 0,4 D/χρόνο. Η προσαρμογή 1 D που εμφανίζεται σε άτομα ηλικίας >50 ετών είναι “πλασματική” και οφείλεται στο αυξημένο βάθος εστίασης λόγω της πιθανής ύπαρξης αστιγματισμού (που οδηγεί σε πολυεστιακότητα) και της μικρής διαμέτρου κόρης των ηλικιωμένων ατόμων.

πίσθιο μέρος του περιφακίου. Το αποτέλεσμα των δυνάμεων τάνσης που ασκούν οι ίνες στο ελαστικό περιφάκιο είναι η αύξηση στην ακτίνα καμπυλότητας των επιφανειών, τη διάμετρο και το πάχος του φακού (σε σύγκριση με τη μορφή που αποκτά ο φακός κατά την αφαίρεσή του από τον οφθαλμό) (Σχ. 2).

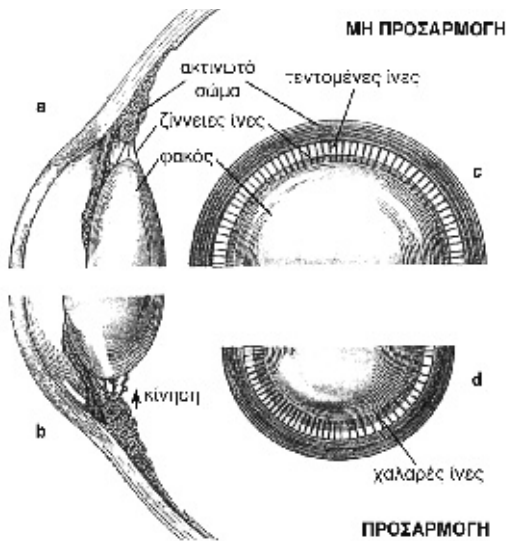
Κατά την προσαρμογή ο ακτινωτός μυς συσπάται, μειώνοντας τη διάμετρο της ακτινωτής απόφυσης, με αποτέλεσμα να υποχωρεί η πίεση στις ίνες της ζιννείου ζώνης, οι οποίες χαλαρώνουν (Σχ. 3). Έτσι, το ελαστικό περιφάκιο και ο φακός ανακτούν την πιο κυρτή φυσιολογική τους μορφή, δηλαδή μειώνεται η ακτίνα καμπυλότητας της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας, αυξάνεται το πάχος του φακού, ενώ η πρόσθια επιφάνεια μετατοπίζεται προς τα εμπρός, πλησιάζοντας τον κερατοειδή. Ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται η αύξηση της διοπτρικής ισχύος του φακού, απαραίτητης για την εστίαση κοντινών αντικειμένων. Όταν ο ακτινωτός μυς χαλαρώνει, αφότου παύει η προσαρμοστική προσπάθεια, η ένταση των ινών της ζιννείου ζώνης στον ισημερινό του φακού αυξάνεται και πάλι.



Σχ. 2. Βασικές δομές του κρυσταλλοειδή φακού. Να σημειωθεί ότι ο φακός είναι *in vitro*, έχει δηλαδή αφαιρεθεί από τον οφθαλμό, με αποτέλεσμα, λόγω της ελαστικότητάς του (και απουσίας των δυνάμεων που ασκούνται από τις ίνες της ζιννείου ζώνης), οι επιφάνειές του (και ιδιαίτερα η πρόσθια) να ανακτούν την πιο κυρτή φυσιολογική μορφή τους.

3. Θεωρίες πρεσβυπίας

Οι θεωρίες σχετικά με τους παράγοντες που συμμετέχουν στους μηχανισμούς της προσαρμογής και της πρεσβυπίας ξεκινούν τον 17^ο αιώνα και έχουν αναπτυχθεί με λεπτομέρεια σε άλλες ανασκοπήσεις²⁻⁵. Αν και η θεωρία του Helmholtz σχετικά με τον μηχανισμό της προσαρμογής απέκτησε καθολική υποστήριξη, δεν συνέβηκε το ίδιο με την θεωρία του για τους αιτιολογικούς παράγοντες που οδηγούν στην απώλεια της προσαρμογής, την οποία απέδωσε αποκλειστικά στη σκλήρυνση του φακού. Άλλες θεωρίες¹ εστίασαν τα αίτια της πρεσβυπίας στην ανικανότητα του ακτινωτού σώματος να συσπασθεί. Στην πραγματικότητα, είναι σήμερα αποδεκτό ότι τα αίτια της πρεσβυπίας είναι πολυπαραγοντικά, δηλαδή μια σειρά από ηλικιακές αλλαγές λαμβάνουν χώρα σχεδόν σε όλες τις δομές που συμμετέχουν στο μηχανισμό της προσαρμογής. Ως αποτέλεσμα, οι θεωρίες που έχουν επικρατήσει σήμερα, ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: τις “φακικές”, που βασίζονται στην υπόθεση ότι η πρεσβυπία προκαλείται από τις ηλικιακές αλλαγές στη γεωμετρία ή/και τις μηχανικές ιδιότητες του φακού και του περιφακίου και τις “εξω-φακικές”, στις οποίες η πρεσβυπία αποδί-



Σχ. 3. Ο μηχανισμός της προσαρμογής κατά τον Helimoltz. Όταν κοιτάμε ένα μακρινό αντικείμενο, ο ακτινωτός μυς έχει τη μέγιστη διάμετρο και κρατάει τις ίνες της ζιννειού ζώνης τεταμένες (c). Αυτές με τη σειρά τους ασκούν δυνάμεις τάνσης που «επιπεδώνουν» τις επιφάνειες του φακού (a). Κατά την προσαρμογή, ο ακτινωτός μυς συσπάται (η διάμετρος του ακτινωτού σώματος μειώνεται) (d). Κατά τη σύσπαση, οι ίνες χαλαρώνουν με αποτέλεσμα ο φακός να αναγκάσει πιο «καμπυλωτή» μορφή (αυξάνεται το πάχος και μειώνεται η διάμετρος του), που οδηγεί στην αύξηση της διοπτρικής του δύναμης (b). Παράλληλα, η πρόσθια επιφάνεια μετακινείται προς τον κερατοειδή, ενώ η οπίσθια επιφάνεια παραμένει σχεδόν στην ίδια θέση (από Koretz and Handelman, 1988).

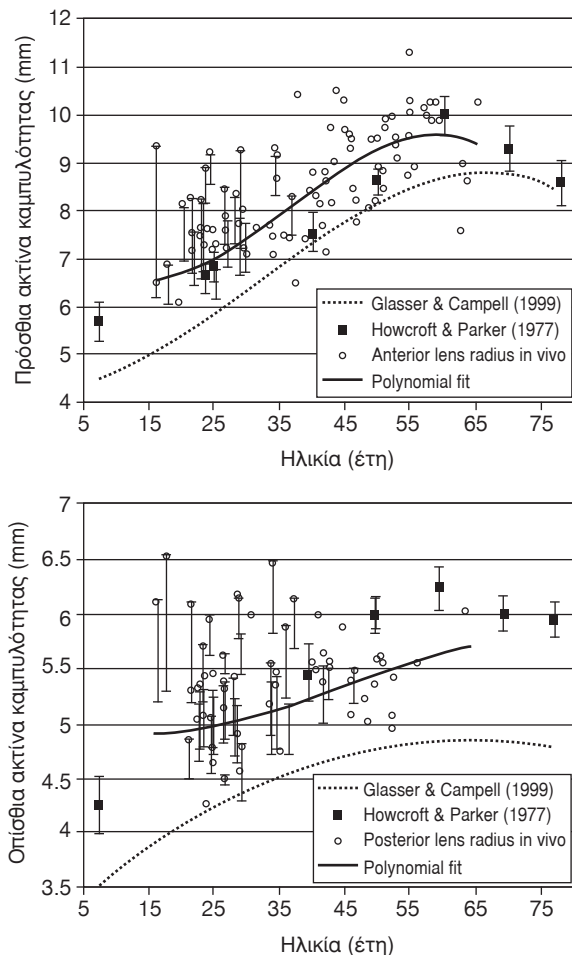
δεται σε μηχανικές ή/και γεωμετρικές αλλαγές στις ίνες της ζιννειού ζώνης, το ακτινωτό σώμα και άλλες δομές που περιβάλλουν το φακό.

3.1 Φακικές θεωρίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, λόγω της ελαστικότητας του περιφακίου, όταν οι ίνες της ζιννειού ζώνης χαλαρώνουν ο φακός αλλάζει σχήμα και «προσαρμόζει». Όπως πρώτος ο Fincham⁴ παρατήρησε, το σχήμα των ηλικιωμένων φακών αλλάζει ελάχιστα (σε σχέση με τους νεότερους) όταν αφαιρείται από το περιφάκιο (*in vitro*). Αυτό κυρίως προέρχεται από το γεγονός ότι ο φακός «σκληραίνει» με την ηλικία με συνέπεια οι ελαστικές δυνάμεις που ασκούνται από το περιφάκιο να μην είναι ικανές να προκαλέσουν τις επιφάνειες του φακού κατά την προσαρμογή. Ο όρος «σκληρυνση» αναφέρεται σε μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, και ίσως δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται μια και έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικό-

τητα του φακού σε νερό δεν αλλάζει με την ηλικία.

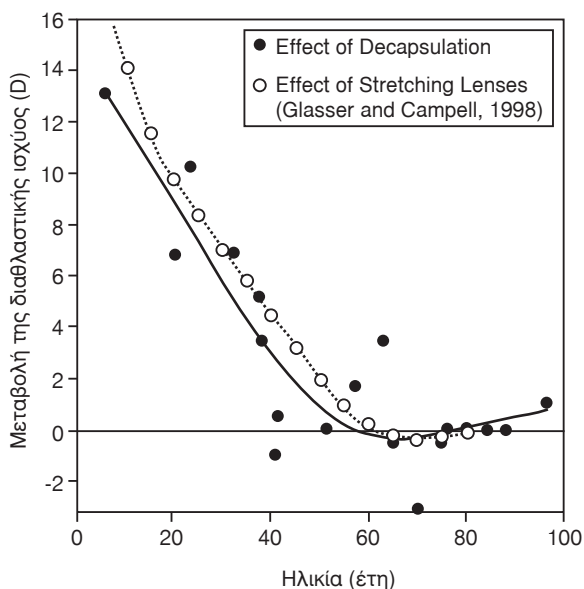
Αυτό που έχει προταθεί είναι μια αυξανόμενη συγκόλληση μεταξύ των φακικών ινών στον πυρήνα, γεγονός που καθιστά τον φακό λιγότερο ελαστικό. Είναι γεγονός ότι από τα πρώτα χρόνια της ζωής νέες ίνες προστίθενται συνεχώς στο φακό (με έναν τρόπο παρόμοιο με τα φύλλα το κρεμμυδιού) με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πάχος και ο όγκος του φακού με την ηλικία, ενώ παράλληλα ο φακός αποκτά πιο καμπυλωτή μορφή (Σχ. 4). Η αύξηση του πάχους του φακού είναι πιθανόν να συμβάλλει στη δυσκαμψία του φακού με αποτέλεσμα οι δυνάμεις τάνσης που ασκούνται από τις ίνες της ζιννειού ζώνης να μην επαρκούν για την μεταβολή της



Σχ. 4. Ηλικιακές αλλαγές στην ακτίνα καμπυλότητας της πρόσθιας (άνω) και οπίσθιας (κάτω) επιφάνειας του φακού (σε κατάσταση πλήρους προσαρμογής). Οι κύκλοι αποτελούν *in vivo* μετρήσεις με Scheimpflug απεικόνιση (Dubbelman et al. 2005), ενώ τα τετράγωνα (Howcroft and Parker, 1977) και η διακεκομμένη γραμμή (Grasser and Campbell, 1999) *in vitro* μετρήσεις (από Dubbelman et al. 2005).

καμπυλότητας των επιφανειών του φακού.

Το 1973 ο Fisher⁶ σε μια σειρά *in vitro* πειραμάτων που πραγματοποίησε, παρατήρησε ότι οι φακοί μεγάλης ηλικίας όταν απομονώνονται από το περιφάκιο τους, κι επομένως ανακτούν την πιο καμπυλωτή «φυσιολογική» μορφή τους, δεν αλλάζουν σημαντικά σε σχήμα, λόγω της σημαντικής δυσκαμψίας, ενώ το περιφάκιο διατηρεί την ελαστικότητά του. Αργότερα οι Glasser and Campbell⁷ επανέλαβαν με νέες τεχνικές αυτές τις μετρήσεις και περιέγραψαν σημαντική μείωση με την ηλικία στην ικανότητα του φακού να υφίσταται μηχανικές αλλαγές στο σχήμα του, είτε με την αφαίρεση του περιφακίου είτε μέσω μηχανικής τάνυσης που προσομοιάζει στην προσαρμογή. Μάλιστα, μετά την ηλικία των 60 ετών, καμιά αλλαγή στην ισχύ του φακού δεν παρατηρείται. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν τόσο με την προτεινόμενη μείωση στην ελαστικότητα του φακού, όσο με και με την μείωση του εύρους προσαρμογής, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της μείωσης της προσαρμο-



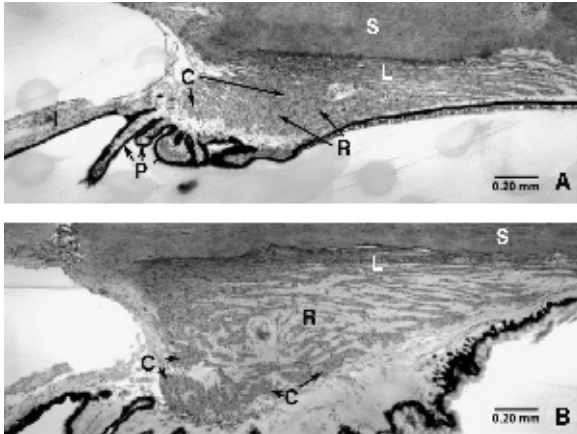
Σχ. 5. Μεταβολή στη διοπτρική δύναμη μιας σειράς φακών διαφορετικής ηλικίας, ως αποτέλεσμα της αφαίρεσης του περιφακίου (μαύροι κύκλοι-συνεχόμενη γραμμή) και όπως προκύπτει όταν ο φακός τεντώνεται μηχανικά (διακεκομμένη γραμμή). Είναι χαρακτηριστική η ομοιότητα των δύο καμπυλών. Επίσης, είναι εμφανές ότι οι αλλαγές στην διοπτρική δύναμη του φακού «συμφωνούν» με τη μείωση που παρατηρείται στο εύρος της προσαρμογής (βλ. Σχ. 1) (από Glasser and Kaufmann, 1999).

στικής ικανότητας οφείλεται σε μεταβολές στην ελαστικότητα του φακού και του περιφακίου.

3.2. Εξω-φακικές θεωρίες

Μια άλλη θεωρία της πρεσβυωπίας που έχει αναφερθεί βασίζεται στην ηλικιακή αλλαγή στην γεωμετρία της σύνδεσης των ινών της ζιννείου ζώνης, που συγκρατούν τον φακό στη θέση του (γωνιστή ως γεωμετρική θεωρία⁸). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, λόγω της αύξησης του όγκου (κυρίως του πάχους) του φακού και της πρόσθιας και προς τα έσω μετατόπισης του ακτινωτού μυός με την ηλικία⁹, μειώνεται το διάστημα μεταξύ του φακού και του ακτινωτού μυός. Ως αποτέλεσμα, αλλάζει η γωνία πρόσφυσης των ινών στον ισημερινό του φακού (εφόσον μετατοπίζονται προς το πρόσθιο μέρος του φακού) με συνέπεια να μειώνεται η ικανότητα των ινών να ασκούν δυνάμεις τάνυσης στον φακό. Η μείωση των δυνάμεων τάνυσης οδηγούν στην αυξανόμενη καμπυλότητα του φακού και στον περιορισμό της προσαρμογής¹⁰. Η ίδια θεωρία προτείνει ως κύριο αιτιολογικό παράγοντα της πρεσβυωπίας την αύξηση του μεγέθους του φακού, χαρακτηρίζοντας τις φακικές αλλαγές ως το αποτέλεσμα, παρά την αιτία της πρεσβυωπίας.

Έχουν επίσης αναπτυχθεί θεωρίες που βασίζονται σε ανατομικές και μορφολογικές αλλαγές στον ακτινωτό μυ, στον συνδετικό ιστό και στον χοριοειδή. Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε πιθήκους παρουσίασαν ισχυρές ανατομικές ενδείξεις γεροντικής εκφύλισης του ακτινωτού μυός, οι οποίες αναφέρουν ελάττωση του αριθμού των μυϊκών ινών και αύξηση στο ποσό του συνδετικού ιστού^{11,12}. Είναι πιθανόν η αύξηση του συνδετικού ιστού στον ακτινωτό μυ με την ηλικία να αποτελεί ένα λόγο για τον οποίο ο ακτινωτός μυς αποκτά κάποια «δυσκαμψία» με την ηλικία¹³ (Σχ. 6). Επίσης, έχει προταθεί μερική μείωση στην συστολή του ακτινωτού μυός κατά τη γήρανση⁹. Απεικονίσεις με μαγνητική τομογραφία των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του ακτινωτού μυός έδειξαν ότι, σε ηλικιωμένους οφθαλμούς (>45 ετών), σύσπασή του οδηγεί σε μικρότερη μεταβολή στη διάμετρο της ακτινωτής απόφυσης. Αν και υπάρχουν στοιχεία που αποδεικνύουν ότι ο ακτινωτός μυς παραμένει ενεργός (δηλαδή αποκρίνεται σε ερεθίσματα προσαρμογής) ακόμη και σε μεγάλες ηλικίες, οι συσπάσεις του είναι μειωμένες. Συνοψίζοντας, οι αλλαγές στη φυσιολογία του ακτινωτού μυός παίζουν πολύ μικρό ρόλο στην πρεσβυωπία, μια και συμβαίνουν σε μεγάλες ηλικίες.

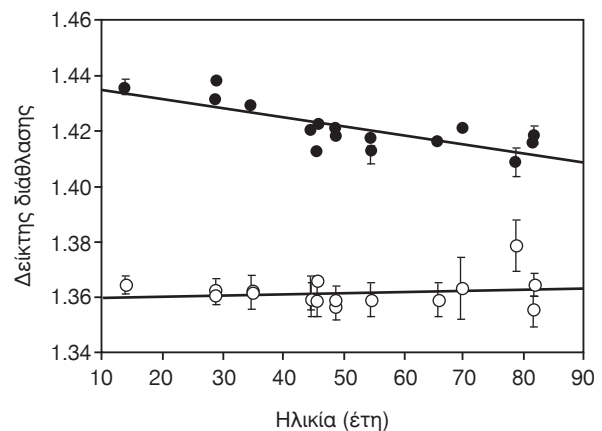


Σχ. 6. Σύγκριση ενός ακτινωτού μνός από δότη ηλικίας 1 ημέρας (A) και από έναν 85-χρονο δότη (B). Στους νεαρούς οφθαλμούς οι ακτινωτές αποφύσεις (P) βρίσκονται στο πρόσθιο μέρος του ακτινωτού σώματος. Οι μνικές ίνες (ακτινωτές, R και κυκλικές, C) είναι πυκνά συγκεντρωμένες με λίγο συνδετικό ιστό μεταξύ τους. Το ποσό του συνδετικού ιστού στον ακτινωτό μν αυξάνεται με την ηλικία (B), ενώ οι φακικές ίνες είναι περισσότερο διακριτές (S, σκληρός χιτώνας, I, ίριδα) (από Pardue and Sivak, 2000).

Μια άλλη εξω-φακική θεωρία προτάθηκε από τον Βίτο και τους συνεργάτες του¹⁴ και βασίζεται στην πιθανή απώλεια της ελαστικότητας του χοριοειδή με τη γήρανση, η οποία αποτρέπει την επιστροφή του ακτινωτού μνός στην κατάσταση χαλάρωσης. Ως αποτέλεσμα, ο φακός αποκτά με τον καιρό πιο «προσαρμοστική μορφή» και κατά τα τελευταία στάδια της προεσβωπίας βρίσκεται μόνιμα σε κατάσταση «πλήρους προσαρμογής». Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η προεσβωπία οφείλεται στην απώλεια της ικανότητας αποπροσαρμογής και όχι της προσαρμογής. Στήριξη αυτής της θεωρίας παρέχεται από την παρατήρηση ότι με την ηλικία αυξάνεται η καμπυλότητα και των δύο επιφανειών του φακού^{15,16}, με αποτέλεσμα ο φακός να αποκτά θεωρητικά μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ, κάτι που θα κατασττούσε τον οφθαλμό μυωπικό. Αυτό βέβαια δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα και γι' αυτό αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «παράδοξο του φακού» («lens paradox»^{15,17}). Η λύση αυτού του παράδοξου οφείλεται στο γεγονός ότι η κατανομή στον δείκτη διάθλασης του φακού, ο οποίος είναι βαθμωτός (παρουσιάζει δηλαδή μια βαθμιαία κατανομή από τον πυρήνα στον φακό, ελαττώνεται από 1,435 στον πυρήνα σε 1,36 στο φλοιό), μεταβάλλεται με την ηλικία. Πιο συγκεκριμένα μειώνεται ο δείκτης διάθλασης στον πυρήνα ενώ παραμέ-

νει σταθερός στον φλοιό, με αποτέλεσμα την αντιστάθμιση της αύξησης της διαθλαστικής ισχύος που προέρχεται από τις αλλαγές στις καμπυλότητες του φακού και την διατήρηση σταθερής διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού.

Βέβαια, ανάμεσα στις πολυάριθμες προτάσεις που κατατέθηκαν τα τελευταία χρόνια και κυρίως αφορούσαν κάποιες δευτερεύουσες τροποποιήσεις, υπήρξε και μια ενδιαφέρουσα αλλά ανατρεπτική εισήγηση από τον Schachar¹⁸, ο οποίος πρότεινε ότι η αύξηση της διαμέτρου του φακού με τη γήρανση αποτελεί τον κύριο αιτιολογικό παράγοντα της προεσβωπίας. Αυτή η πρόταση βασίζεται στην υπόθεση ότι η προσαρμογή επιτυγχάνεται με την αύξηση των δυνάμεων τάνσης των ινών της ζιννεϊού ζώνης, που συντελεί στην έλξη του φακού προς τον σκληρό¹⁹. Αν αυτό ισχύει, τότε η αύξηση του όγκου του φακού συντελεί στη χαλάρωση των ινών και στην αδυναμία του φακού να προσαρμοστεί σε μεγάλες ηλικίες. Αυτή η θεωρία υστερεί σε πολλά σημεία. Αν και αναφέρθηκε ότι ο φακός αυξάνεται σε όγκο με την πάροδο του χρόνου, η διάμετρος του δεν μεταβάλλεται σημαντικά⁷. Οποιαδήποτε μεταβολή στην διάμετρο έχει παρατηρηθεί σε in-vitro μελέτες, όπου ο φακός των νέων ατόμων αποκτά την πιο καμπυλωτή «προσαρμοστική» του μορφή (με μικρότερη διάμετρο, Σχ. 7). Επίσης, in-vitro μελέτες σε πιθήκους έχουν αποδείξει ότι ο φακός κατά την προσαρμογή δεν πλησιάζει τον σκληρό χιτώνα²⁰.



Σχ. 7. Ηλικιακές μεταβολές του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα (•) και στον φλοιό (o) του φακού. Διαπιστώνεται μια σημαντική μείωση στον δείκτη διάθλασης στο κέντρο του φακού ($n_o = 1,440 - 0,00034 * \text{Ηλικία}$), ενώ ο δείκτης διάθλασης στην περιφέρεια του φακού παραμένει σταθερός ($n_c = 1,365 - 0,00003 * \text{Ηλικία}$) (από Moffat et al, 2002).

Ένας περιοριστικός παράγοντας που έχει οδηγήσει στην αντιπαράθεση και σύγχυση σχετικά με τους μηχανισμούς της προσαρμογής και της πρεσβυωπίας έγκειται στο γεγονός ότι δεν είναι εφικτή η in-vivo απεικόνιση των ανατομικών δομών του ανθρώπινου οφθαλμού που συμμετέχουν στην προσαρμογή. Για παράδειγμα, η θέση της ίριδας εμποδίζει την άμεση απεικόνιση του ακτινωτού μυός και της περιφέρειας του φακού, ενώ η διαθλαστική ισχύς του κερατοειδή οδηγεί σε κάποια παραμόρφωση της απεικόνισης του φακού όταν εφαρμόζονται οι νέες απεικονιστικές τεχνικές (π.χ. Scheimpflug απεικόνιση, μαγνητική τομογραφία).

4. «Αναστροφή» πρεσβυωπίας

Εκτός από τις κλασικές οπτικές προσεγγίσεις για την διόρθωση της πρεσβυωπίας με οφθαλμικούς φακούς (πρεσβυωπικούς, διπλεσιακούς, πολυεστιακούς) και φακούς επαφής (πολυεστιακούς²¹ και monovision), μια σειρά από χειρουργικές επεμβάσεις έχουν προταθεί για την μερική «αναστροφή» της πρεσβυωπίας. Μεταξύ άλλων σήμερα εφαρμόζεται η monovision κερατοειδική διαθλαστική χειρουργική (ο ένας οφθαλμός διορθώνεται για ευκρινή μακρινή όραση, ο άλλος για κοντινή όραση), η κερατοπλαστική με τη χρήση ραδιοσυχνότητων (conductive keratoplasty), η εμφύτευση πολυεστιακών ή «προσαρμοστικών» ενδοφακών (“Accommodative” IOLs), η τοποθέτηση σκληρικών ενθεμάτων, ενώ έχουν προταθεί και άλλες τεχνικές (βλ. παρακάτω) για την μερική αποκατάσταση της ικανότητας προσαρμογής. Να τονιστεί ότι όταν μιλάμε για “αναστροφή” πρεσβυωπίας, ο άμεσος στόχος είναι η απόκτηση μιας δυναμικής κι ελεγχόμενης κλίμακας προσαρμογής ίσης με 3D, ικανής για εστίαση μεταξύ του οπτικού απείρου και της απόστασης ανάγνωσης (περίπου στα 30 cm). Μερικές από τις ήδη εφαρμοζόμενες τεχνικές παρουσιάζονται στις παρακάτω ενότητες.

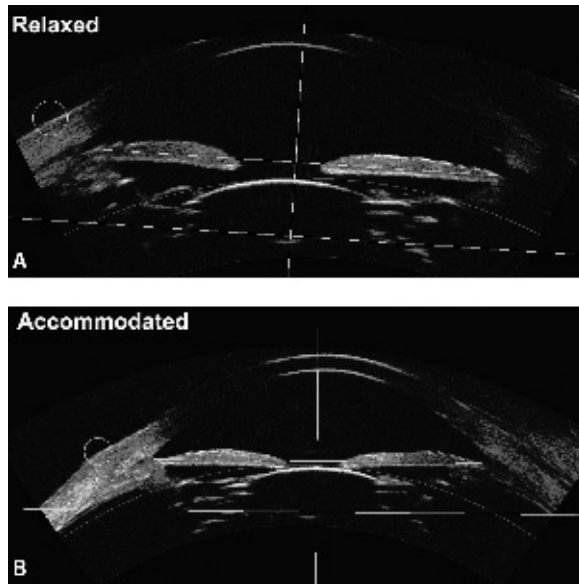
4.1. «Προσαρμοστικοί» ενδοφακοί

Εφόσον τα ευρήματα από αρκετές μελέτες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο φυσιολογικός φακός με την ηλικία γίνεται δύσκαμπτος⁷ ενώ ταυτόχρονα το περιβάριο διατηρεί ένα μέρος της ελαστικότητάς του⁶, μία πιθανή λύση στο πρόβλημα της πρεσβυωπίας αποτελεί η αντικατάσταση του φακού με κάποιο συνθετικό υλικό που θα παρουσιάζει σχεδόν παρόμοιες μηχανικές και οπτικές

ιδιότητες και θα βασίζεται στην αποτελεσματικότητα των υπόλοιπων δομών που συμμετέχουν στον μηχανισμό της προσαρμογής.

Ένα βήμα προς αυτή την κατεύθυνση αποτελούν οι «προσαρμοστικοί» ενδοφακοί, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούνται από μικρά εύκαμπτα στηρίγματα (haptics), τα οποία όταν συμπιέζονται μετακινούν τον ενδοφακό πρόσθια, με σκοπό την αύξηση της συνολικής διοπτρικής ισχύος του οφθαλμού, χωρίς φυσικά να έχουν τη δυνατότητα παράλληλης αλλαγής των μηχανικών τους χαρακτηριστικών. Η συμπίεση προέρχεται απευθείας από το ακτινωτό σώμα (εφόσον αυτό παραμένει ενεργό μέχρι κάποια ηλικία¹³) ή μέσω του περιφακίου^{22,23}. Αν και είναι γνωστό εδώ και δύο αιώνες²⁴ ότι η προσαρμογή που επιτυγχάνεται από την μετατόπιση του φακού (και εξαρτάται από την ισχύ του και το αξονικό μήκος του οφθαλμού²⁵) είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με αυτή που προκαλείται από τις αλλαγές της καμπυλότητας των επιφανειών του, είναι κατανοητό όμως ότι, έστω και αύξηση της διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού κατά 1D, είναι πολύ σημαντική για την κοντινή όραση στην περίπτωση της αφακίας. Οι απόψεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα των “προσαρμοστικών” ενδοφακών δίστανται όσον αφορά τις πραγματικές αλλαγές που συμβαίνουν στη διαθλαστική ισχύ του οφθαλμού μετά από εμφύτευση τέτοιων ενδοφακών αλλά και στο αν η βελτίωση στην κοντινή όραση, που είναι εμφανής σε πολλές περιπτώσεις, προέρχεται μερικώς από την αύξηση του βάθους πεδίου λόγω του μικρού μεγέθους κόρης, ή από την ύπαρξη μετεγχειρητικού αστιγματισμού και αυξημένης σφαιρικής εκτροπής που πιθανόν να προκαλούν πολυεστιακότητα²⁶. Αυτή η διχογνωμία οφείλεται στο γεγονός ότι η εκτίμηση της αποτελεσματικότητάς τους πραγματοποιείται στην κλινική πράξη συνήθως με υποκειμενικές μεθόδους (π.χ. RAF rule). Εν τούτοις, κάποιες κλινικές μελέτες²³ που αξιολόγησαν την προσαρμοστική ικανότητα μετά από εμφύτευση «προσαρμοστικών» ενδοφακών με αντικειμενικές μεθόδους (π.χ. σκιασκοπία, in-vivo βιομετρία) εκτίμησαν ότι η μέση επιτυγχανόμενη προσαρμογή για 12 ασθενείς ήταν 1,2 D και η μεταβολή στο βάθος του προσθίου θαλάμου περίπου 0,60 mm, αποτελέσματα που συμφωνούν με τους θεωρητικούς υπολογισμούς^{25,27}.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται εικόνες από σύστημα σάρωσης υψηλής συχνότητας του πρόσθιου θαλάμου του οφθαλμού σε έναν ασθενή στον ο-



Σχ. 8. Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός «προσαρμοστικού» ενδοφακού ένα μήνα μετά από την εμφύτευσή του. Μια σταγόνα πιλοκαρπίνης (4%) χρησιμοποιήθηκε για την σύσπαση του ακτινωτού μυός. Είναι εμφανές ότι ο φακός μετακινείται πρόσθια (κατά ~0,40 mm). Η συνολική θεωρητική αύξηση της διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού είναι ίση με 0,50 D.

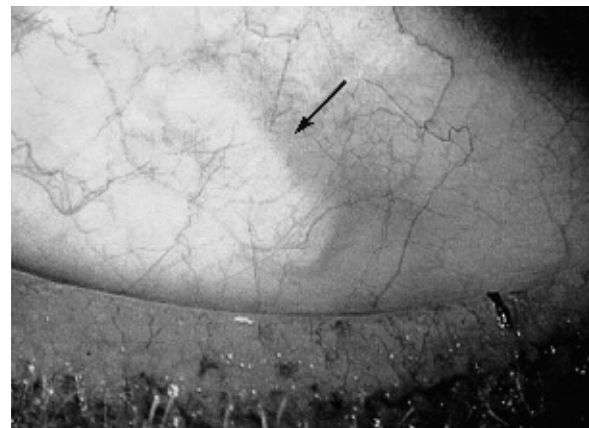
ποίο έχει εμφυτευτεί «προσαρμοστικός» φακός. Σε αυτή την περίπτωση η μετατόπιση του ενδοφακού μετά από χρήση πιλοκαρπίνης (παρασυμπαθητικομιμητικό φάρμακο που διεγείρει την προσαρμογή) είναι 0,40 mm, μικρότερη από αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω, ικανή να προκαλέσει προσαρμογή όχι μεγαλύτερη από 0,50 D. Παρόμοια αποτελέσματα μας δίνουν και άλλες μέθοδοι, π.χ. η χρήση ενός συστήματος εκτροπόμετρο-οπτομέτρου για την αντικειμενική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της προσαρμογής²⁸. Είναι προφανές ότι αυτά τα επίπεδα προσαρμογής δεν αναμένεται να βοηθήσουν σημαντικά τον ασθενή στην εκπλήρωση κοντινών εργασιών, ενώ υπάρχει και το ενδεχόμενο μετεγχειρητικών επιπλοκών, π.χ. περιφακική ίνωση²⁹. Πρέπει, όμως, να τονιστεί ότι η τοπική χρήση πιλοκαρπίνης είναι πιθανόν να προκαλέσει μεγαλύτερα επίπεδα προσαρμογής («τόνωση» της προσαρμογής) από την εκούσια προσαρμογή που επιτυγχάνεται κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, ενώ έχει βρεθεί να εξαρτάται σημαντικά από την χρωμάτωση της ίριδας (πιο ευαίσθητοι οι οφθαλμοί με μπλε ίριδες)³⁰.

4.2. Σκληρικά ενθέματα

Μια δεύτερη χειρουργική προσέγγιση για την μερική αναστροφή της προεσβωπίας στηρίζεται

στη θεωρία του μηχανισμού προσαρμογής του Schachar (βλ. παραπάνω¹⁸), η οποία αναφέρει ότι με την ηλικία ο φακός αυξάνεται σε όγκο χωρίς να χάνει την ελαστικότητά του και ότι η προεσβωπία οφείλεται στη χαλάρωση των ινών της ζιννείου ζώνης εξαιτίας της μείωσης της απόστασης μεταξύ του ισημερινού του φακού και της ακτινωτής απόφυσης. Αν ισχύει αυτή η θεωρία, τότε αναμένεται η αύξηση της απόστασης να συμβάλλει σε κάποια αποκατάσταση της προσαρμογής. Ως αποτέλεσμα προκύπτει η τεχνική των σκληρικών ενθεμάτων επέκτασης (scleral expansion banding)^{18,31}, κατά την οποία, σύμφωνα με τον Schachar, τοποθετούνται ενθέματα PMMA στο σκληρό χιτώνα με σκοπό να τεντώσουν την επιφάνεια του σκληρού που επικαλύπτει το ακτινωτό σώμα και να αυξήσουν την απόσταση μεταξύ φακού-ακτινωτής απόφυσης και επομένως την πίεση που ασκούν οι ίνες στον φακό. Ανάλογη τεχνική αποτελεί η πρόσθια ακτινωτή σκληροτομή, όπου ακτινωτές τομές πραγματοποιούνται στο ακτινωτό σώμα για την επέκτασή του.

Είναι προφανές ότι η παραπάνω τεχνική αγνοεί πλήρως τις θεωρίες που αναφέρουν μείωση της ελαστικότητας του φακού με την ηλικία. Πρόσφατες έρευνες, μάλιστα, που χρησιμοποίησαν αντικειμενικές μεθόδους για την αξιολόγηση της προσαρμογής^{32,33} αποδεικνύουν ότι σε περιπτώσεις ασθενών στους οποίους τοποθετήθηκαν σκληρικά ενθέματα η πραγματική προσαρμογή δεν αποκαθίσταται, και όποια «βελτίωση» στην



Σχ. 9. Μερική αναστροφή της προεσβωπίας με την τοποθέτηση σκληρικών ενθεμάτων. Πιστεύεται (Schachar, 2001) ότι η τοποθέτηση ενθεμάτων PMMA στο σκληρό χιτώνα είναι δυνατόν να επεκτείνει την επιφάνεια του σκληρού που επικαλύπτει το ακτινωτό σώμα και να αυξήσει την απόσταση μεταξύ του φακού και της ακτινωτής απόφυσης και επομένως την πίεση που ασκούν οι ίνες στον φακό.

κοντινή όρασή τους οφείλεται σε «ψευδο-προσαρμογή», δηλαδή στην πολυεστιακότητα που έπεται της χειρουργικής επέμβασης²⁶.

4.3. Άλλες προτεινόμενες τεχνικές

Άλλοι τρόποι που έχουν προταθεί αφορούν την αντικατάσταση του φακού από ένα συνθετικό υλικό με παρόμοιες μηχανικές και οπτικές ιδιότητες³⁴. Κάποια πρόοδος έχει παρατηρηθεί σε αυτή την κατεύθυνση σε μοντέλα πειραματοζώων με την ένεση σιλικονούχας γέλης³⁵ ή την εμφύτευση ενός ενδοφακικού μπαλονιού μέσα στο περιφάκιο³⁶). Πιο πρόσφατα μελέτες σε χοίρειους οφθαλμούς ερευνήσαν το ενδεχόμενο αναγόμεως του περιφακίου με διαφορετικούς όγκους σιλικονούχας γέλης και κατέληξαν ότι είναι εφικτή η αποκατάσταση της προσαρμογής, εφόσον διατηρηθούν ακέραια το ακτινωτό σώμα και οι ίνες της ζιννείου ζώνης³⁷. Βέβαια, σημαντικά ερωτήματα πηγάζουν από τις παραπάνω τεχνικές σχετικά με την πιθανότητα μακροπρόθεσμων μεταβολών στο υλικό του εμφυτεύματος και στο περιφάκιο. Επίσης, είναι προφανές ότι είναι αρκετά δύσκολος ο έλεγχος της τελικής διάθλασης με επαρκή ακρίβεια, ενώ είναι σίγουρο ότι ένα σιλικονούχο υλικό δεν μπορεί να μιμηθεί τα οπτικά πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τον βαθμωτό δείκτη διάθλασης του κρυσταλλοειδή φακού.

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι την επόμενη δεκαετία θα παρατηρηθεί αυξανόμενη δραστηριότητα όσον αφορά τις χειρουργικές επεμβάσεις για την αναστροφή της πρεσβυωπίας. Σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητο να συνειδητοποιήσουμε ότι όλες οι χειρουργικές μέθοδοι εγγυμονούν επιπλοκές, γι' αυτό η εφαρμογή τους κρίνεται απαραίτητη μόνον σε περιπτώσεις παρουσίας καταρράκτη. Αν η «σκληρήνση» του φακού είναι ο κύριος αιτιολογικός παράγοντας της πρεσβυωπίας, τότε τα σκληρικά ενθέματα είναι απίθανο να δώσουν λύση. Αν τα αίτια της πρεσβυωπίας είναι πολυπαραγοντικά, τότε οι «προσαρμοστικοί» ενδοφακοί δεν πρόκειται να παράγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ηλικιωμένων ασθενών στους οποίους το ακτινωτό σώμα αδρανεί. Επομένως κρίνεται αναγκαία η συνέχιση της έρευνας σχετικά με τους μηχανισμούς που συμμετέχουν στην πρεσβυωπία, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αξιόπιστων διαδικασιών για την αντικειμενική αξιολόγηση της προσαρμογής και την in-vivo απεικόνιση των βιομετρικών δεδομένων του οφθαλμού μετά

από εμφύτευση ενδοφακών ή άλλων υλικών. Ως τότε αναμένεται η χρήση οφθαλμικών φακών να αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο διόρθωσης της πρεσβυωπίας, ειδικά στις περιπτώσεις ασθενών που δεν παρουσιάζουν καταρράκτη.

Ευχαριστίες

Ο Σωτήρης Πλαϊνής αποτέλεσε υπότροφο του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών (2003-2004) για την εκπλήρωση μεταδιδακτορικής έρευνας με θέμα «Μεταβολές στην ποιότητα της εικόνας που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή λόγω της προσαρμογής του οφθαλμού».

Βιβλιογραφία

1. *Donders FC*. On the anomalies of accommodation and refraction of the eye: with a preliminary essay on physiological dioptrics. London: The new Sydenham Society, 1864.
2. *Helmholtz HV*. Handbuch der Physiologischen Optik. Vol. Volume 1, 1856.
3. *Weale RA*. Presbyopia toward the end of the 20th century. *Surv. Ophthalmol* 34: 15-30, 1989.
4. *Fincham EF*. The changes in the form of the crystalline lens in accommodation. *Transactions of the Optical Society of America* 26: 239-69, 1925.
5. *Atchison DA*. Accommodation and presbyopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 15(4): 255-72, 1995.
6. *Fisher RF*. Proceedings: Some experimental studies of human accommodation and presbyopia. *Proc R Soc Med* 66(10): 1037, 1973.
7. *Glasser A, Campbell MC*. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Res* 39(11): 1991-2015, 1993.
8. *Koretz JF, Handelman GH*. The Mechanics of Human Visual Accommodation. *Biophysical Journal* 41(2): A400-A, 1983.
9. *Strenk SA, Semmlow JL, Strenk LM, et al*. Age-related changes in human ciliary muscle and lens: a magnetic resonance imaging study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40(6): 1162-9, 1999.
10. *Strenk SA, Strenk LM, Koretz JF*. The mechanism of presbyopia. *Progress in Retinal and eye Research* 2005; (in press).
11. *Tamm S, Tamm E, Rohen JW*. Age-related changes of the human ciliary muscle. A quantitative morphometric study. *Mech Ageing Dev* 62(2): 209-21, 1992.
12. *Nishida S, Mizutani S*. Quantitative and morphometric studies of age-related changes in human ciliary muscle. *Jpn J Ophthalmol* 36(4): 380-7, 1992.
13. *Pardue MT, Sivak JG*. Age-related changes in human ciliary muscle. *Optom Vis Sci* 77(4): 204-10, 2000.
14. *Bito LZ, Kaufman PL, Derousseau CJ, Koretz J*. Pre-

- sbyopia - an Animal-Model and Experimental Approaches For the Study of the Mechanism of Accommodation and Ocular Aging. Eye-Transactions of the Ophthalmological Societies of the United Kingdom 1: 222-30, 1987.
15. *Brown N.* Change in Shape and Internal Form of Lens of Eye On Accommodation. Experimental Eye Research 15(4): 441-59, 1973.
 16. *Dubbelman M, Van der Heijde GL, Weeber HA.* Change in shape of the aging human crystalline lens with accommodation. Vision Res 45(1): 117-32, 2005.
 17. *Koretz JF, Handelman GH.* How the human eye focuses. Sci Am 259(1): 92-9, 1988.
 18. *Schachar RA.* Cause and treatment of presbyopia with a method for increasing the amplitude of accommodation. Ann Ophthalmol 24(12): 445-7, 52, 1992.
 19. *Schachar RA.* Zonular function: a new hypothesis with clinical implications. Ann Ophthalmol 26(2): 36-8, 1994.
 20. *Glasser A, Kaufman PL.* The mechanism of accommodation in primates. Ophthalmology 106(5): 863-72, 1999.
 21. *Charman WN, Saunders B.* Theoretical and practical factors influencing the optical performance of contact lenses for the presbyope. J. Br. Contact Lens Assoc. 13: 67-75, 1990.
 22. *Cumming JS, Slade SG, Chayet A.* Clinical evaluation of the model AT-45 silicone accommodating intraocular lens: results of feasibility and the initial phase of a Food and Drug Administration clinical trial. Ophthalmology 108(11): 2005-9; discussion 10, 2001.
 23. *Kuchle M, Nguyen NX, Langenbacher A, et al.* Implantation of a new accommodative posterior chamber intraocular lens. J Refract Surg 18(3):208-16, 2002.
 24. *Young T.* On the mechanisms of the eye. Phil Tans Lond 91: 23-88, 1801.
 25. *Nawa Y, Ueda T, Nakatsuka M, et al.* Accommodation obtained per 1.0 mm forward movement of a posterior chamber intraocular lens. J Cataract Refract Surg 29(11): 2069-72, 2003.
 26. *Charman WN.* Restoring accommodation to the presbyopic eye: how do we measure success? J Cataract Refract Surg 29(12): 2251-4, 2003.
 27. *Langenbacher A, Huber S, Nguyen NX, et al.* Measurement of accommodation after implantation of an accommodating posterior chamber intraocular lens. J Cataract Refract Surg 29(4): 677-85, 2003.
 28. *Plainis S, Ginis H, Pallikaris A.* The effect of ocular aberrations on steady-state errors of accommodative response. Journal of Vision 2005; (in press).
 29. *Mastropasqua L, Toto L, Nubile M, et al.* Clinical study of the 1CU accommodating intraocular lens. J Cataract Refract Surg 29(7): 1307-12, 2003.
 30. *Wold JE, Hu A, Chen S, Glasser A.* Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. J Cataract Refract Surg 29(10): 1878-88, 2003.
 31. *Schachar RA.* The correction of presbyopia. Int Ophthalmol Clin 41(2): 53-70, 2001.
 32. *Malecaze FJ, Gazagne CS, Tarroux MC, Gorrand JM.* Scleral expansion bands for presbyopia. Ophthalmology 108(12): 2165-71, 2001.
 33. *Ostrin LA, Kasthurirangan S, Glasser A.* Evaluation of a satisfied bilateral scleral expansion band patient. J Cataract Refract Surg 30(7): 1445-53, 2004.
 34. *Kessler J.* Experiments in refilling the lens. Arch. Ophthalmol 71: 412-7, 1964.
 35. *Haefliger E, Parel JM, Fantès F, et al.* Accommodation of an endocapsular silicone lens (Phaco-Ersatz) in the nonhuman primate. Ophthalmology 94(5): 471-7, 1987.
 36. *Nishi O, Nakai Y, Yamada Y, Mizumoto Y.* Amplitudes of accommodation of primate lenses refilled with two types of inflatable endocapsular balloons. Arch Ophthalmol 111(12): 1677-84, 1993.
 37. *Koopmans SA, Terwee T, Haitjema HJ, et al.* Relation between injected volume and optical parameters in refilled isolated porcine lenses. Ophthalmic Physiol Opt 24(6): 572-9, 2004.