

Μηχανισμοί πρεσβυπίας

Τι γνωρίζουμε σήμερα

Εισαγωγή

Δημογραφικές μελέτες στη χώρα μας, αλλά και παγκοσμίως, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε λίγα χρόνια τα ηλικιωμένα άτομα θα αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Στη χώρα μας ο μέσος όρος ηλικίας του πληθυσμού έχει αυξηθεί σημαντικά, καθώς το 2011 ο αριθμός του πληθυσμού ηλικίας >45 ετών ήταν περίπου 4,9 εκατομμύρια, δηλαδή το 45,5% του συνολικού πληθυσμού (πηγή ΕΛΣΤΑΤ).

Αν και σημαντική «επιβράδυνση» της γήρανσης έχει επιτευχθεί, λόγω των σημαντικών εξελίξεων στον τομέα της υγιεινής, της διατροφής και της ιατρικής περίθαλψης, η εμφάνιση της πρεσβυπίας, λόγω της βαθμιαίας απώλειας της προσαρμοστικής ικανότητας του φακού με την πάροδο του χρόνου, συνεχίζει να γίνεται αισθητή από την ηλικία περίπου των 42-45 ετών. Δεν αποτελεί, επομένως, έκπληξη ότι η μείωση του εύρους προσαρμογής ενός φυσιολογικού οφθαλμού με την ηλικία δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου από αυτή που κατέγραψε πριν από περίπου 140 χρόνια ο Donders¹, ο οποίος κατέληξε ότι το εύρος προσαρμογής μειώνεται σχεδόν γραμμικά από ένα μέγιστο (~15D) στην ηλικία των 10 ετών, σε μηδενική τιμή στα 50 έτη (βλ. Σχ. 1). Η σταδιακή «εμφάνιση» της πρεσβυπίας περνά σχεδόν απαρατήρητη, έως ότου μειωθεί σημαντικά το εύρος προσαρμογής (στην ηλικία των 40 ετών, περίπου, για εμμετρικά άτομα), με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται με δυσκολία οι ασχολίες που απαιτούν ευκρινή κοντινή όραση, όπως για παράδειγμα η ανάγνωση. Σε αυτή την ανασκόπηση πραγματοποιείται μία παράθεση των μηχανισμών που είναι πιθανόν να εμπλέκονται στην εμφάνιση της πρεσβυπίας.

Κρυσταλλοειδής φακός - μηχανισμός προσαρμογής

Η ελαστική και ινώδης δομή του κρυσταλλοειδούς φακού περικλείεται μέσα στο ελαστικό περιφάκιο, το οποίο αποτελεί το «καλούπι» του φακού (βλ. Σχ. 2). Η θέση του φακού μέσα στον οφθαλμό εξασφαλίζεται από την υποστήριξη που παρέχουν στον ισπερινό οι ίνες της ζιννείου ζώνης, μέσω



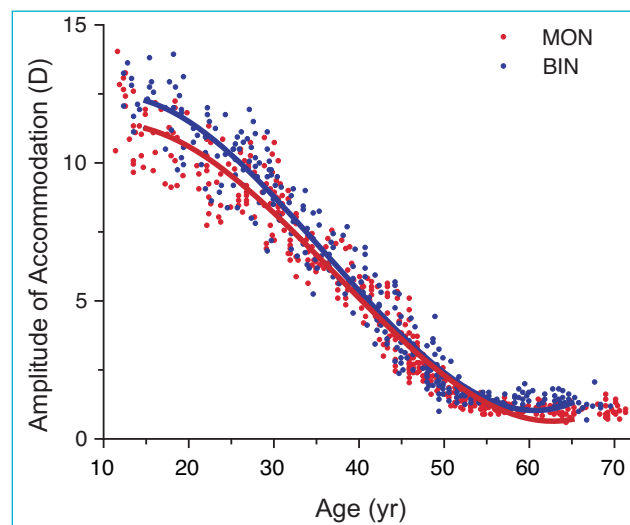
Σωτήριος Πλαΐνης, MSc, PhD, FBCLA^{1,2}

¹ Εργαστήριο Οπτικής και Όρασης (LOV), Ιατρική Σχολή, Πανεπιστήμιο Κρήτης.

² Contact-Lenses.gr, Ηράκλειο Κρήτης.

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. Για τον λόγο αυτό διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη «μετάδοση» της τάσης που προκαλείται από τη σύσπαση του ακτινωτού μυός για την αλλαγή του σχήματος και της διαθλαστικής ισχύος του φακού. ►



Σχήμα 1: Αλλαγές στο διόφθαλμο (μπλε) και μονόφθαλμο (κόκκινο) εύρος προσαρμογής (πάνω) με την ηλικία. Το εύρος προσαρμογής αρχίζει να μειώνεται σταθερά από τις αρχές της εφηβικής ηλικίας με έναν ρυθμό περίπου 0,4D/χρόνο.

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 (βλ. Σχ.3). Αν και δεν έχει διευκρινισθεί με ποιον τρόπο η συστολή του ακτινωτού μύος επηρεάζει την πίεση που ασκούν οι ίνες στον φακό, είναι γνωστό ότι επισυνάπτονται στον ισημερινό, στο πρόσθιο και στο οπίσθιο μέρος του περιφακίου. Το αποτέλεσμα των δυνάμεων τάυσης που ασκούν οι ίνες στο ελαστικό περιφάκιο είναι η μείωση της διαμέτρου, του πάχους και της καμπυλότητας των επιφανειών του φακού (σε σύγκριση με τη μορφή του φακού κατά την αφαίρεσή του από το περιφάκιο - βλ. Σχ.2). Κατά την προσαρμογή, ο ακτινωτός μύς συσπάται, μειώνοντας τη διάμετρο της ακτινωτής απόφυσης, με αποτέλεσμα να υποχωρεί η πίεση στις ίνες της ζιννείου ζώνης, οι οποίες χαλαρώνουν (βλ. Σχ.3). Έτσι, το ελαστικό περιφάκιο και ο φακός ανακτούν την πιο κυρτή φυσιολογική τους μορφή, δηλαδή αυξάνονται η καμπυλότητα της πρόσθιας και οπίσθιας επιφάνειας και το πάχος του φακού, ενώ η πρόσθια επιφάνεια μετατοπίζεται πρόσθια, πλησιάζοντας τον κερατοειδή. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η διοπτρική ισχύς του φακού, απαραίτητη για την εστίαση κοντινών αντικειμένων.

Θεωρίες πρεσβυωπίας

Οι θεωρίες σχετικά με τους μηχανισμούς της προσαρμογής και της πρεσβυωπίας ξεκίνησαν τον 17ο αιώνα και αναπτύχθηκαν με λεπτομέρεια αργότερα²⁻⁵. Αν και η θεωρία του Helmholtz σχετικά με τον μηχανισμό της προσαρμογής απέκτησε καθολική υποστήριξη, δεν πραγματοποιήθηκε το ίδιο με την θεωρία του για τους αιτιογενείς παράγοντες που οδηγούν στην απώλεια της ικανότητας προσαρμογής, την οποία απέδωσε αποκλειστικώς στη σκλήρυνση του κρυσταλλοειδούς φακού.

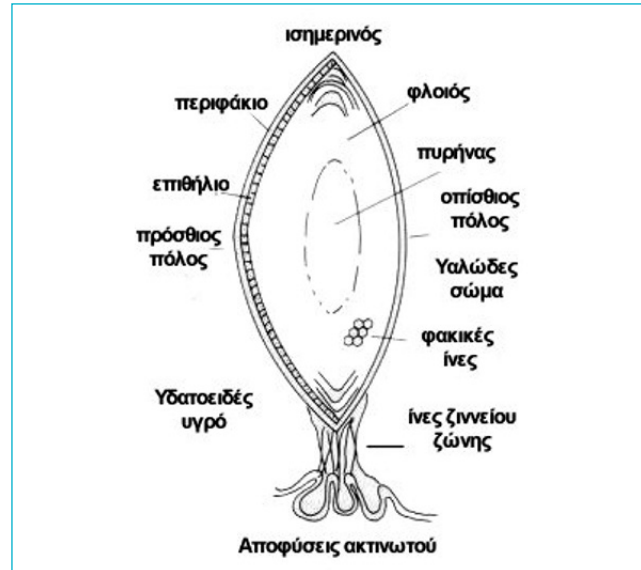
Άλλες θεωρίες¹ εστίασαν τα αίτια της πρεσβυωπίας στον ανικανότητα του ακτινωτού σώματος να συσπασθεί. Σήμερα είναι αποδεκτό ότι τα αίτια της πρεσβυωπίας είναι πολυ-παραγοντικά, δηλαδή μια σειρά από ηλικιακές αλλαγές λαμβάνουν χώρα σχεδόν σε όλες τις δομές που συμμετέχουν στον μηχανισμό της προσαρμογής.

Ως αποτέλεσμα, οι θεωρίες που έχουν επικρατήσει σήμερα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: τις «φακικές», που βασίζονται στην υπόθεση ότι η πρεσβυωπία προκαλείται από τις ηλικιακές αλλαγές στη γεωμετρία ή/και τις μηχανικές ιδιότητες του φακού και του περιφακίου, και τις «εξω-φακικές», στις οποίες η πρεσβυωπία αποδίδεται σε μηχανικές ή/και γεωμετρικές αλλαγές στις ίνες της ζιννείου ζώνης, το ακτινωτό σώμα και άλλες δομές που περιβάλλουν τον φακό.

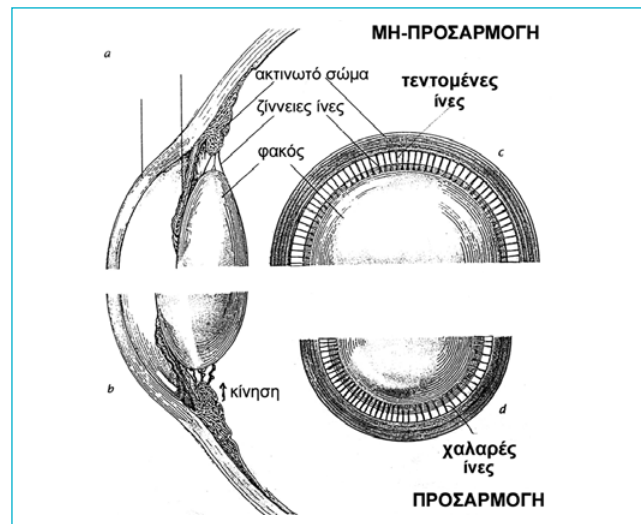
Φακικές θεωρίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, λόγω της ελαστικότητας του περιφακίου, όταν οι ίνες της ζιννείου ζώνης χαλαρώνουν, ο φακός αλλάζει σχήμα και «προσαρμόζει». Όπως πρώτος ο Fincham⁴ παρατήρησε, το σχήμα των ηλικιωμένων φακών αλ-

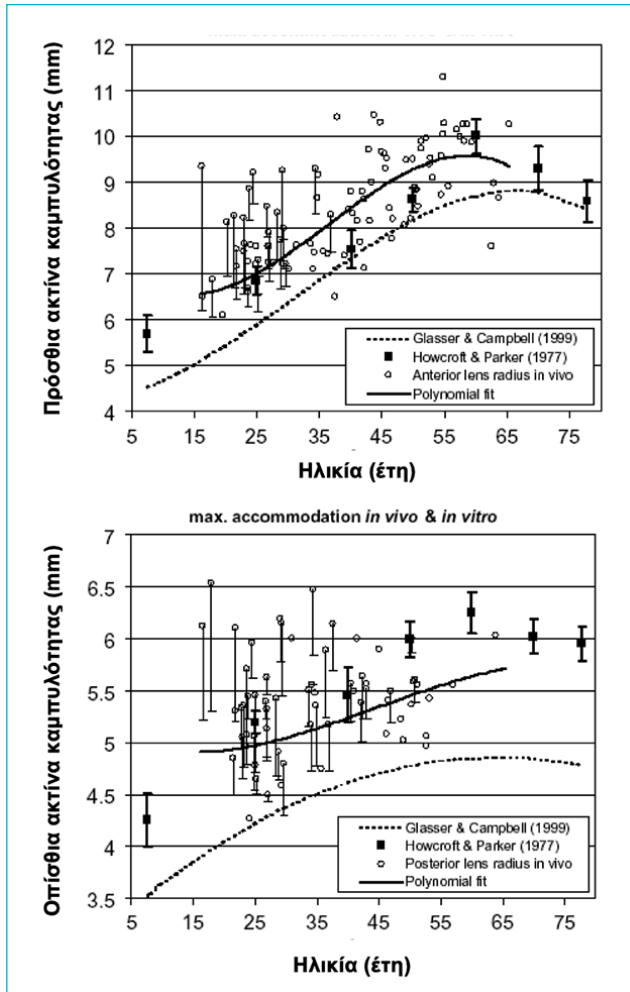
λάζει ελάχιστα (σε σχέση με τους νεότερους) όταν αφαιρείται από το περιφάκιο (in vitro). Αυτό κυρίως προέρχεται από το γεγονός ότι ο φακός «σκληραίνει» με την ηλικία, με συνέπεια οι ελαστικές δυνάμεις που ασκούνται από το περιφάκιο να



Σχήμα 2: Βασικές δομές του κρυσταλλοειδούς φακού in vitro -εκτός περιφακίου (και οφθαλμού) με αποτέλεσμα, λόγω της ελαστικότητάς του, οι επιφάνειές του να ανακτούν την πιο κυρτή μορφή τους.

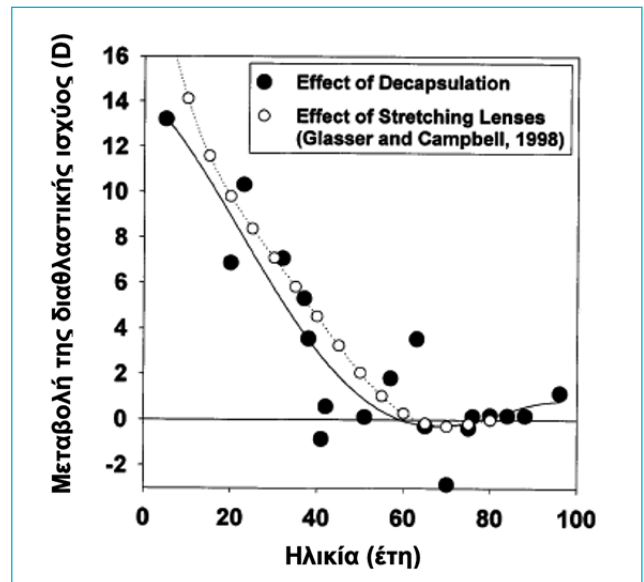


Σχήμα 3: Ο μηχανισμός της προσαρμογής κατά τον Helmholtz. Όταν κοιτάμε ένα μακρινό αντικείμενο ο ακτινωτός μύς φέρει τη μέγιστη διάμετρο και διατηρεί τις ίνες της ζιννείου ζώνης τεταμένες (c). Αυτές με τη σειρά τους ασκούν δυνάμεις τάυσης που «επιπεδώνουν» τις επιφάνειες του φακού (a). Κατά την προσαρμογή ο ακτινωτός μύς συσπάται (η διάμετρός του ακτινωτού σώματος μειώνεται) (d). Κατά τη σύσπαση οι ίνες χαλαρώνουν, με αποτέλεσμα ο φακός να ανακτά πιο «καμπυλωτή» μορφή (αυξάνεται το πάχος και μειώνεται η διάμετρός 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).



Σχήμα 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 απεικόνιση Scheimpflug (Dubbelman et al., 2005), ενώ τα τετράγωνα (Howcroft and Parker, 1977) και η διακεκομμένη γραμμή (Glasser and Campbell, 1999) *in-vitro* μετρήσεις (από Dubbelman et al., 2005).

μην είναι ικανές να προκαλέσουν τις επιφάνειες του φακού κατά την προσαρμογή. Ο όρος «σκληρύνηση» αναφέρεται σε μείωση της περιεκτικότητας σε νερό και ίσως δεν είναι ο καταλληλότερος, καθώς έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικότητα σε νερό του κρυσταλλοειδούς φακού δεν αλλάζει με την ηλικία. Αυτό που έχει προταθεί είναι μια αυξανόμενη συγκόλληση μεταξύ των ινών στον πυρήνα του φακού, γεγονός που καθιστά τον φακό λιγότερο ελαστικό. Είναι γεγονός ότι, από τα πρώτα χρόνια της ζωής, νέες ίνες προστίθενται συνεχώς στον φακό (με έναν τρόπο παρόμοιο με τα φύλλα του κρεμμυδιού), με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πάχος και ο όγκος του φακού με την ηλικία, ενώ παράλληλα ο φακός αποκτά πιο καμπυλωτή μορφή (βλ. Σχ. 4). Η αύξηση του πάχους του φακού είναι πιθανόν να συμβάλλει στη δυσκαμψία του φακού, με αποτέλεσμα οι δυνάμεις τάνυσης που ασκούνται από τις ίνες της ζιννείου ζώνης να μην επαρκούν για τη μεταβολή



Σχήμα 5: Μεταβολή στη διοπτρική ισχύ φακών διαφορετικής ηλικίας ως αποτέλεσμα της αφαίρεσης του περιφακίου (μαύροι κύκλοι-συνεχόμενη γραμμή) και όπως προκύπτει όταν ο κρυσταλλοειδής φακός τεντώνεται μηχανικά (διακεκομμένη γραμμή). Είναι χαρακτηριστική η ομοιότητα των δύο καμπυλών (από Glasser and Kaufmann, 1999).

της καμπυλότητας των επιφανειών του.

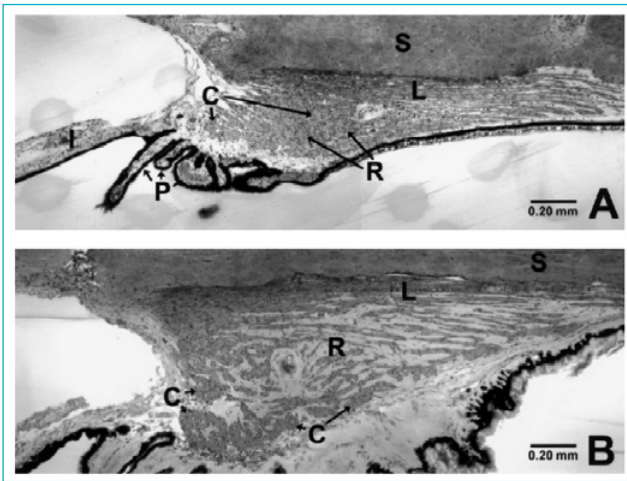
Το 1973 ο Fisher⁶, σε μια σειρά *in vitro* πειραμάτων, παρατήρησε ότι οι φακοί μεγάλης ηλικίας, όταν απομονώνονται από το περιφακίο τους, και επομένως ανακτούν την πιο καμπυλωτή «φυσιολογική» μορφή τους, δεν μεταβάλλονται σημαντικά σε σχήμα, λόγω της σημαντικής δυσκαμψίας, ενώ το περοφακίο διατηρεί την 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 την 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 της ελαστικότητας του φακού, όσο με και με τη μείωση του εύρους προσαρμογής, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της μείωσης της προσαρμοστικής ικανότητας οφείλεται σε μεταβολές στην ελαστικότητα του κρυσταλλοειδούς φακού και του περιφακίου.

Εξω-φακικές θεωρίες

Μια άλλη θεωρία της πρεσβυωπίας που έχει αναφερθεί βασίζεται στην ηλικιακή αλλαγή στη γεωμετρία της σύνδεσης των ινών της ζιννείου ζώνης, που συγκρατούν τον κρυσταλλοειδή φακό στη θέση του (γνωστή ως γεωμετρική θεωρία⁸). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, λόγω της αύξησης του όγκου του φακού και της πρόσθιας και προς τα έσω ►



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

μετατόπισης του ακτινωτού μυός με την ηλικία⁹, μειώνεται το διάστημα μεταξύ του φακού και του ακτινωτού μυός. Ως αποτέλεσμα αλλάζει η γωνία προσκόλλησης 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.

Επίσης, άλλες θεωρίες 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 έναν λόγο για τον οποίο ο ακτινωτός μυς αποκτά κάποια «δυσκαμψία» με την ηλικία¹³ (βλ. Σχ. 6).

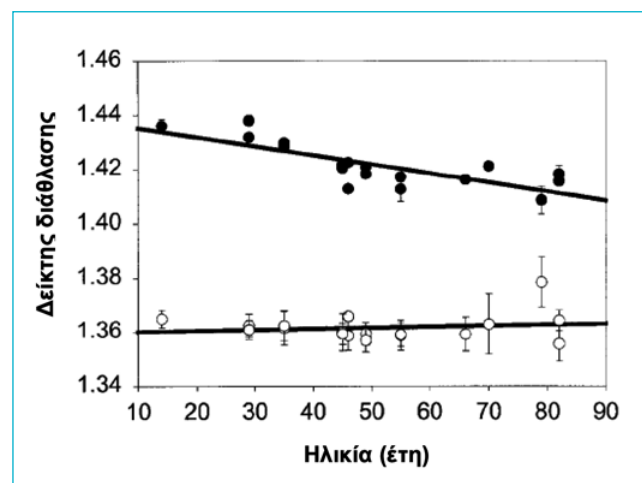
Επίσης, έχει προταθεί η μερική μείωση στη συστολή του ακτινωτού μυός κατά τη γήρανση⁹. Απεικονίσεις με μαγνητική τομογραφία των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του ακτινωτού μυός έδειξαν σε ηλικιωμένους οφθαλμούς (>45 ετών) σύσπαση που οδηγεί σε μικρότερη μεταβολή στη διάμετρο της ακτινωτής απόφυσης. Αν 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 στην φυσιολογία του ακτινωτού μυός διαδραματίζουν πολύ μικρό ρόλο στην πρεσβυωπία, καθώς πραγματοποιούνται σε μεγάλες ηλικίες (> 60 ετών).

Μια άλλη εξω-φακική θεωρία προτάθηκε από τον Bito et al.¹⁴ και βασίζεται στην πιθανή απώλεια της ελαστικότητας του χοριοειδούς χιτώνα με τη γήρανση, η οποία αποτρέπει την επιστροφή του ακτινωτού μυός στην κατάσταση χαλάρωσης. Ως αποτέλεσμα ο κρυσταλλοειδής φακός αποκτά με τον καιρό την πιο «προσαρμοστική» μορφή του και, κατά τα τελευταία στάδια της πρεσβυωπίας, βρίσκεται μόνιμα σε κατάσταση «πλήρους προσαρμογής».

Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πρεσβυωπία οφείλεται κυρίως στην απώλεια της ικανότητας αποπροσαρμογής και όχι της προσαρμογής. Η 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 κρυσταλλοειδής φακός να αποκτά θεωρητικά μεγαλύτερη διαθλαστική ισχύ, κάτι που θα καθιστούσε τον οφθαλμό πιο μυωπικό. Αυτό, βέβαια, δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα και για 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, βαθμιαία κατανομή από τον πυρήνα στον φακό: ελαττώνεται από 1,435 στον πυρήνα σε 1,36 στον φλοιό), μεταβάλλεται με την ηλικία. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης διάθλασης μειώνεται στον πυρήνα, ενώ παραμένει σταθερός στον φλοιό, με αποτέλεσμα την αντιστάθμιση της αύξησης της διαθλαστικής ισχύος που προέρχεται από τις αλλαγές στις καμπυλότητες του φακού, και τη διατήρηση σταθερής διαθλαστικής ισχύος του οφθαλμού.



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

Βέβαια, ανάμεσα στις πολυάριθμες προτάσεις που κατατέθηκαν τα τελευταία χρόνια και κυρίως αφορούσαν κάποιες δευτερεύοντες τροποποιήσεις, υπήρξε και μια ενδιαφέρουσα αλλά ανατρεπτική εισήγηση από τον Schachar¹⁸, ο οποίος πρότεινε ότι η αύξηση της διαμέτρου του κρυσταλλοειδούς φακού με τη γήρανση αποτελεί τον κύριο αιτιολογικό παράγοντα της πρεσβυωπίας. Αυτή η πρόταση βασίζεται στην υπόθεση ότι η προσαρμογή επιτυγχάνεται με την αύξηση των δυνάμεων τάνυσης των ινών της ζιννείου ζώνης, που συντελεί στην έλξη του φακού προς τον σκληρό¹⁹. Αν αυτό ισχύει, αναμένεται η αύξηση του όγκου του φακού, η οποία συντελεί στη χαλάρωση των ινών και στην αδυναμία του φακού να προσαρμόσει σε μεγάλες ηλικίες. Αυτή η θεωρία, όμως, υστερεί σε πολλά σημεία.

Αν και δείξαμε ότι ο φακός αυξάνεται σε όγκο με την πάροδο του χρόνου, η διάμετρός του δεν μεταβάλλεται σημαντικά⁷. Οποιαδήποτε μεταβολή στη διάμετρο έχει παρατηρηθεί σε *in-vitro* μελέτες, όπου ο φακός των νέων ατόμων αποκτά την πιο καμπυλωτή «προσαρμοστική» του μορφή (με μικρότερη διάμετρο, βλ. Σχ. 2). Επίσης, *in-vitro* μελέτες σε πιθήκους έχουν αποδείξει ότι ο κρυσταλλοειδής φακός κατά την προσαρμογή δεν πλησιάζει τον σκληρό χιτώνα²⁰.

Ένας περιοριστικός παράγοντας που έχει οδηγήσει στην αντιπαράθεση και σύγχυση σχετικά με τους μηχανισμούς της προσαρμογής και της πρεσβυωπίας έγκειται στο γεγονός ότι μόνο πρόσφατα έγινε εφικτή, κατά κάποιο τρόπο, η *in-vitro* απεικόνιση των ανατομικών δομών του ανθρώπινου οφθαλμού που συμμετέχουν στην προσαρμογή. Και αυτό γιατί η ίριδα εμποδίζει την άμεση απεικόνιση του ακτινωτού μυός και της περιφέρειας του κρυσταλλοειδούς φακού, ενώ η διαθλαστική ισχύς του κερατοειδούς χιτώνα οδηγεί σε κάποια παραμόρφωση της απεικόνισης του φακού με νέες απεικονιστικές τεχνικές (π.χ. Scheimpflug απεικόνιση, μαγνητική τομογραφία).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενη δραστηριότητα όσον αφορά τις χειρουργικές επεμβάσεις για την αναστροφή της πρεσβυωπίας. Σε κάθε περίπτωση, είναι 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-vitro* απεικόνιση των βιομετρικών δεδομένων του οφθαλμού μετά από εμφύτευση ενδοφακών ή άλλων υλικών. ■

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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* 1989;34:15-30.
4. Fincham EF. The changes in the form of the crystalline lens in accommodation. *Transactions of the Optical Society of America* 1925;26:239-69.
5. Atchison DA. Accommodation and presbyopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 1995;15(4):255-72.
6. Fisher RF. Proceedings: Some experimental studies of human accommodation and presbyopia. *Proc R Soc Med* 1973;66(10):1037.
7. Glasser A, Campbell MC. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Res* 1999;39(11):1991-2015.
8. Koretz JF, Handelman GH. The Mechanics of Human Visual Accommodation. *Biophysical Journal* 1983;41(2):A400-A.
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* 1999;40(6):1162-9.
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* 1992;62(2):209-21.
12. Nishida S, Mizutani S. Quantitative and morphometric studies of age-related changes in human ciliary muscle. *Jpn J Ophthalmol* 1992;36(4):380-7.
13. Pardue MT, Sivak JG. Age-related changes in human ciliary muscle. *Optom Vis Sci* 2000;77(4):204-10.
14. Bito LZ, Kaufman PL, Derosseau CJ, Koretz J. Presbyopia - 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* 1987;1:222-30.
15. Brown N. Change in Shape and Internal Form of Lens of Eye On Accommodation. *Experimental Eye Research* 1973;15(4):441-59.
16. Dubbelman M, Van der Heijde GL, Weeber HA. Change in shape of the aging human crystalline lens with accommodation. *Vision Res* 2005;45(1):117-32.
17. Koretz JF, Handelman GH. How the human eye focuses. *Sci Am* 1988;259(1):92-9.
18. Schachar RA. Cause and treatment of presbyopia with a method for increasing the amplitude of accommodation. *Ann Ophthalmol* 1992;24(12):445-7, 52.
19. Schachar RA. Zonular function: a new hypothesis with clinical implications. *Ann Ophthalmol* 1994;26(2):36-8.
20. Glasser A, Kaufman PL. The mechanism of accommodation in primates. *Ophthalmology* 1999;106(5):863-72.