

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ ΣΤΟΥΣ
ΜΑΛΑΚΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ ΕΠΑΦΗΣ, ΝΕΕΣ
ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ.**

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΓΕΩΡΓΙΑ ΓΕΩΡΓΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΙΓΙΟ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επιστημονική αυτή εργασία εκπονήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, στο Παράρτημα Αιγίου, του Τμήματος Οπτικής και Οπτομετρίας.

Η εργασία είναι πολύ σημαντική τόσο για τους σπουδαστές του τμήματος, όσο και για την ίδια την επιστήμη, καθώς το θέμα που προλογίζεται δεν θίγεται συχνά στον χώρο της διδασκαλίας, παρόλο που αποτελεί σημείο ενασχόλησης στον κλάδο της Οπτικής – Οπτομετρίας για πολλά χρόνια.

Η εν λόγω εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με την χρονολογία έναρξης της χρήσης των υλικών φακών επαφής γενικά, από το 1950, έως ότου φτάσουμε στην κατηγορία των μαλακών φακών επαφής, μέχρι σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται εκτενώς οι διάφορες μέθοδοι κατασκευής φακών επαφής.

Στο τρίτο κεφάλαιο επιχειρείται μια αναφορά στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μαλακών φακών επαφής, γενικά, με σχετική μνεία σε κομμάτι της Φυσικής.

Στο τέταρτο κατά σειρά κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς οι επιπλοκές που δύναται να προκύψουν από τη μειωμένη παροχή οξυγόνου ανάμεσα στους φακούς επαφής και τα μάτια, με αναφορές σε έγκριτα επιστημονικά δημοσιευμένα άρθρα.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα νέα ευρήματα που έχουν προκύψει σχετικά με τη νεότερη γενιά των μαλακών φακών επαφής, καθώς και η χρησιμότητά τους στην εφαρμογή νέων μεθόδων αντιμετώπισης παθολογικών καταστάσεων του ανθρώπινου οργανισμού που επιδρούν στους οφθαλμούς.

Στόχος της Επιστημονικής Εργασίας είναι η κατανόηση των εξελίξεων στον τομέα της διαπερατότητας σε οξυγόνο των μαλακών φακών επαφής και της επίδρασής του στο μάτι, ώστε να μπορεί ο Οπτικός – Οπτομέτρης να επιλέξει τον πιο κατάλληλο φακό επαφής, για να αντιμετωπίσει την οποιαδήποτε ιδιαιτερότητα, παθολογική ή μη, που παρουσιάζουν τα μάτια.

Ευχαριστώ θερμά την κυρία Γεωργανοπούλου Γεωργία, επιβλέπουσα καθηγήτρια, για την αποδοχή πραγματοποίησης της συγκεκριμένης εργασίας καθώς και για την πολύτιμη συμβολή της στην παροχή γνώσεων, στοιχείων και εφοδίων για αυτόν τον σκοπό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα που πραγματεύεται η πτυχιακή εργασία είναι η διαπερατότητα σε οξυγόνο στους μαλακούς φακούς επαφής, νέες εξελίξεις. Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η κατανόηση των εξελίξεων στον τομέα της διαπερατότητας σε οξυγόνο στους μαλακούς φακούς επαφής και η επίδρασή τους στο μάτι.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με την χρονολογία έναρξης της χρήσης των υλικών φακών επαφής γενικά, από το 1950, έως ότου φτάσουμε στην κατηγορία των μαλακών φακών επαφής, μέχρι σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται εκτενώς οι διάφορες μέθοδοι κατασκευής φακών επαφής.

Στο τρίτο κεφάλαιο επιχειρείται μια αναφορά στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μαλακών φακών επαφής, γενικά, με σχετική μνεία σε κομμάτι της φυσικής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς οι επιπλοκές που δύνανται να προκύψουν από την μειωμένη παροχή οξυγόνου ανάμεσα στους φακούς και τα μάτια, με αναφορές σε έγκριτα επιστημονικά δημοσιευμένα άρθρα.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα νέα ευρήματα που έχουν προκύψει σχετικά με την νεότερη γενιά των μαλακών φακών επαφής, καθώς και η χρησιμότητά τους στην εφαρμογή νέων μεθόδων αντιμετώπισης παθολογικών καταστάσεων του ανθρώπινου οργανισμού που επιδρούν στους οφθαλμούς.

Συμπερασματικά, οι φακοί επαφής με κριτήριο διαχωρισμού το υλικό τους, διακρίνονται σε σκληρούς και μαλακούς. Στους σκληρούς διακρίνονται οι συμβατικοί, δηλαδή φακοί από PMMA, οι σκληρικοί και οι σκληροί αεροδιαπερατοί φακοί (από RGP υλικά).

Στους μαλακούς διακρίνονται οι φακοί υδρογέλης, σιλικόνης και σιλικόνης υδρογέλης. Η κατασκευή τους γίνεται με τόννο κοπής, με την μέθοδο της περιστροφής ή φυγοκέντρωσης και της κατασκευής με την μέθοδο του εκμαγείου.

Η επιστημονική αυτή εργασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη τόσο για τους σπουδαστές του Τμήματος, όσο και για την ίδια την επιστήμη, καθώς το θέμα που πραγματεύεται δεν θίγεται συχνά στους χώρους διδασκαλίας, παρόλο που

αποτελεί σημείο ενασχόλησης στον κλάδο της Οπτικής –Οπτομετρίας για πολλά χρόνια. Τέλος, βρίσκει εφαρμογή στην ιατρική επιστήμη της οφθαλμολογίας, που σε συνδυασμό με την βασική επιστήμη της οπτικής, της χημείας, της βιολογίας και των υλικών, μας προετοιμάζει για την αντιμετώπιση παθολογικών καταστάσεων του οργανισμού που επιδρούν στο μάτι, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the oxygen permeability for soft contact lenses and new evolutions in this area. The purpose of this thesis is the understanding of the evolutions on the field of permeability in oxygen for soft contact lenses and their effect to the eye.

At first the timeline is explored, referring to the year of the beginning of the use of the materials of contact lenses in general, from 1950, ending with the category of soft contact lenses today. At the second chapter there is an extensive description of the various methods of contact lenses manufacturing.

At the third chapter, a reference to the characteristics of the soft contact lenses is attempted, generally, with relevant reference to the corresponding physics. At the fourth chapter there is an extensive description of the complications that are able to arise from the reduced oxygen supply between the contact lenses and the eyes, with references to peer-reviewed published articles.

In the end, at the fifth chapter, the new findings that are relevant to the newer generation of the soft contact lenses are presented. There is also a presentation of pathological conditions presented in the human body, which affect the eyes.

In conclusion, the contact lenses are separated according to the material, to hard and soft. We have the conventional, namely lenses from PMMA, the sclerotic and sclerotic permeable contact lenses (from RGP materials).

For soft, we have the hydrogel contact lenses, the silicon and the silicon hydrogel contact lenses. The manufacturing is performed with lathe cutting, with the method of spin casting and with the method of cast or impression molding.

This thesis is particularly useful to the students of the department of Optics and Optometry, because the subject it refers to, is not efficiently analyzed in the syllabus, despite that it is an important part of the field of Optics-Optometry for many years. Finally, it is applicable to the medical science of Ophthalmology, where in combination with the basic science of Optics, Chemistry, Biology and materials, it offers adequate information for the treatment of pathological conditions that affect the eye, such as diabetes.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....2

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....3

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....6

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....9

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1. Η Αφετηρία των Υλικών Φακών Επαφής Γενικά –από το 1950 έως Σήμερα.....13

1.2. Το Πέρασμα στους Μαλακούς Φακούς Επαφής.....15

1.3. Υλικά Μαλακών Φακών Επαφής – Από το Μακρινό Παρελθόν στο Πρόσφατο Παρόν.....18

1.3.1. Το Συμβατικό Υλικό Υδρογέλης.....19

1.3.2. Το Ελαστικό Υλικό Σιλικόνης.....20

1.3.3. Το Επαναστατικό Υλικό Σιλικόνης-Υδρογέλης.....21

1.4. Τα πλεονεκτήματα των Μαλακών Φακών Επαφής.....21

1.4.1. Τα Μειονεκτήματα των Μαλακών Φακών Επαφής.....22

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

2.1. Κατασκευή με Τόρνο.....24

2.2. Κατασκευή με την Μέθοδο της Περιστροφής.....25

2.3. Κατασκευή με την Μέθοδο του Εκμαγείου.....26

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΛΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

3.1. Διαφάνεια και Δείκτης Διάθλασης.....	28
3.2. Σκληρότητα και Ακαμψία.....	30
3.3. Συντελεστής Ελαστικότητας.....	30
3.4. Συντελεστής Τριβής.....	31
3.5. Ικανότητα Διαβροχής – Περιεκτικότητα Νερού.....	32
3.6. Ιονικό Φορτίο.....	37
3.7. Διαπερατότητα και Μεταβιβαστικότητα σε Οξυγόνο.....	38
3.7.1. Μεταβιβαστικότητα Οξυγόνου για Διάφορους Φακούς Σιλικόνης Υδρογέλης.....	40
3.7.2. Η Κλινική Σημασία της Μέτρησης Μεταβιβαστικότητας Οξυγόνου.....	42

4. ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΟΥ ΟΙΔΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

4.1. Φυσιολογικός Κύκλος από την Φάση του Ξυπνήματος έως αυτής της Κατάκλισης.....	52
4.2. Η Παραγωγή της Κρίσιμης Μεταβιβαστικότητας σε Οξυγόνο.....	52
4.2.1. Η Κρίσιμη Μεταβιβαστικότητα σε Οξυγόνο που Απαιτείται ώστε να Αποφευχθεί το Οίδημα κατά την Καθημερινή Χρήση.....	53
4.2.2 Η Κρίσιμη Μεταβιβαστικότητα που Απαιτείται για να Αποφευχθεί το Οίδημα με Εκτεταμένη Ένδυση.....	54

5. ΟΙ ΦΑΚΟΙ ΕΠΑΦΗΣ ΑΥΡΙΟ

5.1. Το Μέλλον των Φακών Επαφής: Η Πραγματική Σημασία του Dk.....	58
5.1.1. Επίδραση των Φακών Επαφής – Πρόκληση Υποξίας.....	59
5.1.2. Εκτίμηση και Μέτρηση της Ποσότητας Οξυγόνου.....	60
5.1.3. Κατανοώντας τον Όρο Dk/t.....	60
5.1.4. Ροή Οξυγόνου.....	61
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαπερατότητα σε οξυγόνο στους μαλακούς φακούς επαφής, νέες εξελίξεις είναι το θέμα που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία. Αυτό που επιχειρείται δηλαδή στην παρούσα μελέτη είναι, να διερευνηθεί εάν το οξυγόνο μπορεί να διέλθει μέσα από έναν μαλακό φακό επαφής στον κερατοειδή χιτώνα του οφθαλμού και σε τί ποσοστό, ώστε να καθίσταται δυνατή η επαρκής οξυγόνωσή του. Παράλληλα θα αναφερθούν νέα προηγμένα υλικά φακών επαφής που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον και να συμβάλλουν όχι μόνο στην αντιμετώπιση των αμετροπιών και της πρεσβυωπίας, αλλά και σε παθολογικές καταστάσεις όπως ο κερατόκωνος, καθώς και σε περιπτώσεις παθήσεων του ανθρώπινου οργανισμού που συνδέονται με το μάτι, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης.

Για τον σκοπό αυτό η παρούσα μελέτη πρόκειται να διαχωριστεί σε πέντε κεφάλαια στα οποία θα περιλαμβάνονται συγκεκριμένα γραφήματα, πίνακες και εικόνες, σε σημεία του κειμένου στα οποία θα παρουσιάζονται δεδομένα που περιγράφονται αναλυτικά και με σαφήνεια. Αυτό, για να μπορέσει ο αναγνώστης με την παρατήρηση να κατανοήσει πλήρως βασικές έννοιες εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα, αφού δίχως αυτά τα 'εργαλεία' δεν θα είχε τη δυνατότητα να παρακολουθήσει την ροή του κειμένου και άρα να συνεχίσει την ανάγνωση.

Η συγκεκριμένη εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο των φακών επαφής και ειδικότερα στα υλικά των φακών και του τρόπου κατασκευής τους βάσει συγκεκριμένων μεθόδων κατασκευής σε συνάρτηση πάντα με την καλύτερη δυνατή φυσιολογία του οφθαλμού του εκάστοτε ασθενή. Αυτές είναι οι βάσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται και βρίσκει εφαρμογή η παρούσα μελέτη, καθώς για να διαπιστωθεί εάν επαρκεί ή όχι το οξυγόνο προκειμένου να διαπεράσει τον κερατοειδή και σε τί ποσοστό, δεν φθάνει μόνο η ύπαρξη της διαπερατότητας. Αυτό, επειδή δεν παρουσιάζουν όλα τα υλικά των φακών τις ίδιες δυνατότητες και αναλογίες σε διαπερατότητα οξυγόνου, αφού υπάρχουν υλικά που επιτρέπουν την περατότητα και άρα και την μεταβιβαστικότητα οξυγόνου σε μεγαλύτερα ή μικρότερα ποσοστά και άλλα που δεν παρέχουν καθόλου αυτήν την δυνατότητα.

Επίσης, κάθε τύπος φακού που χορηγείται στον ασθενή με βάση την ιδιαιτερότητα που παρουσιάζουν τα μάτια του, κατασκευάζεται βάσει συγκεκριμένου τρόπου κατασκευής ώστε το σχήμα που θα προσδώσει στον φακό η αντίστοιχη μέθοδος, να μπορέσει να βρει εφαρμογή στην πρόσθια επιφάνεια του οφθαλμού. Με άλλα λόγια, να μπορεί ο φακός για παράδειγμα να καταστεί άνετος, δηλαδή να μην σφίγγει το μάτι, όντας σε καλή εφαρμογή ώστε να διαπερνάται μέσω του υλικού του το οξυγόνο στον κερατοειδή. Επίσης, θα πρέπει να καλύπτει τον κερατοειδή περιμετρικά και με συμμετρία, δηλαδή το σχήμα του να είναι συνεχές και να μην μεταβάλλεται, έχοντας παράλληλα την ανάλογη λείανση, ώστε να αποφευχθεί τυχόν γδάρισμα της κερατοειδικής επιφάνειας.

Για να μπορέσουν όμως αυτές οι ανάγκες να καλυφθούν, θα πρέπει να καταστεί υπαρκτή και είναι υποχρέωση του Οπτικού – Οπτομέτρη να γίνει αυτό, η καλή φυσιολογία του οφθαλμού του ασθενή, καθώς και η μεταγενέστερη διατήρηση της καλής υγείας του ματιού. Κάτι το οποίο είναι σημαντικό ώστε να μπορεί ο χρήστης να απολαμβάνει τα οφέλη από την σωστή και συστηματική χρήση των φακών του, δίχως να υπάρξει πιθανή επιπλοκή ή παρενέργεια από την εφαρμογή τους στο μέλλον.

Η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά στην διαμόρφωση από τους επιστήμονες του κλάδου μιας πιο ολοκληρωμένης άποψης καθώς και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων πάνω σε έννοιες και δεδομένα που συνδυάζονται και εξαρτώνται πολλές φορές μεταξύ τους. Και αυτό είναι σημαντικό ώστε να μπορούν οι επιστήμονες του κλάδου της Οπτικής – Οπτομετρίας να προσφέρουν με περισσότερη ασφάλεια και σιγουριά της υπηρεσίες τους στον εν λόγω τομέα που πραγματεύεται αυτή η εργασία. Και αυτό καθίσταται εφικτό, αφού θα έχουν την δυνατότητα να συνδυάσουν και να επικαλύψουν τις ήδη κερτημένες γνώσεις τους, συμπληρώνοντας έτσι και την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία της επιστήμης γενικότερα.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε το εν λόγω θέμα προς ανάλυση και μελέτη, ήταν ότι η εργασία πραγματεύεται συγκεκριμένο κομμάτι της επιστήμης που κρίνεται άκρως ενδιαφέρον και χρήσιμο για την μετέπειτα επαγγελματική μου σταδιοδρομία. Επίσης, είναι ένα θέμα που δεν θίγεται συχνά στους χώρους διδασκαλίας. Και τέλος, η βιβλιογραφία φακών επαφής σε συνδυασμό με την διεθνή αρθρογραφία είναι πλούσια, επαρκής, καθώς και εν μέρει περίτεχνη. Αυτό, γιατί συνδυάζει και εξαρτά δεδομένα και στοιχεία μεταξύ τους τα οποία δίνουν κάθε φορά

ξεχωριστή σημασία και ενδιαφέρον τόσο για την έναρξη όσο και για την συνέχεια και την ροή της συγγραφής. Άρα αποτελούν ένα επιπλέον κίνητρο για αυτόν τον σκοπό.

ΟΡΙΣΜΟΙ

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί βασικών όρων που θα αναφερθούν και θα αναλυθούν στην εργασία, για την καλύτερη κατανόησή τους από τον αναγνώστη, ώστε να μπορέσει να συνεχίσει απρόσκοπτα την ροή της μελέτης.

Κερατοειδικός φακός επαφής: φακός που εφαρμόζεται και καλύπτει όλη την έκταση του κερατοειδή.

Άκαμπτοι ή σκληροί αεροδιαπερατοί φακοί επαφής: πολυμερή υλικά διαπερατά από οξυγόνο αλλά ταυτόχρονα άκαμπτα, δεν μεταβάλλεται δηλαδή το σχήμα τους.

Πολυμερές υλικό: υλικό φακού επαφής που σχηματίζεται με συνένωση απλών χημικών ενώσεων, που καλούνται μονομερή.

Υδρόφιλο υλικό: υλικό φακού επαφής φιλικό με το νερό, δηλαδή υλικό που επιτρέπει την επαφή με το νερό σε όλη του την επιφάνεια.

Υδρόφοβο υλικό: υλικό φακού επαφής που δεν επιτρέπει στο νερό να έρθει σε επαφή μαζί του.

Φακός υδρογέλης: τύπος φακού από θερμοπλαστικό υδρόφιλο υλικό το οποίο μπορεί να απορροφήσει και να διατηρήσει νερό.

Φακός σιλικόνης/γόμα σιλικόνης: τύπος φακού από υλικό που δεν είναι υδρόφιλο και άρα δεν απορροφά νερό, έχει όμως εξαιρετική μεταδοτικότητα σε οξυγόνο, ιδιότητα που δεν παρέχουν οι φακοί τύπου υδρογέλης.

Φακός υδρογέλης σιλικόνης : τύπος φακού που συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των υλικών υδρογέλης και σιλικόνης αντίστοιχα. Δηλαδή υδροφιλία και άρα απορροφητικότητα σε νερό (υδρογέλη) και μεταδοτικότητα, άρα και διαπερατότητα σε οξυγόνο (σιλικόνη).

Ικανότητα διαβροχής: η ικανότητα του νερού να διασπείρεται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια ενός υλικού φακού επαφής.

Ιονικό υλικό: υλικό φακού επαφής με στοιχεία με ηλεκτρική φόρτιση, δηλαδή παρουσία ηλεκτρονίων.

Μη ιονικό υλικό: υλικό φακού επαφής με ελάχιστα στοιχεία ηλεκτρικής φόρτισης, δηλαδή πολύ μικρής παρουσίας ηλεκτρονίων.

Διαπερατότητα οξυγόνου: φυσική ιδιότητα υλικού φακού, που εκφράζει το ποσό οξυγόνου που διαπερνά ένα υλικό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και διαφορά πίεσης. Μονάδα μέτρησης είναι το 1Barrer.

Μεταβιβαστικότητα οξυγόνου: ιδιότητα φακού επαφής συγκεκριμένου πάχους που εκφράζει το ποσό οξυγόνου που το διαπερνά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και διαφορά πίεσης. Μονάδα μέτρησης είναι το 1Barrer/cm.

Σκοπός της εργασίας είναι η κατανόηση των εξελίξεων στον τομέα της διαπερατότητας σε οξυγόνο των μαλακών φακών επαφής και η επίδρασή του στο μάτι.

ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ

1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1. Η ΑΦΕΤΗΡΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ ΓΕΝΙΚΑ - ΑΠΟ ΤΟ 1950 ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ

Η αρχή έγινε λίγο νωρίτερα¹ όταν το 1948 ο Kevin M. Tuohy σε συνεργασία με τον Solon Braff, κατασκεύαζε έναν σκληρικό φακό επαφής από υλικό PMMA. Αυτός ήταν ο πρώτος τύπος φακού που εμφανίστηκε στο προσκήνιο εκείνη την περίοδο και την ονομασία του την οφείλει στην ιδιότητά του να εφαρμόζεται σε όλη την πρόσθια επιφάνεια του οφθαλμού και συγκεκριμένα στον σκληρό χιτώνα. Το PMMA ή Plexiglasόπως ονομάζεται το πολυ-μεθ-ακρυλικό μεθύλιο, ήταν το πλαστικό υλικό που αντικατέστησε το γυαλί. Το γυαλί ήταν το πρώτο υλικό κατασκευής φακών επαφής που χρησιμοποιούνταν έως το 1930. Από το PMMA κατασκευάζονταν τα κάνιστρα στα αεροσκάφη.

Διαπιστώθηκε όμως τυχαία ότι το PMMA δεν προκαλούσε ανοσολογική αντίδραση στους οφθαλμούς των πιλότων των αεροσκαφών και έτσι αποτέλεσε την απαρχή της δημιουργίας των ενδοφακών –που αποτελεί βασικό μέχρι και σήμερα υλικό κατασκευής τους- αλλά και των φακών επαφής. Οι ενδοφακοί είναι υβριδικοί τεχνητοί φακοί αντικατάστασης του φακού των ματιών, του στοιχείου δηλαδή που σε συνδυασμό με τον κερατοειδή χιτώνα επιτρέπει την διάθλαση του φωτός και άρα την είσοδό του στο μάτι.

Όμως ο φακός αυτός έσπασε και ο Tuohy αποφάσισε να λειάνει ένα μικρό κομμάτι του φακού που απέμεινε και που είχε διάμετρο 10mm. Αυτό είχε ως συνέπεια ο φακός αυτός να αποδίδει καλύτερα σε σχέση με πριν. Έτσι έγινε το πέρασμα από τους σκληρικούς στους κερατοειδικούς φακούς επαφής, δηλαδή αυτούς που η εφαρμογή τους γινόταν στο κερατοειδή χιτώνα του οφθαλμού. Την ίδια χρονιά ο Heinrich Wohlk είχε ήδη ξεκινήσει να σχεδιάζει κερατοειδικούς φακούς.

Οι φακοί αυτοί όπως είναι κατανοητό είναι μικρότεροι σε μέγεθος από τους σκληρικούς καθώς εφαρμόζονται μόνο στην επιφάνεια του κερατοειδή και με

¹Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α'. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ. 1.9.

διάρκεια άνω των δεκαέξι ωρών ημερησίως. Επίσης, είναι ελαφρότεροι και αυτή την ιδιότητά τους την οφείλουν στο ότι η διάμετρός τους είναι ελαφρώς μικρότεροι από την διάμετρο του κερατοειδή. Όμως το κύριο πλεονέκτημα που τους χαρακτηρίζει είναι ότι επιτρέπουν την διαβροχή από τα δάκρυα στην οπίσθια επιφάνειά τους, δηλαδή μεταξύ φακού επαφής και κερατοειδή.

Στην συνέχεια η εταιρεία MicroLens κατασκεύασε έναν πλαστικό κερατοειδικό φακό που είχε διάμετρο 9.5mm με παραλλαγές στην ακτίνα καμπυλότητας. Το παράδειγμά της ακολούθησε το 1950 ο Οπτομέτρης George Butterfield σχεδιάζοντας έναν πλαστικό φακό επαφής με πολλαπλές ακτίνες καμπυλότητας στο εσωτερικό του. Ο σχεδιασμός των φακών αυτών ήταν συναφής με το σχήμα του ματιού προσφέροντας μάλιστα καλύτερη εφαρμογή και άνεση.

Έτσι φθάνουμε στην κατασκευή του πρώτου φακού PMMA διαμέτρου 9.2mm. Την επιτυχία της εφαρμογής του, την πιστώνεται η εταιρεία Wesley Jessen VisionCare, όπου τμήμα της κατέχει η ευρέως διαδεδομένη σήμερα εταιρεία κατασκευής φακών της CIBA Vision. Ο σχεδιαστής αυτού του φακού ήταν ο Newton Wesley στα μέσα του 1950.

Ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματα των φακών από PMMA, δηλαδή των σκληρών φακών, είναι ότι δεν επιτρέπουν στο οξυγόνο να τους διαπεράσει ώστε να φθάσει στον επιπεφυκότα και τον κερατοειδή. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιούταν από τις εταιρείες κατασκευής φακών ως υλικό το CAB, όπου στην ορολογία της χημείας σημαίνει κυτταρικό άλας βουτυρικού οξέος. Το υλικό αυτό είχε την δυνατότητα να επιτρέπει μία μικρή μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο, με την διαφορά όμως ότι δεν παρείχε κατάλληλες οπτικές και μηχανικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, αποσύρθηκε από την αγορά φακών επαφής καθώς δεν συνάντησε αξιόλογη εμπορική επιτυχία.

Προκειμένου λοιπόν να λυθεί το πρόβλημα των οπτικών και μηχανικών ιδιαιτεροτήτων, δημιουργήθηκε μια γκάμα πολυμερών υλικών που επέτρεπε μεγαλύτερη διαπερατότητα σε οξυγόνο, ενώ παράλληλα διέθετε ακαμψία. Ο όρος 'άκαμπτος φακός' σημαίνει πως η επιφάνεια του φακού επαφής δεν είναι ελαστική, δηλαδή δεν δύναται να συμπιεστεί και άρα να μεταβληθεί το σχήμα της. Για τον λόγο αυτό τα υλικά αυτά καλούνται άκαμπτα ή σκληρά αεροδιαπερατά (Rigid Gas Permeable ή RGP). Αυτή η αύξηση στην διαπερατότητα οξυγόνου του φακού οφείλεται στην διασταύρωση του MMA

υλικού με την γόμα σιλικόνης που όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια, πρόκειται για υλικό μαλακών φακών επαφής.

Ενώ λοιπόν αυτοί οι τύποι φακών επαφής, δηλαδή οι σκληρικοί, οι PMMA και οι RGP, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως σκληροί φακοί (rigid), ο όρος σκληρός συναντάται μόνο στην αρχική γκάμα φακών με υλικό το PMMA. Οι φακοί αυτοί βρίσκουν συχνά εφαρμογή και σήμερα λόγω της ακαμψίας που διαθέτουν. Έτσι οι RGP φακοί ονομάζονται σκληροί αεροδιαπερατοί. Ένας άλλος όρος, δηλαδή ο όρος ‘ημίσκληρος’ που χρησιμοποιήθηκε για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για τους φακούς από CAB, τελικά αποδίδεται σήμερα ανεπίσημα για τους σκληρούς αεροδιαπερατούς. Δηλαδή οι RGP φακοί επαφής ονομάζονται σκληροί αεροδιαπερατοί φακοί ή ημίσκληροι.

Ωστόσο υπάρχει μια σύγχυση σχετικά με την χρήση του όρου ‘αεροδιαπερατός’, καθώς ο όρος αυτός μπορεί να αποδοθεί και στους μαλακούς φακούς επαφής. Ο λόγος που υπάρχει αυτή η ασάφεια, είναι ότι όπως θα αναφερθεί παρακάτω, η διαπερατότητα σε οξυγόνο επιτρέπεται και από τους μαλακούς φακούς επαφής. Παρά ταύτα, την ονομασία αυτή την διατηρούν σήμερα μόνο οι φακοί RGP και όχι οι μαλακοί, καθώς οι τελευταίοι πραγματοποίησαν την εμφάνισή τους αρκετά αργότερα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί και ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα των σκληρών (PMMA) όσο και των σκληρών αεροδιαπερατών φακών (RGP). Το μειονέκτημα είναι ότι οι φακοί αυτοί προκαλούν την μειωμένη άνεση του χρήστη. Και αυτό διότι κατά τον βλεφαρισμό, δηλαδή το ανοιγόκλεισμα των ματιών, τα βλέφαρα ακουμπούν πάνω στο συμπαγές υλικό του φακού. Με άλλα λόγια, τα χαρακτηριστικά της πυκνότητας της μάζας του υλικού του φακού, σε συνδυασμό με αυτό της σκληρότητας, είναι οι λόγοι που εμποδίζουν το φυσιολογικό ανοιγόκλεισμα των ματιών προκαλώντας την δυσανεξία του χρήστη.

1.2. ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΣΤΟΥΣ ΜΑΛΑΚΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ ΕΠΑΦΗΣ

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα, διατυπώθηκε η σκέψη της δημιουργίας ενός συμπολυμερούς του MMA υλικού με άλλα πολυμερή, που θα ήταν ικανό όντας ενωμένο με το νερό να απορροφήσει και να κρατήσει οξυγόνο σε όλη την έκταση της επιφάνειάς του. Ο όρος ‘συμπολυμερές’ αποδίδεται στο υλικό εκείνο όπου για την δημιουργία του χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός ή δύο μονομερή, ως αποτέλεσμα δηλαδή της χημικής ένωσης απλών χημικών ουσιών.

Το εγχείρημα αυτό² ανέλαβαν οι χημικοί Otto Wichterle και Drahoslav Lim το 1952. Έτσι εμφανίστηκαν στο προσκήνιο τα θερμοπλαστικά υδρόφιλα υλικά υδρογέλης. Ο όρος 'υδροφιλία' σημαίνει ότι αυτό το νέο είδος υλικού είναι φιλικό με το νερό. Ως εκ τούτου, μπορεί να απορροφήσει και να διατηρήσει νερό διάσπαρτο στο εσωτερικό της επιφάνειάς του.

Η κατασκευή των πρώτων μαλακών φακών επαφής ξεκίνησε όταν ο Wichterle δημιούργησε μία πρωτόγονη -για τα δεδομένα εκείνης της εποχής- διάταξη περιστροφής ή φυγοκέντρωσης όπως ονομάζεται διαφορετικά. Η διάταξη αυτή προήλθε όταν ο Τσέχος χημικός το 1961 αυτοσχεδίασε και χρησιμοποίησε ως πρώτη ύλη για την δημιουργία της, ανταλλακτικά από ένα παιδικό ποδήλατο και ένα φωνογράφο.

Έτσι δόθηκε η λύση στο πρόβλημα της μειωμένης άνεσης που είχε προκύψει από την έως τώρα χρήση των σκληρών και άκαμπτων σκληρών αεροδιαπερατών φακών επαφής. Δηλαδή, η νέα γενιά των μαλακών φακών επαφής άρχισε σιγά σιγά να αποκαθιστά την ελαττωμένη άνεση των ανωτέρω έως τώρα φακών. Και όπως ήταν φυσικό, άρχισε να γίνεται δημοφιλής από την χρήση της στην αγορά φακών επαφής.

Εδώ, πρέπει να τονιστεί ότι όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία των φακών επαφής³, οι υδρόφιλοι ή μαλακοί φακοί, κατατάσσονται ανάλογα με την περιεκτικότητα /ποσότητα σε νερό, σε φακούς χαμηλής, μέσης και υψηλής περιεκτικότητας νερού (watercontent). Έτσι, οι φακοί χαμηλής περιεκτικότητας σε νερό, μπορεί να περιέχουν νερό σε ποσοστό έως 45% αναλογικά με το βάρος τους. Οι φακοί μέσης περιεκτικότητας σε νερό σε ποσοστό περίπου 45-55%, ενώ οι φακοί υψηλής περιεκτικότητας σε νερό άνω του 55%.

Όμως δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι υπάρχουν φακοί που διαθέτουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό. Ένα παράδειγμα αποτελεί ο φακός Naturalens της Καναδικής εταιρείας Griffin Contact LensLab. Αυτός ο φακός ήταν από τους πρώτους με περιεκτικότητα νερού της τάξεως του 60% περίπου.

Η αξία της περιεκτικότητας σε νερό κρίνεται δυνητικά σημαντική, καθώς μέσω αυτής εξασφαλίζεται η επαρκής οξυγόνωση του κερατοειδή. Και αυτό διότι

²Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α'. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ. 1.12/1.13.

³Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α'. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ. 1.12/1.13.

μόνο έτσι μπορεί να αποφευχθούν τα όποια συμπτώματα υποξίας. Δηλαδή συμπτώματα που προκαλούνται από την μειωμένη οξυγόνωση του κερατοειδή.

Η δυνατότητα της οξυγόνωσης του κερατοειδή και της επιφάνειας του οφθαλμού γενικότερα, μπορεί να εξασφαλιστεί είτε απευθείας από το υλικό του φακού είτε μέσω του βλεφαρισμού του ματιού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υλοποίησης αυτής της παραμέτρου, αποτελεί ο φακός Permalens της εταιρείας Global Contactlenses που επέτρεπε μεγαλύτερες περιόδους διαρκούς χρήσης.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι οι μαλακοί φακοί δεν προσέφεραν σε πρώτη φάση την διαπερατότητα σε οξυγόνο που παρείχαν οι σκληροί αεροδιαπερατοί φακοί επαφής. Παρ'όλα αυτά, κέρδισαν την αξιοπιστία στην χρήση τους τόσο από τους ειδικούς όσο και από το κοινό. Αυτό συνέβη λόγω της αυξημένης άνεσης που παρέχουν, όντας και πιο λεπτοί σε σχέση με τους προηγούμενους. Μάλιστα, η αεροδιαπερατότητα βελτιώθηκε σταδιακά περαιτέρω.

Έτσι λοιπόν στην δεκαετία του 1970 οι μαλακοί φακοί επαφής μαζί με το υλικό polyaconτης εταιρείας Soflens απόκτησαν την έγκριση του οργανισμού τροφίμων και φαρμάκων (Food and Drug Administration ή FDA).

Η υδρογέλη που όπως είπαμε ήταν το πρώτο υλικό μαλακών φακών επαφής, χρησιμοποιήθηκε για 30 περίπου χρόνια, όντας και το μοναδικό ως πρώτη ύλη επιλογής για την κατασκευή φακών επαφής. Και αυτό γιατί στην συνέχεια εμφανίστηκε η γόμα σιλικόνης (silicon rubber) ως υποψήφιος αντικαταστάτης της υδρογέλης.

Το υλικό αυτό διέθετε όλες τις προδιαγραφές ως εναλλακτική λύση για την κατασκευή φακών, δηλαδή διαφάνεια, ελαφρότητα, συμβατότητα, άριστη μεταδοτικότητα οξυγόνου, παρέχοντας εξαιρετικές οπτικές δυνατότητες.

Όμως είχε δύο μειονεκτήματα που δεν επέτρεψαν την χρήση τους ως υλικό κατασκευής φακών και τελικά απερρίφθη. Το πρώτο, ότι δεν ήταν υδρόφιλο, άρα δεν ήταν εφικτό να απορροφήσει νερό και να το διατηρήσει διάχυτο στην επιφάνειά του. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην προσφέρει άνεση στον χρήστη.

Το δεύτερο μειονέκτημα έγκειται στο ότι ήταν πολύ ελαστικό, δηλαδή ευμετάβλητο, με αποτέλεσμα να μην καθίσταται δυνατή η κατεργασία του

στον τόννο. Ο τόννος είναι εργαλείο κοπής που χρησιμεύει στην κατασκευή φακών επαφής και θα μελετηθεί διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Έτσι εμφανίστηκε στο στερέωμα των φακών επαφής ένα καινοτόμο υλικό κατασκευής μαλακών φακών. Ο λόγος είναι για τη σιλικόνη-υδρογέλη που προέκυψε από την ανάμιξη των συστατικών του υλικού HEMA(μονομερές) με την σιλικόνη. Οι φακοί αυτοί παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα τόσο της σιλικόνης, δηλαδή την διαπερατότητα σε οξυγόνο, όσο και της υδρογέλης, δηλαδή την άνεση και την κλινική απόδοση.

Σταδιακά λοιπόν φθάσαμε στα υλικά των φακών σιλικόνης-υδρογέλης δεύτερης και τρίτης γενιάς. Ένα παράδειγμα δεύτερης γενιάς υλικού φακών είναι το Menicon που χρησιμοποιείται στον φακό galyfilconA της εταιρείας Acunue Advance και senofilcon A της εταιρείας Acunue Oasys.

Αντίστοιχα, η τρίτη γενιά φακών έκανε την εμφάνισή της με το πολυμερές υλικό ComfilconA από το οποίο κατασκευάστηκε ο φακός Biofinity της Cooper Vision. Ένα ακόμα υλικό τρίτης γενιάς είναι το EnfilconA που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την κατασκευή του φακού Anaira της εταιρείας Cooper Vision. Αξίζει να αναφερθεί, πως το νέο αυτό υλικό διαθέτει περιεκτικότητα σε νερό που φθάνει το 46%.

1.3. ΥΛΙΚΑ ΜΑΛΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ- ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΚΡΙΝΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ΣΤΟ ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΠΑΡΟΝ

Ιστορικά , τα υλικά των σύγχρονων φακών επαφής, τόσο των υδρόφιλων όσο και των σκληρών αεροδιαπερατών, οφείλουν την προέλευσή τους στα δύο κύρια υλικά φακών επαφής. Δηλαδή στο MMA ή μεθυλ-μεθακρυλικό (Methyl-MethAcrylate) υλικό, ονομασία που προκύπτει από την ορολογία της χημείας και στην γόμα σιλικόνης(siliconrubber ή siliconelastomer). Για το πρώτο, να σημειωθεί, ότι από τον πολυμερισμό του MMAυλικού προήλθε το υλικόPMMA.

Τα πλεονεκτήματά του συνίστανται στην καλή μηχανική αντοχή, στην καλή ικανότητα διαβροχής της επιφάνειάς του και στην δυνατότητα της εύκολης επεξεργασίας και της απολύμανσης. Το μόνο μειονέκτημα που εμφανίζει ως υλικό κατασκευής φακών, είναι ότι δεν επιτρέπει την περατότητα σε οξυγόνο στο εσωτερικό της επιφάνειάς του.

Για την γόμα σιλικόνης ως δεύτερο υλικό κατασκευής φακών, να σημειωθεί, ότι παρουσιάζει τα αντίθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα από εκείνα του PMMA. Είναι δηλαδή ελαστικό υδρόφοβο υλικό, άρα δεν επιτρέπει την απορρόφηση και διατήρηση νερού στο εσωτερικό του, απουσία υδροφιλίας. Τέλος, είναι ιδιαίτερα διαπερατό από το οξυγόνο και μάλιστα σε επίπεδο μεγαλύτερο από οποιοδήποτε άλλο υλικό φακών επαφής.

Εν κατακλείδι, οι φακοί επαφής διακρίνονται σε σκληρούς και μαλακούς, έχοντας ως βασικό κριτήριο το υλικό τους. Οι πρώτοι, χωρίζονται σε συμβατικούς σκληρούς (φακούς από PMMA), σε σκληρικούς και σε σκληρούς αεροδιαπερατούς φακούς (από RGP υλικά).

Οι μαλακοί φακοί διακρίνονται σε φακούς υδρογέλης, σιλικόνης και σιλικόνης-υδρογέλης. Από αυτούς υδρόφιλοι είναι μόνο οι φακοί επαφής υδρογέλης και σιλικόνης-υδρογέλης.

Ωστόσο, κάθε ένα από αυτά τα υλικά, μπορούν να χαρακτηριστούν και διαφορετικά. Έτσι, η υδρογέλη μπορεί να ονομαστεί και συμβατικό υλικό, η σιλικόνη ελαστικό και η σιλικόνη-υδρογέλη επαναστατικό υλικό αντίστοιχα. Οι φακοί αυτοί λέγονται μαλακοί (soft) επειδή όταν εφαρμόζονται στο μάτι, παίρνουν το σχήμα του κερατοειδή στον οποίο και ακουμπούν. Για τον λόγο αυτό ονομάζονται και κερατοειδικοί. Αντίθετα, οι σκληροί φακοί εφαρμόζονται στον σκληρό χιτώνα του οφθαλμού, στον οποίο και οφείλουν το όνομά τους.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μαλακών φακών είναι ότι διαθέτουν 'καλή μνήμη'. Αυτό σημαίνει, ότι αν τυλιχθούν ή μεταβληθεί το σχήμα τους από μηχανικά αίτια, όπως η ελαστικότητα, το σχήμα τους μπορεί να αποκτήσει και πάλι την αρχική του μορφή. Και αυτό, υπό την προϋπόθεση ότι θα σταματήσει η επίδραση της ξένης δύναμης. Άρα δεν υπάρχει κανένας φόβος να μεταβληθούν οι μηχανικές, βιολογικές και οπτικές του ιδιότητες, αφού μπορεί άνετα να αντιστραφεί και να επιστρέψει στην κανονική πλευρά του.

1.3.1. ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΥΔΡΟΓΕΛΗΣ

Το συμβατικό αυτό υλικό έχει την γενική ονομασία υδρογέλη (hydrogel), με πρώτο το πολυμερές υλικό του HEMA (HydroxyEthylMethAcrylate). Αν το υλικό αυτό συμπολυμεριστεί με άλλα υλικά, η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να αγγίξει το 70%. Ωστόσο, στην απλή μορφή του, η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να φθάσει σε ποσοστό 38% περίπου.

Πρέπει να τονιστεί εδώ, πως με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό, μπορεί να μειωθεί τόσο η μηχανική αντοχή, όσο και η αντίσταση στις εναποθέσεις. Αυτό συνεπάγεται αυτόματα την μείωση του χρόνου ζωής του φακού επαφής.

Επίσης, σύμφωνα με την βιβλιογραφία⁴, η υδρογέλη στην απλή μορφή της, καθώς χρησιμοποιείται για την κατασκευή του φακού, δεν είναι ούτε υγρή ούτε μαλακή. Αντίθετα, είναι ξηρή και σκληρή, ενώ τα χαρακτηριστικά του μαλακού και μάλιστα ενυδατωμένου φακού, αποκτώνται από τον φακό στην τελική φάση της κατασκευής του.

Η ενυδάτωση (hydration) είναι η διαδικασία κατά την οποία ο φακός προσλαμβάνει νερό παρέχοντας την άνεση που χρειάζεται ο χρήστης. Αυτός είναι και ο μόνος τρόπος αποφυγής πιθανών καταστάσεων δυσανεξίας, κατά την διάρκεια που ο χρήστης φορά τους φακούς του.

1.3.2. ΤΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φακού καθαρής σιλικόνης αποτελεί ο φακός Silsoft της Bausch&Lomb. Ο φακός αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για παιδιατρική ή αφακική χρήση. Με άλλα λόγια, εφαρμόζεται κυρίως σε παιδιά που αντιμετωπίζουν κάποια κλινική ιδιαιτερότητα αλλά και σε άτομα που γεννήθηκαν χωρίς το στοιχείο του οφθαλμού που λέγεται φακός. Παρά το γεγονός ότι η διαπερατότητα σε οξυγόνο των φακών αυτών είναι μεγαλύτερη από εκείνη άλλων, στην πραγματικότητα δεν συνάντησαν ποτέ αξιόλογη αποδοχή και μεγάλη αξιοπιστία.

Οι λόγοι που οδήγησαν την σιλικόνη στην απομάκρυνσή της από την αγορά φακών επαφής είναι τα μειονεκτήματά της. Το πρώτο είναι η μεγάλη ακαμψία που εμφανίζει, παρά το ότι πρόκειται για υλικό μαλακού φακού. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι η έντονη τάση που παρατηρείται στην συγκέντρωση εναποθέσεων. Τέλος, ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί η κακή διαβροχή του φακού από τα δάκρυα, η οποία λειτουργεί ως παράγοντας μειωμένης ενυδάτωσής του. Αυτό έχει ως συνέπεια ο φακός να γίνεται σκληρός με αποτέλεσμα να προσκολλάται έντονα στο μάτι μετά από λίγες ημέρες χρήσης.

⁴Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α'. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ.5.5

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα της μεγάλης διαπερατότητας σε οξυγόνο που εμφανίζει ο φακός, σε συνδυασμό με το ότι δεν αφυδατώνεται, αφού δεν περιέχει νερό, ξεχωρίζουν από τα μειονεκτήματα και υπερτερούν από αυτά.

1.3.3. ΤΟ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ-ΥΔΡΟΓΕΛΗΣ

Οι φακοί αυτοί λέγονται επαναστατικοί, επειδή σταμάτησαν την ανάγκη για αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό που παρείχε καλή διαπερατότητα σε οξυγόνο. Αυτό, γιατί το οξυγόνο μπορούσε να διέλθει μέσα από την σιλικόνη, με αποτέλεσμα να παρέχεται και μεγάλη μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο. Μάλιστα, αυτή η μεταβιβαστικότητα η οποία ήταν άγνωστη για μαλακούς φακούς, ήταν παρόμοια με αυτήν των σκληρών αεροδιαπερατών φακών.

Ο φακός Night&Day ήταν ο πρώτος από τους πιο δημοφιλείς φακούς επαφής που πήρε άδεια χρήσης από το FDA για 30 συνεχείς ημέρες με εφαρμογή ακόμα και την νύχτα. Όμως ήταν δύσκαμπτος εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού σιλικόνης και του μικρού ποσοστού νερού στην επιφάνειά του. Αυτό συνέβαινε, επειδή ο φακός αυτός διέθετε μικρή ποσότητα νερού και μεγάλη σε σιλικόνη, προκειμένου να αυξηθεί η διαπερατότητα σε οξυγόνο.

Αντίθετα, οι φακοί Purevision και Advance ήταν πιο ελαστικοί αφού διέθεταν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό και λιγότερη σε σιλικόνη, μειώνοντας την διαπερατότητα σε οξυγόνο. Ωστόσο, υπήρξαν και υλικά που συνδύασαν επιτυχώς την διαπερατότητα σε οξυγόνο της σιλικόνης με την άνεση των φακών υδροφιλίας.

Τα τελευταία χρόνια, δημιουργήθηκε μια νέα γενιά υλικών σιλικόνης-υδρογέλης που μπορούν να κατασκευαστούν σε τόρνο (machine bled materials), σε αντίθεση με εκείνα που σχεδιάζονταν σε καλούπια. Με αυτόν τον τρόπο, δόθηκε η δυνατότητα να δημιουργηθούν ειδικές σχεδιάσεις φακών από υλικά σιλικόνης-υδρογέλης, όπως οι φακοί για την αντιμετώπιση του κερατόκωνου.

1.4. ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΑΛΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

Το πλεονέκτημα που κάνει τους μαλακούς φακούς επαφής να ξεχωρίζουν έναντι των αεροδιαπερατών είναι η αρχική άνεση κατά την εφαρμογή τους. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτήν την διαφοροποίηση είναι η μεγάλη διάμετρος, τα λεπτά άκρα, η περιορισμένη κινητικότητα του φακού στο μάτι και η μειωμένη αντίσταση κατά τον βλεφαρισμό.

Αυτό, δίνει την δυνατότητα χρήσης τους από περιστασιακούς χρήστες, έναντι των αεροδιαπερατών φακών, αφού αυτοί απαιτούν μεγαλύτερη περίοδο προσαρμογής κατά την ένδυσή τους. Παράλληλα, ο εφαρμοστής ικανοποιείται από τον περιορισμένο χρόνο παραμονής του πελάτη στο κατάστημά του, ενώ του δίνεται και η δυνατότητα συνταγογράφησης νέων υλικών φακών επαφής, με εύχρηστο πρόγραμμα χρήσης.

Συνεπώς, οι φακοί αυτοί είναι ιδανικοί για τους περιστασιακούς χρήστες, καθώς επίσης και για άτομα που επιθυμούν να αλλάζουν τακτικά το χρώμα των ματιών τους. Ταυτόχρονα, η μικρή κινητικότητα του φακού στο μάτι, σε αντίθεση με αυτή των αεροδιαπερατών, συνεισφέρει και σε πιο σταθερή όραση μηδενικό επίσης αίσθημα ξένου σώματος σε αυτό. Τέλος, το σπάνιο ενδεχόμενο οι φακοί αυτοί να χαθούν στο πίσω μέρος του ματιού, δίνει την δυνατότητα της εφαρμογής τους σε αθλητές και γενικά σε άτομα που ασχολούνται με δυναμικά αθλήματα. Δηλαδή αθλήματα που απαιτούν αυξημένη ετοιμότητα προς εγρήγορση.

1.4.1 ΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΑΛΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

Το βασικό μειονέκτημα των φακών αυτών έχει να κάνει με την οπτική διόρθωση, καθώς παρατηρείται μειωμένη διόρθωση της κερατοειδικής ασυμμετρίας. Η ασυμμετρία αυτή έχει να κάνει κυρίως με την ύπαρξη κερατόκωνου και γενικά με περιπτώσεις που την καθιστούν έντονη. Οι φακοί που μπορούν να διορθώσουν την ασυμμετρία που οφείλεται σε περιστατικό εμφάνιση κερατόκωνου είναι οι φακοί RGP. Η αιτιολόγηση είναι ότι ο φακός δακρύων κάτω από τον φακό επαφής, εξουδετερώνει οπτικά την κερατοειδική ασυμμετρία.

Επιπλέον, ενώ η διαβροχή των φακών αυτών καθιστά την επιφάνειά τους πιο υγρή σε αντιδιαστολή με εκείνη των αεροδιαπερατών, έχει ως αποτέλεσμα εκτός από την άνεση της εφαρμογής τους, να συγκρατούν εναποθέσεις. Οι εναποθέσεις μπορεί να είναι βακτήρια, λίπη και πρωτεΐνες εφόσον προέρχονται από τα δάκρυα που ενυδατώνουν τον φακό. Μπορεί όμως και να βρίσκονται σε αυτόν υπό την μορφή σκόνης και γενικά μικροσκοπικών σωματιδίων προερχόμενα από την ατμόσφαιρα.

Ο λόγος αυτός, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι υδρόφιλοι φακοί είναι πιο εύθραυστοι από τους σκληρούς αεροδιαπερατούς, δημιουργεί την απαραίτητη

ανάγκη για συχνότερη αντικατάσταση των πρώτων. Αυτό σημαίνει ότι οι RGP φακοί έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, δηλαδή μπορούν να διαρκέσουν έως και δύο έτη με συνιστώμενη αντικατάσταση κάθε έναν χρόνο. Αυτό όμως προϋποθέτει την προσεκτική και απρόσκοπτη φροντίδα εκ μέρους του χρήστη. Αντίθετα, ένας υδρόφιλος φακός είναι δύσκολο να ξεπεράσει το προσδόκιμο ζωής του ενός έτους. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η ποιότητα της δακρυϊκής στοιβάδας να είναι άρτια και να συνοδεύεται από προσεκτικό καθαρισμό και φροντίδα.

Η συμμόρφωση λοιπόν του χρήστη με τις οδηγίες του εφαρμοστή κρίνεται αναγκαία. Εάν παρ' όλα αυτά ο χρήστης δεν συμμορφωθεί με τις υποδείξεις του ειδικού, τότε οι συνέπειες από την μη ορθή χρήση των φακών του θα είναι εξίσου σημαντικές και επικίνδυνες για την οφθαλμική του υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές θα είναι ισχυρότερες στους χρήστες υδρόφιλων φακών, κυρίως αυτών της υδρογέλης, παρά στους αεροδιαπερατούς, αφού προκαλούν μεταξύ άλλων και τον εποικισμό των μικροοργανισμών. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί λόγω της υδροφιλίας που παρουσιάζουν αυτοί οι φακοί. Η υδροφιλία είναι η αιτία που οι υδρόφιλοι (μαλακοί φακοί) εμφανίζουν πιο συχνά και πιο ποικίλα περιστατικά επιπλοκών σε σχέση με αυτά των σκληρών αεροδιαπερατών φακών.

Τέλος, ένα ακόμα μειονέκτημα των μαλακών υδρόφιλων φακών, αποτελεί η μειωμένη μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο που προσφέρουν, σε αντιδιαστολή με εκείνη των σκληρών αεροδιαπερατών. Αυτό έχει ως συνέπεια την μακροπρόθεσμη εμφάνιση επιπλοκών λόγω μειωμένης οξυγόνωσης του κερατοειδή (υποξία). Και παρόλο που τα τελευταία χρόνια, οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης αποτέλεσαν εναλλακτική λύση σε αυτό το πρόβλημα, οι σκληροί RGP φακοί, με εξαίρεση την γόμα σιλικόνης -ως μαλακό υλικό-προηγούνται στον τομέα της μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο.

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

2.1. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΟΡΝΟ

Η κατασκευή με τόρνο κοπής (lathecut) είναι η πιο παλιά μέθοδος κατασκευής φακών, αν εξαιρεθεί η μέθοδος του εκμαγείου. Οι πρώτοι πλαστικοί φακοί επαφής που εμφανίστηκαν στο προσκήνιο, κατασκευάστηκαν σε τόρνο και αυτό το εργαλείο αποτελεί την κινητήρια δύναμη πάνω στην οποία στηρίζεται η τεχνολογία. Μάλιστα, αυτή η αναφορά δεν είναι καθόλου τυχαία καθώς ακόμα και τα καλούπια που αποτελούν μια μέθοδο κατασκευής φακών συχνής αντικατάστασης, έχουν σχεδιαστεί και αυτά σε τόρνο κοπής. Επίσης, η μηχανολογία έχει εξελιχθεί σε πιο ώριμο τεχνολογικά επίπεδο με σκοπό τα προϊόντα που προέρχονται από τόνους, να έχουν κατασκευαστική αξία 0.1μm. Οι κατασκευαστές με τους σύγχρονους τόνους CNC (computerized numerical control lathe) σε συνδυασμό με το λογισμικό που τους συνοδεύει, έχουν την δυνατότητα να κατασκευάσουν φακούς οποιασδήποτε γεωμετρίας.

Βασικά, οι τόννοι κοπής κατασκευάζουν τόσο τους μαλακούς φακούς όσο και τους ημίσκληρους RGP. Η μόνη διαφορά που υπάρχει, έγκειται στο ότι οι μαλακοί φακοί κατασκευάζονται αρχικά και αυτοί ως σκληροί, ενώ στην συνέχεια περνούν από το στάδιο της ενυδάτωσης. Στην φάση της ενυδάτωσης, οι φακοί αυτοί προσλαμβάνουν νερό στο εσωτερικό τους, με αποτέλεσμα να αυξάνονται σε διαστάσεις τόσο κατά μήκος (axial expansion) όσο και σε καμπυλότητα (radial expansion). Η αύξηση αυτή αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε υδρόφιλου υλικού. Αξίζει να αναφερθεί, ότι στους νεότερους φακούς σιλικόνης-υδρογέλης, αρκετοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν λιπαντικούς/ενυδατικούς παράγοντες ή διαφορετικά lubricating/wetting agents, όπως επίσης λέγονται. Οι παράμετροι αυτοί προσβλέπουν στην βελτίωση της αρχικής άνεσης και αίσθησης του φακού στο μάτι.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που μπορεί να κατασκευάσει ένας τόννος CNC σε έναν φακό, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, με τον πρώτο να αποτελεί την διάμετρο του ανεπεξέργαστου προτύπου (lens blank), που καθορίζει την μέγιστη διάμετρο του προς κατασκευή φακού επαφής. Ο δεύτερος παράγοντας είναι οι μηχανολογικές δυνατότητες του τόννου και ειδικότερα, οι δυνατότητες κίνησης και περιστροφής του σημείου στερέωσης του blank. Η βάση του εργαλείου του τόννου CNC που κόβει τον φακό σχηματίζοντας τις επιφάνειες, μπορεί να είναι κινητή ή ακίνητη. Κάτι τέτοιο δεν υφίσταται στους τόνους

κοπής μετάλλων, όπου εκεί η βάση βρίσκεται ακίνητη και το εργαλείο κοπής του φακού κινούμενο.

Επίσης, ένα ακόμα χαρακτηριστικό αποτελούν οι ακτίνες καμπυλότητας των βάσεων (chuck), που σε αυτές στερεώνεται το blank, αφού πρώτα σχηματιστεί η μπροστινή επιφάνεια. Τέλος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό αποτελούν οι σχεδιαστικές ικανότητες του λογισμικού. Τα τελευταία τρία χαρακτηριστικά καθορίζουν τις πιθανές γεωμετρίες που μπορεί να σχεδιάσει ένας τόννος CNC.

Τα όρια κατασκευής του τόννου φαίνονται καλύτερα σε μαλακούς φακούς μεγάλης διαμέτρου, συγκεκριμένα πάνω από 16mm που χρησιμοποιούνται για την θεραπεία διαφόρων καταστάσεων του οφθαλμού. Για παράδειγμα, είναι πιθανόν να μην μπορεί ένας τόννος να κόψει ένα φακό με διάμετρο 20.00mm και με ακτίνα καμπυλότητας 9.10mm σε υλικά που αποτελούνται από περιεκτικότητα νερού της τάξεως του 50 ή 74%. Αντίθετα, μπορεί να το πραγματώσει σε φακό με περιεκτικότητα σε νερό με ποσοστό 60%, για τον απλούστερο λόγο ότι το blank αυτού του υλικού, φέρει μεγαλύτερη διάμετρο.

Παράλληλα, η κατασκευαστική ακρίβεια ενός τόννου κοπής κατέχει σημαντικό ρόλο στην δυνατότητα κατασκευής υλικών φακών. Και αυτό διότι οι χειροκίνητοι τόννοι και οι παλιές γενιάς τόννοι CNC, σχεδίαζαν φακούς που δεν παρείχαν τις κατάλληλες οπτικές δυνατότητες, με αποτέλεσμα η λείανση (polishing) του φακού να κρίνεται αναγκαία. Όμως, αυτή η ανάγκη έχει εκλείψει τα τελευταία χρόνια στους σύγχρονους τεχνολογίας τόννους κοπής και έτσι έχει επιτευχθεί η κατασκευή των πρώτων wavefront φακών επαφής. Οι φακοί αυτοί λόγω ότι επιτυγχάνουν διόρθωση της όρασης υψηλής τάξης σφαλμάτων, παρουσιάζουν ασύμμετρες οπτικές επιφάνειες στην μονάδα των μm και η λείανση, θα είναι λογικά η αιτία που θα ακυρώσει την διόρθωση των σφαλμάτων υψηλής τάξης που μέχρι πριν είχε συντελεστεί.

2.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ

Η μέθοδος της περιστροφής ή φυγοκέντρωσης (spincasting) ήταν η μέθοδος με την οποία ο οπτομέτρης Otto Wichterle, κατασκεύασε τους πρώτους μαλακούς φακούς επαφής. Η μέθοδος αυτή, στην σύγχρονη μορφή της, βασίζεται στην εισαγωγή του πολυμερούς σε υγρή μορφή σε ένα κοίλο χυτό καλούπι που μετά περιστρέφεται. Η πρόσθια επιφάνεια του φακού εξαρτάται από την γεωμετρία του καλουπιού, ενώ παράλληλα τα χαρακτηριστικά του πάχους και της καμπυλότητας στην πίσω επιφάνεια και άρα η δύναμη του

φακού, εξαρτώνται από τον παράγοντα της ταχύτητας περιστροφής και από την φύση του υλικού.

Ο αριθμός των περιστρεφόμενων καλουπιών που είναι απαραίτητα για την παραγωγή επαρκούς αριθμού μονάδων διοπτριών είναι μικρός, αφού η ίδια η περιστροφή μπορεί να καθορίσει την ισχύ του φακού. Η εκδήλωση μεγάλης ταχύτητας περιστροφής συνεπάγεται ότι η πίσω επιφάνεια του φακού θα είναι πιο επίπεδη σε σχέση με την μπροστινή, άρα ο φακός θα είναι θετικός. Το αντίθετο συμβαίνει για αργή ταχύτητα περιστροφής, όπου σε αυτήν την περίπτωση, η πίσω επιφάνεια του φακού είναι 'ασφαιρική'. Επιπλέον, δεν δύνανται να κατασκευαστούν δικαμπτλωτές ή πολυκαμπτλωτές επιφάνειες, παρά μόνο μονοκαμπτλωτές.

Παράλληλα, η δημιουργία τορικών και πολυεστιακών φακών είναι σχετικά δύσκολη με την μέθοδο κατασκευής της περιστροφής, καθώς η τορική ή η πολυεστιακή επιφάνεια που θα πρέπει να σχεδιαστεί, πρέπει να είναι η μπροστινή όπως ακριβώς διαμορφώνεται από το καλούπι. Έτσι, ενδέχεται να δημιουργηθούν οπτικά σφάλματα λόγω μεγέθυνσης στους αστιγματικούς φακούς επαφής. Να σημειωθεί, ότι η οπίσθια επιφάνεια του φακού είναι 'σφαιρική' και ως εκ τούτου, η εφαρμογή του φακού σε αστιγματικό κερατοειδή ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα. Άρα, οι αστιγματικοί φακοί βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε σφαιρικό κερατοειδή που παρουσιάζει εσωτερικό αστιγματισμό.

2.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΜΑΓΕΙΟΥ

Η κατασκευή με την μέθοδο του εκμαγείου ή διαφορετικά της έκχυσης σε καλούπι (cast ή impressionmolding) είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος κατασκευής των υδρόφιλων φακών συχνής αντικατάστασης, τα τελευταία χρόνια. Η μέθοδος περιλαμβάνει την έγχυση του υγρού πολυμερούς στο κενό, ανάμεσα σε ένα κυρτό και ένα κοίλο καλούπι και την μετατροπή του σε στερεή μορφή. Το πάχος του φακού προσδιορίζεται από την απόσταση ανάμεσα στα καλούπια, η οποία σε συνδυασμό με το σχήμα των καλουπιών, διαμορφώνει την ισχύ του φακού.

Η κατασκευή αστιγματικών φακών σε διάφορες παραμέτρους καθίσταται πιο εύκολη με την μέθοδο του εκμαγείου. Και αυτό, επειδή με ένα κυρτό τορικό πίσω καλούπι μπορούν να σχεδιαστούν αστιγματικοί φακοί σε όλους τους άξονες, με περιστροφή του κυρτού καλουπιού ανάλογα με αυτήν του κοίλου. Επίσης, η τορική πίσω επιφάνεια ενός αστιγματικού φακού ελαττώνει την

παραμόρφωση που δημιουργείται από ανομοιόμορφη μεγέθυνση και απαντάται καλύτερα σε έναν αστιγματικό κερατοειδή. Τέλος, όταν σταθεροποιείται το πολυμερές σε στερεή κατάσταση, ακολουθείται η διαδικασία της ενυδάτωσης και η διενέργεια δειγματοληπτικού ποιοτικού ελέγχου.

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΛΑΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ

Υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που πρέπει να διέπουν ένα μονομερές, καθώς και οποιαδήποτε απλή χημική ένωση, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα στην κατασκευή φακών επαφής. Τα πρώτα και τα πιο κύρια είναι η ασφάλεια, η αδράνεια, η μη τοξικότητα, η βιοσυμβατότητα, η φυσική και χημική σταθερότητα στην σύστασή του, η ανθεκτικότητα, καθώς και η ευκολία στην επεξεργασία και την παραγωγή.

Τα υπόλοιπα και εξίσου σημαντικά είναι η καλή διαβροχή από τα δάκρυα, η όσο το δυνατόν καλύτερη αντίσταση στις εναποθέσεις, καθώς και η παροχή καλών οπτικών ιδιοτήτων, αλλά και η διαθεσιμότητά της σε καλή τιμή. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει έως τώρα κάποιο υλικό που να δύναται να συνδυάσει τις παραπάνω ιδιότητες. Για αυτόν τον λόγο γίνεται προσπάθεια αξιοποίησης των ανωτέρω χαρακτηριστικών με αρμονικό τρόπο, με σκοπό να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα στην κατασκευή φακών επαφής.

Από την άλλη πλευρά, η καταλληλότητα της χρήσης ενός υλικού για την κατασκευή φακών, αξιολογείται με κάποιες παραμέτρους, όπως η διαφάνεια και ο δείκτης διάθλασης και ο βαθμός σκληρότητας και ακαμψίας του υλικού. Επίσης, από παράγοντες όπως οι συντελεστές ελαστικότητας και τριβής, η ικανότητα διαβροχής και περιεκτικότητας σε νερό και τέλος το ποσοστό του ιονικού φορτίου του υλικού, αλλά και η διαπερατότητά του σε οξυγόνο.

3.1. ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Η διαφάνεια (transparency) ενός υλικού σχετίζεται με τις οπτικές του ιδιότητες, δηλαδή με την καθαρή όραση του ατόμου. Ορίζεται ως η φυσική ιδιότητα ενός υλικού, που επιτρέπει στο φως να το διαπεράσει και εκφράζει το ποσοστό του φωτός, συγκεκριμένου μήκους κύματος, που περνά μέσα από το υλικό.

Αυτή η διαφάνεια του υλικού δεν θα πρέπει να συνδέεται με τη διάχυτη διαφάνεια (translucency). Αυτό, επειδή η τελευταία μπορεί αφενός μεν να επιτρέπει στο φως να διαπεράσει το υλικό, αλλά αφετέρου, δεν μπορούμε να διακρίνουμε την πορεία των ακτινών φωτός (άρα ούτε και τα σχήματα) πίσω του. Και αυτό διότι λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της διάχυσης στο οποίο οφείλεται η πορεία των ακτινών φωτός.

Υπάρχουν υλικά που είναι διαφανή σε κάποια μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς και υλικά που είναι αδιαφανή σε αυτά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο ανθρώπινος ιστός, που ενώ είναι αδιαφανής στο ορατό, είναι σημαντικά διαφανής στις ακτίνες X. Αυτός είναι και ο λόγος που καθιστά δυνατή την λήψη ακτινογραφίας, προς διάγνωση διαφόρων παθολογιών του ανθρώπινου σώματος. Η ύπαρξη ή μη διαφάνειας οφείλεται στις βασικές αλληλεπιδράσεις του φωτός με την ύλη.

Οι μηχανισμοί που προκαλούν αυτές τις αλληλεπιδράσεις είναι, η σκέδαση (scattering) και η διάχυση (diffusion), καθώς και η ανάκλαση (reflection) και η διάθλαση (refraction). Σε αυτούς τους μηχανισμούς οφείλεται το γεγονός ότι κανένα υλικό δεν είναι πλήρως διαφανές, αφού πάντα θα υπάρχει έστω και ένα μικρό ποσοστό φωτός που είτε θα ανακλάται, ή απορροφάται, είτε θα σκεδάζεται.

Το πόσο διαφανές είναι ένα υλικό καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς τους παράγοντες αποτελεί ο δείκτης διάθλασης του υλικού, η έλλειψη δομικών ελαττωμάτων, όπως ρωγμές και συσσωματώματα, η ύπαρξη ομοιογένειας και μοριακής δομής κ.α. Και ενώ τα περισσότερα υγρά διακρίνονται από άριστη οπτική απόδοση, η ύπαρξη ανομοιογένειας στο υλικό είναι ικανή να οδηγήσει σε έντονη σκέδαση.

Ένα παράδειγμα φαινομένου σκέδασης αποτελεί το κύμα στο θαλασσίνο νερό, στα σημεία που αυτό την παρουσιάζει. Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού, επηρεάζει την ποσότητα της ακτινοβολίας που θα ανακλαστεί από μια διαχωριστική επιφάνεια. Ως ένδειξη μπορεί να αποτελέσει η ανάκλαση του 4% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επιφάνειας αέρα σε γυαλί με δείκτη διάθλασης γυαλιού 1.5. Η ποσότητα του φωτός που θα απορροφηθεί από την επιφάνεια του γυαλιού, εξαρτάται από τον συντελεστή απορροφητικότητας, ο οποίος με την σειρά του εξαρτάται από το μήκος κύματος. Από την εξάρτηση του συντελεστή απορροφητικότητας από το μήκος κύματος προέρχεται η παρουσία των διαφόρων χρωμάτων στην φύση. Ωστόσο, το ποσοστό του φωτός που θα διέλθει μέσα από το γυαλί, θα εξαρτηθεί άμεσα και από τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης των φαινομένων σκέδασης και διάχυσης.

Όσον αφορά τα υλικά, η τιμή του δείκτη διάθλασης είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού ο δείκτης διάθλασης είναι αντίστροφα ανάλογος και σε άμεση αλληλεξάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό του υλικού. Για παράδειγμα, το PMMA ως υλικό κατασκευής φακών έχει τιμή δείκτη διάθλασης 1.49 και το

νερό 1.33. Και όμως, ενδεχόμενη αύξηση της περιεκτικότητας νερού είναι δυνατόν να προκαλέσει μείωση του δείκτη διάθλασης του υλικού, καθώς και της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του φακού. Ωστόσο, από την άλλη πλευρά, η διαφάνεια του φακού βελτιώνεται παρέχοντας καλύτερη ποιότητα όρασης, αφού το νερό έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά διαφάνειας στην ορατή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Να σημειωθεί, ότι η ολοένα αυξανόμενη τιμή του δείκτη διάθλασης, καθιστά τον φακό διαρκώς λεπτότερο για μια ορισμένη τιμή της οπτικής διαθλαστικής ισχύος. Αυτό προσδίδει στους φακούς RGP μεγαλύτερη άνεση κατά την εφαρμογή τους. Όμως, η εφαρμογή τους μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, αφού η χρήση αστιγματικών σκληρών αεροδιαπερατών φακών δύναται να προκαλέσει υπολειπόμενο αστιγματισμό. Πέραν αυτού, τα σκληρά RGP υλικά μπορούν -πέραν της άνεσης- να παρουσιάζουν και μεγαλύτερη ελαστικότητα, σε περίπτωση βέβαια που διακρίνονται από υψηλό δείκτη διάθλασης.

3.2. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΚΑΜΨΙΑ

Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών των φακών παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στον σχεδιασμό, όσο και στον ποιοτικό τους έλεγχο. Και αυτό, γιατί μια ενδεχόμενη πρόκληση δύναμης στον φακό, για παράδειγμα κατά την εφαρμογή ή την απομάκρυνσή του από το μάτι, μπορεί να τον παραμορφώσει ή να τον σπάσει καθιστώντας την ζημιά στον φακό μόνιμη. Επομένως, κάτι τέτοιο θα έχει ως συνέπεια την έλλειψη οπτικής απόδοσης, με άμεση συνέπεια την δυσφορία του χρήστη, ενίοτε και την ολική καταστροφή του φακού.

Επιπλέον, η δύναμη που ασκείται σε ένα μαλακό φακό μπορεί να τον αναγκάσει να διπλώσει προς το εσωτερικό του. Για ευνόητους λόγους λοιπόν, θα πρέπει να τον επαναφέρουμε στην αρχική του μορφή, χωρίς παράλληλα να έχει υποστεί κάποια ζημιά κατά τον εφελκισμό. Άρα, η αντοχή στον εφελκισμό ή tensile strength όπως αλλιώς μπορεί να λεχθεί, αποτελεί και αυτή μεταξύ άλλων σημαντική παράμετρο των υλικών μαλακών φακών επαφής.

3.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, ο συντελεστής ελαστικότητας (modulus of elasticity) ή συντελεστής κατά Young, αναφέρεται στην ικανότητα του υλικού να διατηρεί το σχήμα του όσο εφαρμόζεται δύναμη. Έτσι, ο όρος χαμηλός συντελεστής (low modulus) σημαίνει ότι το υλικό είναι λιγότερο

ανθεκτικό στις δυνάμεις, ενώ ο όρος υψηλός συντελεστής (highmodulus) σημαίνει ότι το εν λόγω υλικό είναι ανθεκτικότερο και προσφέρει καλύτερη οπτική οξύτητα. Με λίγα λόγια, στην πρώτη περίπτωση μεταβάλλεται το σχήμα του υλικού, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, το υλικό δεν υφίσταται καμία μεταβολή.

Επίσης, τα προηγούμενα χρόνια οι μαλακοί φακοί υψηλής υδροφιλίας που προέρχονταν από συμπολυμερισμό των MMA και NVP υλικών, ήταν πολύ ελαστικοί και είχαν την ικανότητα να επανέλθουν στην αρχική τους μορφή μετά την όποια παραμόρφωσή τους. Και παρά το γεγονός ότι οι φακοί υδρογέλης νεότερης γενιάς έχουν παρουσιάσει βελτίωση σε αυτόν τον τομέα (της παραμόρφωσης), εντούτοις οι φακοί χαμηλής υδροφιλίας είναι πιο σταθεροί. Πάντως, οι φακοί με υψηλότερο δείκτη ελαστικότητας μπορούν να προσφέρουν πέραν της καλύτερης οπτικής οξύτητας, ευκολία κατά την εισαγωγή και την αφαίρεση, καθώς και στον χειρισμό.

Παρ' όλα αυτά, τα υλικά σιλικόνης- υδρογέλης λόγω της σιλικόνης έχουν υψηλότερο συντελεστή ελαστικότητας, σε σύγκριση με εκείνα της υδρογέλης. Μάλιστα, όσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης της σιλικόνης και όσο πιο χαμηλός ο δείκτης της υδρογέλης, τόσο πιο ελαστικό είναι το υλικό. Όμως, αυτή η αύξηση στην ελαστικότητα προκάλεσε κάποιες παρενέργειες /αντενδείξεις. Και αυτό, διότι ο υψηλός συντελεστής ελαστικότητας μπορεί από την μια πλευρά να καλύπτει καλύτερα την κερατοειδική ασυμμετρία, λόγω πιθανής ύπαρξης κερατόκωνου, ωστόσο από την άλλη πλευρά, καθιστά πιο έντονη την αρχική αίσθηση του φακού στο μάτι από τον χρήστη. Επίσης, οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης είναι πιο σκληροί στην υφή τους τόσο στον οφθαλμό, όσο και στα δάχτυλα, κάτι που οφείλεται βέβαια στην ύπαρξη υψηλού δείκτη ελαστικότητας. Είναι δε πιθανόν να χρειαστεί επιπλέον δύναμη για να αφαιρεθούν από το μάτι, επειδή διατηρούν σε σημαντικό βαθμό το σχήμα τους, όντας λιγότερο εύκαμπτοι.

3.4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Ο συντελεστής τριβής(frictioncoefficient) συνδέεται άμεσα με τον συντελεστή ελαστικότητας, αναφορικά με τα διάφορα συμπτώματα των οφθαλμών, καθώς και την άνεση που παρέχεται στον χρήστη από την ένδυση φακών επαφής. Οι φακοί υδρογέλης εμφανίζουν πολύ χαμηλά ποσοστά τριβής και μάλιστα μετά την αφαίρεσή τους από τον οφθαλμό -βάσει των οδηγιών χρήσης- καθαρίζονται και διατηρούνται δεόντως, δημιουργώντας ελάχιστα προβλήματα τριβής στο

μάτι. Αντίθετα, οι πρώτοι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης διακρίνονταν από υψηλό δείκτη τριβής, κάτι που είχε ως συνέπεια την εμφάνιση επιπλοκών, όπως επιθηλιακές αποπτώσεις και στίξη επιθηλίου. Επιπροσθέτως, οι φακοί αυτοί λόγω της αυξανόμενης τριβής, δεν ενδεικνύονταν για χρήση σε επιρρεπείς ασθενείς με κάποιου είδους ήπιας ή χρόνιας επιπεφυκίτιδας, ή σε περίπτωση βλεφαρίτιδας. Ωστόσο, τα νεότερης γενιάς υλικά σιλικόνης-υδρογέλης κατάφεραν με μείωση του ποσοστού της σιλικόνης και αύξηση αυτού της υδρογέλης, να περιορίσουν αυτά τα φαινόμενα.

Παρά ταύτα, η ανάγκη επαρκούς διαπερατότητας σε οξυγόνο οδήγησε τους φακούς σιλικόνης-υδρογέλης σε μείωση της περιεκτικότητας σε νερό και σε αύξηση της ποσότητας σε σιλικόνη, προκειμένου να καλυφθεί αυτή η ανάγκη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι εν λόγω φακοί να είναι πιο άβολοι σε σχέση με αυτούς της υδρογέλης, παρέχοντας λιγότερη άνεση λόγω της τριβής και της ακαμψιάς μολονότι μπορούσαν να προσφέρουν καλύτερη οξυγόνωση από τους φακούς υδρογέλης.

Σταδιακά, οι εταιρείες σχεδίασαν φακούς με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό και μικρότερη αντίστοιχα σε σιλικόνη με αποτέλεσμα οι φακοί αυτοί να είναι πιο μαλακοί, κάτι που οφείλεται βέβαια στην επιπλέον προσθήκη νερού. Μάλιστα, φακοί όπως ο Biofinity της εταιρείας CooperVision, αν και εμφανίζουν πλέον μικρά ποσοστά σε σιλικόνη μπορούν να πετύχουν την αναγκαία διαπερατότητα σε οξυγόνο που χρειάζεται ο κερατοειδής προς αποφυγή φαινομένων υποξίας. Και αυτό προκύπτει λόγω της βελτίωσης της ομοιογένειας που παρουσιάζουν στην χημική τους σύνδεση οι αλυσίδες σιλικόνης (longsiliconchain). Έτσι, με τον τρόπο αυτό, πετυχαίνουν την αύξηση της διαπερατότητας σε οξυγόνο αναλογικά βέβαια και με τις δυνατότητες του υλικού του φακού χωρίς την αύξηση του ποσού σιλικόνης.

3.5. ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ – ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Η ικανότητα διαβροχής ή wettability επιφάνειας υλικού φακών επαφής, ορίζεται ως η ικανότητα του νερού να διασπείρεται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνειά του. Μετράται είτε με την μέθοδο της σταγόνας νερού, είτε εναλλακτικά με την μέθοδο της παγιδευμένης φυσαλίδας αέρα.

Με την μέθοδο της σταγόνας (sessiledrop) σχηματίζεται γωνία μετά από επαφή μεταξύ του υγρού και της επιφάνειας. Η γωνία που σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο καλείται γωνία διαβροχής και όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα διαβροχής, τόσο διαχέεται το υγρό πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Με

εφαρμογή αυτής της μεθόδου προκύπτει ότι η ικανότητα διαβροχής και η γωνία διαβροχής είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα. Αυτό σημαίνει ότι μικρή γωνία διαβροχής συνεπάγεται μεγάλη ικανότητα διαβροχής, ενώ αντίθετα μεγάλη γωνία διαβροχής συνεπάγεται μικρή ικανότητα διαβροχής.

Με την μέθοδο της φυσαλίδας (captivebubble) το υλικό που εξετάζεται αφήνεται να βυθιστεί οριζόντια σε νερό και ταυτόχρονα μια φυσαλίδα αέρα ακουμπά στην κάτω επιφάνειά του. Το συμπέρασμα που εξάγεται εν προκειμένω, είναι ότι αν η φυσαλίδα παραμείνει σχετικά αμετάβλητη έχουμε μεγάλη ικανότητα διαβροχής του υλικού. Αντίθετα, αν η φυσαλίδα αλλοιωθεί, τότε έχουμε ένδειξη παρουσίας μικρής ικανότητας διαβροχής. Επομένως, σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο, τα αποτελέσματα της μεθόδου φυσαλίδας είναι ανάλογα μεταξύ τους. Δηλαδή, σχηματισμός μικρής γωνίας διαβροχής, συνεπάγεται μικρή ικανότητα διαβροχής και ομοίως σχηματισμός μεγάλης γωνίας διαβροχής, συνεπάγεται αντίστοιχα μεγάλη ικανότητα διαβροχής.

Η ικανότητα διαβροχής της επιφάνειας ενός υλικού φακού επαφής καθορίζει τον βαθμό στον οποίο τα δάκρυα διασπείρονται ομοιόμορφα πάνω στον φακό. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης που φορά φακό με μικρή ικανότητα διαβροχής, όπου λόγω έλλειψης νερού δεν ενυδατώνεται επαρκώς η πρόσθια επιφάνειά του, είναι δυνατόν να προκαλέσει προσωρινή μείωση της όρασης του χρήστη. Αυτό μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα μείωσης της οπτικής ποιότητας της επιφάνειας του φακού, δηλαδή ως απόρροια της ελάττωσης της διαφάνειάς του.

Επίσης, ενώ η γρήγορη εξάτμιση της δακρυϊκής στοιβάδας αυξάνει την συγκέντρωση βλεννοπρωτεϊνικών εναποθέσεων πάνω στην επιφάνεια του φακού, η υδροφιλία ενός φακού επαφής δύναται να οδηγήσει στην αφυδάτωση (dehydration) του φακού, λόγω μέτριας ενυδάτωσης της επιφάνειάς του. Από την άλλη, η επιλογή ενός φακού με καλή ικανότητα διαβροχής, ενδέχεται να βελτιώσει την όραση και την άνεση στην εφαρμογή του και από άτομα που παρουσιάζουν μέτρια ξηροφθαλμία, όντας μάλιστα και πιο ανθεκτικός στις εναποθέσεις. Συμπερασματικά, ο βαθμός αφυδάτωσης ενός φακού, εξαρτάται από τον βαθμό ενυδάτωσης της επιφάνειάς του, εξαρτώμενη με την σειρά της από την περιεκτικότητα νερού σε αυτήν και από την ικανότητα διαβροχής.

Οι επιφάνειες ενός μαλακού φακού υψηλής υδροφιλίας εμφανίζουν αρχικά μεγάλη ικανότητα διαβροχής, ωστόσο στην συνέχεια χάνεται αυτή η ιδιότητα. Αντίθετα, οι επιφάνειες ενός μαλακού φακού χαμηλής υδροφιλίας, διατηρούν

αυτό το χαρακτηριστικό και μάλιστα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλες ιδιότητες υλικών που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, όπως το ιονικό φορτίο που θα αναφερθεί εκτενώς στη συνέχεια.

Προκειμένου λοιπόν να αντιμετωπιστεί η φθορά ενός φακού υψηλής υδροφιλίας, θα πρέπει να καθίσταται ως αναγκαία συνθήκη ο σχολαστικός και απaráμιλλος καθαρισμός των εναποθέσεων. Σε αντίθετη περίπτωση, οι φακοί αυτοί θα πρέπει να χορηγούνται με πρόγραμμα συχνότερης αντικατάστασης, κάτι που δεν χρειάζεται στους φακούς χαμηλής υδροφιλίας. Και αυτό, επειδή η μικρή ποσότητα νερού είναι αδύνατον να δημιουργήσει την όποια προϋπόθεση εμφάνισης τέτοιων περιστατικών.

Παρ' όλα αυτά, η ικανότητα διαβροχής δεν παρέχει πλήρως όλα τα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά σχετικά με την συμπεριφορά ενός μαλακού φακού στο μάτι. Και αυτό προκύπτει εξαιτίας του γεγονότος ότι όταν ο χρήστης φορά τον φακό του, τα υδρόφιλα τμήματα του φακού εξέρχονται προς την επιφάνειά του και συγκεντρώνονται απέναντι από τα δάκρυα, σε αντίθεση με τα υδρόφοβα που εισέρχονται στο εσωτερικό του. Επίσης, όταν τα δάκρυα στην επιφάνεια του φακού εξατμίζονται, οι λιπιδικές εναποθέσεις προκαλούν κάποια από τα υδρόφοβα τμήματα του φακού να εξέλθουν προς την επιφάνεια. Έτσι, η ικανότητα διαβροχής του (μαλακού) φακού από τα δάκρυα ελαττώνεται σταδιακά με την εφαρμογή του φακού, καθώς η συσσώρευση των λιπιδίων πάνω στον φακό καθιστά ισχυρή την δέσμευσή τους με τα υδρόφοβα τμήματα του φακού, με αποτέλεσμα να γίνεται δύσκολος ο επαρκής καθαρισμός του.

Επιπροσθέτως, η ικανότητα διαβροχής της επιφάνειας ενός φακού επαφής συνδέεται άμεσα με την υδροφιλία του, εφόσον πρόκειται για υδρόφιλο υλικό. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό, αν ληφθεί υπόψη ότι όσο μικραίνει η ικανότητα διαβροχής ενός υλικού φακού, τόσο μικραίνει και η υδροφιλία του. Η διαφορά έγκειται στο ότι διατηρούνται περισσότερο οι διάφορες παράμετροι του φακού στο πέρασμα του χρόνου ανάλογα με την χρήση. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ταχύτερη φθορά και αποσύνθεση των υλικών μαλακών φακών υψηλής υδροφιλίας, σε αντίθεση με έναν φακό χαμηλής υδροφιλίας.

Να σημειωθεί, ότι η περιεκτικότητα σε νερό στην επιφάνεια ενός υδρόφιλου φακού, εξαρτάται άμεσα από την υδροφιλία του υλικού από την οποία κρίνεται και ο βαθμός στον οποίο τον νερό θα απορροφηθεί και διατηρηθεί στην επιφάνεια του φακού.

Η μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό ή περιεκτικότητα νερού σε ισορροπία ή διαφορετικά equilibriumwatercontent, μετράται όταν αυτή αποκτήσει την μέγιστη σταθερή τιμή της. Όταν δηλαδή ο φακός αφεθεί σε ένα ισότονο διάλυμα, δηλαδή σε ένα διάλυμα που έχει σε όλη την μοριακή του σύσταση ίδια πίεση, για εύλογο χρονικό διάστημα.

Αυτό σημαίνει, ότι η περιεκτικότητα νερού (watercontent) εξαρτάται και από μια σειρά από άλλους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία. Και αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό, αν ληφθεί υπόψη ότι η περιεκτικότητα σε νερό μειώνεται κατά περίπου 5% με αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20 στους 35 βαθμούς Κελσίου.

Ωστόσο, η περιεκτικότητα νερού μπορεί εκτός από ιδιότητα φακού να χαρακτηριστεί και ως ιδιότητα υλικού. Αυτός ο χαρακτηρισμός οφείλεται στο ότι η υδρογέλη ως υλικό μαλακού υδρόφιλου φακού επαφής, εμφανίζει ποσοστό νερού της τάξεως του 38% . Το ποσοστό αυτό εκτιμάται ως σχετικά μικρό, δεδομένου ότι η μέση τιμή χαμηλής και υψηλής περιεκτικότητας νερού είναι 50%.

Όπως προκύπτει από την υπάρχουσα βιβλιογραφία⁵, η πραγματική περιεκτικότητα σε νερό μεταβάλλεται ανάλογα με την χρήση και τον χρόνο. Αυτό μπορεί να συμβεί, όταν λόγω χάρη ο φακός βρεθεί εκτός του περιβάλλοντός του, όπως έξω από το υγρό συντήρησης και καθαρισμού όπου τότε ο φακός θα αρχίσει σιγά σιγά να αφυδατώνεται. Η αφυδάτωση προέρχεται αρχικά εξαιτίας της εξάτμισης του νερού που βρίσκεται μέσα στους πόρους του υλικού του φακού και κατόπιν λόγω της εξάτμισης και του χημικά συνδεδεμένου νερού στο εσωτερικό του.

Είναι δε σημαντικό, ότι η αφυδάτωση δύναται να επηρεάσει την κλινική επίδοση του φακού. Αυτό μπορεί να συμβεί, καθώς ανάλογα με το υλικό του φακού και συνάμα την ποσότητα και ποιότητα των δακρύων, είναι δεδομένο ότι κάποια στιγμή ο φακός θα αφυδατωθεί, με αποτέλεσμα ο χρήστης να αισθάνεται δυσανεξιά λόγω της ξηρότητας και της σκληρότητας του φακού κατά την αφαίρεσή του από τον οφθαλμό.

Εκτός όμως από την γνώση της επιρροής που ασκείται πάνω στην επιφάνεια του φακού λόγω αφυδάτωσης, αλλά και των αποτελεσμάτων της σε αυτή, πρέπει να γνωρίζουμε και ποια υλικά είναι πιο ανθεκτικά στην αφυδάτωση. Και

⁵Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ.(2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α΄. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ.5.21

αυτό αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση προκειμένου να μειωθούν στο μέτρο του δυνατού οι συνέπειες που προκαλούνται πάνω στην ύλη του φακού εξαιτίας της.

Έτσι, για πολλά χρόνια, οι εφαρμοστές εξέφραζαν την άποψη ότι τα υλικά με χαμηλά ποσοστά υδροφιλίας και άρα με μικρή περιεκτικότητα νερού (έως 50%), εμπεριέχουν στο εσωτερικό τους μεγαλύτερο ποσό χημικά δεσμευμένου νερού και αφυδατώνονται πιο δύσκολα. Αντίθετα, πίστευαν ότι τα υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα νερού (άνω του 50%) περιείχαν αρκετό ποσό νερού παγιδευμένο ανάμεσα στους πόρους του υλικού του φακού, με συνέπεια να εξατμίζεται πιο εύκολα.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, όπου ένα υλικό υψηλής υδροφιλίας μπορεί να αφυδατώνεται λιγότερο εύκολα από έναν φακό χαμηλής υδροφιλίας. Επίσης, η αφυδάτωση δεν προκαλεί αλλαγές ίδιου βαθμού στις ιδιότητες του υλικού. Για παράδειγμα, αν ένας φακός υποστεί αφυδάτωση σε ποσοστό 10%, οι αλλαγές που θα συντελεστούν στις παραμέτρους του μπορεί να είναι λιγότερες από εκείνες που ενδεχομένως θα συμβούν σε έναν φακό με αφυδάτωση μόλις 5%.

Αυτό σημαίνει με άλλα λόγια, ότι σε περίπτωση εμφάνισης περιστατικού ξηροφθαλμίας, ο εφαρμοστής δεν θα πρέπει να αναλωθεί στην επιλογή του υλικού. Θα πρέπει πρωτίστως να διαγνώσει τις αιτίες που προκαλούν την ξηροφθαλμία και μετά να εκτιμήσει σε ποιο βαθμό μπορεί να παρέμβει θεραπευτικά, ώστε να την εξαλείψει. Συμπερασματικά, σε περιπτώσεις εμφανίσεων επιπλοκών ξηροφθαλμίας, ο εφαρμοστής οφείλει πρώτα να θεραπεύει την ξηροφθαλμία και μετά να προχωράει στην διαδικασία επιλογής υλικούφακού επαφής.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των υλικών φακών επαφής, αποτελεί η ικανότητά τους να επανέρχονται στην προγενέστερη κατάσταση ενυδάτωσης, ακόμα και αν αφυδατωθεί η επιφάνειά τους. Αυτό στηρίζεται στο ότι, αν παραδείγματος χάρη, ο χρήστης αφαιρέσει τον υδρόφιλο φακό του από το υλικό συντήρησης, ο φακός αυτός όπως είναι φυσικό, θα αφυδατωθεί και θα πάρει την μορφή ενός σκληρού φακού αν είναι κατασκευασμένος σε τόρνο κοπής, ή την μορφή ενός παραμορφωμένου ασύμμετρου φακού, αν έχει κατασκευαστεί σε καλούπι ή με την μέθοδο της περιστροφής, αντίστοιχα. Αντί αυτού, αν ο εν λόγω φακός δεν έχει σπάσει, σχιστεί ή δεν φέρει κάποια ρωγμή, δεν έχει καταστραφεί.

Ωστόσο, αν ο φακός ενυδατωθεί ξανά, είναι δυνατόν να ανακτήσει και πάλι το ενυδατωμένο του σχήμα σε κάθε λεπτομέρεια, ακόμα και όταν πρόκειται για αστιγματικό πολυεστιακό φακό, δίχως να υπάρξει η παραμικρή απώλεια των οπτικών ή μηχανικών του ιδιοτήτων. Παρά ταύτα, αυτή η ιδιότητα των μαλακών φακών δεν είναι ευρέως διαδεδομένη ούτε και στους επαγγελματίες. Μάλιστα πιθανολογείται, ότι ίσως υπάρχουν εμπορικοί λόγοι περί διαφόρων προγραμμάτων αντικατάστασής τους, οι οποίοι στέκονται ως ανάχωμα στην διάδοσή τους στον ευρύτερο πληθυσμό.

Όμως, δεν χρειάζεται κάθε φορά που βρισκόμαστε αντιμέτωποι με έναν ξηρό φακό να τον οδηγούμε στον κάδο απορριμμάτων. Αντί αυτού, είναι ωφέλιμο να τον εισάγουμε στο δοχείο ενυδάτωσης, ώστε να αποκτήσει και πάλι την αρχική ενυδατωμένη μορφή του. Μάλιστα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και με το υγρό καθαρισμού και απολύμανσης. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, ο εφαρμοστής θα πρέπει να αποφανθεί για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο φακός, συμπεριλαμβανομένου κυρίως των οπτικών και μηχανικών του ιδιοτήτων. Και αυτό, επειδή είναι ο μόνος που μπορεί να προβεί σε εξέταση του φακού υπό ανάλογη μεγέθυνση στην σχισμοειδή λυχνία.

Εν κατακλείδι, ένας αφυδατωμένος μαλακός φακός αν δεν έχει σπάσει ή σχιστεί ή δεν φέρει κάποια ρωγμή στην εξωτερική ή εσωτερική του επιφάνεια, μπορεί να ενυδατωθεί και να χρησιμοποιηθεί εκ νέου με ασφάλεια.

3.6. ΙΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Τα υλικά των μαλακών φακών μπορεί να είναι ηλεκτρικά φορτισμένα ή ηλεκτρικά ουδέτερα. Η παρουσία ηλεκτρικού φορτίου συνιστά σημαντική ιδιότητα των υδρόφιλων φακών, αφού επηρεάζουν την βιο-συμβατότητα των υγρών καθαρισμού, αλλά και τον σχηματισμό εναποθέσεων. Τα υλικά με στοιχεία με ηλεκτρική φόρτιση, δηλαδή παρουσία ηλεκτρονίων καλούνται ιονικά (ionic), ενώ τα υλικά με ελάχιστα στοιχεία ηλεκτρικής φόρτισης, δηλαδή παρουσία ελάχιστων ηλεκτρονίων, καλούνται μη ιονικά (nonionic). Η φόρτιση είναι αποτέλεσμα των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων, δηλαδή των ηλεκτρονίων και μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η φόρτιση αποκτά αρνητικό πρόσημο.

Η ύπαρξη αρνητικής φόρτισης στο υλικό του φακού, αποτελεί την αιτία που καθιστά το υλικό πιο δραστικό όταν ο φακός έρχεται σε επαφή με όξινα διαλύματα, δηλαδή διαλύματα με δείκτη οξύτητας ή $pH < 5$. Η επαφή με τα διαλύματα αυτά δύναται να δημιουργεί συχνά μεταβολές στις διαστάσεις του

υλικού, που μπορεί να το οδηγήσει και σε σημείο αποικοδόμησης. Επίσης, η ύπαρξη φορτίου στο υλικό του φακού και δη αρνητικού, τον καθιστά πιο ευάλωτο στην συγκέντρωση και τον σχηματισμό πρωτεϊνικών εναποθέσεων. Μάλιστα, πολλές εναποθέσεις που προέρχονται από τα δάκρυα είναι θετικά φορτισμένες, με αποτέλεσμα να προσελκύονται από την αρνητική φόρτιση των ιονικών υλικών. Είναι γνωστό άλλωστε από την χημεία, ότι τα θετικά ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια (πρωτόνια) έλκονται από τα αντίστοιχα αρνητικά, δηλαδή από τα ηλεκτρόνια.

3.7. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ

Η οξυγόνωση της επιφάνειας του οφθαλμού γίνεται άμεσα με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι αυτόστης παροχής οξυγόνου από το υλικό του φακού και ο δεύτερος είναι η οξυγόνωση μέσω του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στα δάκρυα κάτω από τον φακό. Ο δεύτερος μηχανισμός οξυγόνωσης έχει πολύ μικρή σημασία για τους υδρόφιλους φακούς, σε αντίθεση με τους φακούς RGP. Η διαπερατότητα σε οξυγόνο ή oxygenpermeability- P είναι ιδιότητα υλικού και εκφράζει το ποσό οξυγόνου που διαπερνά ένα υλικό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και διαφορά πίεσης. Μετράται σε Barrer.

Η διαπερατότητα συμβολίζεται ως Dk, όπου D είναι ο συντελεστής διάχυσης (diffusioncoefficient), το μέτρο δηλαδή του πόσο γρήγορα κινούνται μέσα στο υλικό τα ελεύθερα μόρια του οξυγόνου, ενώ το k αντιπροσωπεύει το συντελεστή διαλυτότητας (solubilitycoefficient), τον αριθμό δηλαδή των διαλυμένων μορίων οξυγόνου στο υλικό. Η διαπερατότητα σε οξυγόνο δεν εξαρτάται από το σχήμα και το πάχος του υλικού, είναι όμως ανάλογη της θερμοκρασίας, αφού όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο μεγάλη είναι και η διαπερατότητα οξυγόνου. Η μέτρηση του Dk γίνεται στους 35 βαθμούς Κελσίου, θερμοκρασία δηλαδή που πλησιάζει σε μέγεθος εκείνη του κερατοειδή.

Η μεταβιβαστικότητα οξυγόνου (oxygentransmissibility) είναι ιδιότητα ενός φακού επαφής συγκεκριμένου πάχους και εκφράζει το ποσό οξυγόνου που το διαπερνά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και διαφορά πίεσης. Μετράται σε Barrer/cm και υπολογίζεται ως Dk/t. Η τιμή αναφέρεται στο πάχος του φακού και υπολογίζεται συνήθως με τον μέσο όρο τιμών κεντρικού πάχους για φακούς -3.00dpt.

Η μεταβιβαστικότητα οξυγόνου είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους του φακού. Αυτό σημαίνει, ότι όσο πιο μεγάλο πάχος διαθέτει ένας φακός, τόσο

λιγότερο οξυγόνο θα επιτρέψει να φθάσει στον κερατοειδή, σε αντίθεση με έναν φακό μικρότερου πάχους που επιτρέπει μεγαλύτερου βαθμού μεταβίβαση οξυγόνου στον κερατοειδή. Επίσης, ενώ μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο περιλαμβάνει εκτός από την διαπερατότητα και το πάχος του φακού, ο διαφορετικός τρόπος μέτρησής της από τις εταιρείες, οδηγεί πολλές φορές σε αποτελέσματα μη συγκρίσιμα μεταξύ τους. Ωστόσο, ο εφαρμοστής μπορεί μεταξύ άλλων να ενημερωθεί από την εταιρεία κατασκευής φακών με την οποία συνεργάζεται, για την τιμή του δείκτη διαπερατότητας και του πάχους του φακού και εν συνεχεία να προχωρήσει στον υπολογισμό της τιμής της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου με ανάλογη ακρίβεια.

Η μέτρηση της μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο δεν δύναται να υπολογιστεί με απόλυτη ακρίβεια από τον εκάστοτε οπτομέτρη, ωστόσο μπορεί να μετρηθεί προσεγγιστικά αρκεί βέβαια να γνωρίζει την διαπερατότητα και το πάχος του φακού. Να σημειωθεί, ότι το πάχος ενός φακού δεν συναντάται στην ίδια τιμή σε όλες τις διαστάσεις του. Αυτό συνεπάγεται, ότι ένας φακός επαφής μπορεί να φέρει την μέγιστη τιμή μεταβιβαστικότητας στο λεπτότερο σημείο του, δηλαδή στο κέντρο, εφόσον πρόκειται για φακό αρνητικής δύναμης και στα άκρα για φακό θετικής δύναμης. Αντίστοιχα, ένας φακός μπορεί να φέρει την ελάχιστη τιμή Dk/t στο παχύτερο σημείο του, δηλαδή στην περιφέρεια, εφόσον πρόκειται για φακό αρνητικής ισχύος και στο κέντρο για φακό θετικής ισχύος.

Στα συνήθη υλικά υδρογέλης όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαπερατότητα σε οξυγόνο. Η σχέση που συνδέει την διαπερατότητα Dk με την περιεκτικότητα επί % σε νερό στους 35 βαθμούς Κελσίου, είναι η σχέση κατά Morgan-Efron: $Dk = 1.67 \times 10^{-11} e^{*0.0397W}$.

Η σχέση αυτή επαληθεύεται στους φακούς HEMAόπου η μεταβιβαστικότητα συνδέεται αναλογικά με την περιεκτικότητα, βάσει πάντα του υλικού. Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι η μεταβιβαστικότητα ως ιδιότητα δεν είναι σταθερή στην μονάδα του χρόνου αφού συνδέεται με την ενδεχόμενη αφυδάτωση στην οποία μπορεί να περιέλθει ο φακός κατά την εφαρμογή.

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία⁶, οι φακοί υδρογέλης αν και διαθέτουν μεγάλη περιεκτικότητα νερού στην επιφάνειά τους, σπάνια θα υπερβούν τα 30 Barrer/cm, ενώ οι ημίσκληροι RGP φακοί δύνανται να φτάσουν μέχρι και τα 180 Barrer/cm. Ωστόσο, το προβάδισμα στο θέμα της μέτρησης της μεταβιβαστικότητας το κατέχουν οι φακοί σιλικόνης, με τιμή 340 Barrer, την

⁶Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α'. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση, σελ.5.25

στιγμή που οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης φθάνουν σε τιμή από 60 μέχρι 140Barrer.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι στα υλικά σιλικόνης-υδρογέλης, η διαπερατότητα σε οξυγόνο μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό, κάτι που δεν ισχύει με τα υλικά υδρογέλης. Αυτό συμβαίνει, διότι η αύξηση της περιεκτικότητας νερού επιτυγχάνεται με μείωση του ποσοστού σιλικόνης του υλικού του φακού. Αυτό υφίσταται μέχρι το ποσοστό του 50%, καθώς από εκεί και πάνω, η αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό οφείλεται στην αύξηση του ποσοστού υδρογέλης στο υλικό, που οδηγεί με τη σειρά της σε μια ανάλογη αύξηση της διαπερατότητας σε οξυγόνο.

3.7.1. ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ-ΥΔΡΟΓΕΛΗΣ

Η μελέτη αυτή είχε σκοπό να εξετάσει την μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο για διάφορους τύπους φακών σιλικόνης-υδρογέλης και να δημιουργήσει σχεδιαγράμματα, που θα απεικόνιζαν τις τιμές της μεταβιβαστικότητας για αυτούς τους φακούς για διαφορετικές κάθε φορά δυνάμεις.

Για αυτόν τον σκοπό, ερευνήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι φακών σιλικόνης-υδρογέλης σε αυτήν την μελέτη. Οι φακοί αυτοί ήταν oibalafilcon της εταιρείας PureVision, galyfilconA της AcuvueAdvance, IotrafilconA της FocusNight&Day, καθώς και ο φακός IotrafilconB της εταιρείας Air Optix. Οι φακοί αυτοί μετρήθηκαν για δυνάμεις φακών -3.00 και +3.00D, αντίστοιχα. Να σημειωθεί, ότι οι εν λόγω φακοί ήταν αποθηκευμένοι στα αντίστοιχα διαλύματα συντήρησης για τουλάχιστον 24 ώρες πριν ληφθούν οι μετρήσεις.

Η πρώτη μέτρηση που λήφθηκε στην εν λόγω μελέτη, ήταν εκείνη του πάχους του φακού. Έτσι, έγινε χρήση ενός σχεδιασμένου κατά παραγγελία δείγματος πάχους, προκειμένου να ληφθούν τα αντίστοιχα σχεδιαγράμματα πάχους για όλους τους ανωτέρω τύπους φακών στις αντίστοιχες δυνάμεις. Σε κάθε ομάδα μετρήθηκαν από πέντε φακοί σε τέσσερις μεσημβρινούς και καθορίστηκαν όλα τα σχήματα πάχους κατά μέσο όρο. Η μέτρηση του κεντρικού πάχους όλων των φακών έγινε σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο ISO 9339⁷ και τα γραφήματα πάχους ρυθμίστηκαν, ώστε να απαντώνται στα αντίστοιχα αποτελέσματά τους.

⁷International Standard ISO 9339-2 Ophthalmic optics – Contact lenses – Determination of Thickness – Part 2: Hydrogel contact lenses. 1998.

Η δεύτερη μέτρηση αφορούσε την διαπερατότητα οξυγόνου. Καθώς δεν υπήρχε κάποιο διεθνές έγκυρο πρότυπο για την μέτρηση της διαπερατότητας σε οξυγόνο των φακών σιλοκόνης-υδρογέλης με υψηλό Dk, η μέθοδος που εφαρμόστηκε, είχε περιγραφεί κατά το πρότυπο ISO 9913-2⁸. Μάλιστα, προσαρμόστηκε σε μία τροποποιημένη συσκευή οξυγόνου με Dk 1000, με σκοπό να εξετάσει το μέτρο του Dk για κάθε ένα από τα τέσσερα υλικά σιλικόνης-υδρογέλης. Οι μετρήσεις διαπερατότητας που έλαβαν χώρα, υπολογίσθηκαν σε πέντε φακούς επαφής δύναμης -1.00D, για κάθε υλικό.

Η τελευταία μέτρηση, που απασχόλησε την μελέτη, ήταν αυτή του υπολογισμού της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου. Τα σχεδιαγράμματα της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου ελήφθησαν για κάθε τύπο φακού και δύναμη, με βάση τα καθορισμένα γραφήματα πάχους και τις τιμές σε Dk. Έτσι, προκειμένου να υπολογισθεί η μέση τιμή οξυγόνου, όσο αφορά την μεταβιβαστικότητα οξυγόνου για την περιφερειακή και κεντρική περιοχή του φακού, διαιρέθηκε η ολική διαπερατότητα με το μέσο πάχος κάθε φακού. Το μέσο πάχος του φακού χρησιμοποιήθηκε για τον εν λόγω υπολογισμό, βάσει της κεντρικής διαμέτρου μεγέθους 8mm και της αντίστοιχης περιφερικής, μεγέθους από 8 έως 14.2mm.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε Dk παρατίθενται στον πίνακα 1. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, οι μετρημένες τιμές είναι γενικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις τιμές των παραμέτρων των φακών. Τα σχεδιαγράμματα πάχους όλων των τύπων φακών, δίνονται στο Σχ. 1 κατά μέσο όρο για δυνάμεις φακών +3.00 και -3.00D, αντίστοιχα.

⁸International Standard ISO 9913-2 Optics and optical instruments – Contact lenses – Part 2: Determination of oxygen permeability and transmissibility by the coulometric method. 2000

Table 1: Measured Oxygen Permeability

	Measured Dk x10 ⁻¹¹ [cm ² /sec]*[mlO ₂ /(ml*mmHg)]	STDEV
Pure Vision	104	10.0
Acuvue Advanced	77	1.6
Focus Night & Day	163	18.0
O2OPTIX	114	6.0

Τα σχεδιαγράμματα της μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο μετατράπηκαν στο χρώμα που κωδικοποιήθηκε για τρισδιάστατη και μηδενική απεικόνιση, με σκοπό να επεξηγήσει τις περιοχές που φέρουν υψηλή και χαμηλή μεταβιβαστικότητα αντίστοιχα. Έτσι, οι περιοχές σε πράσινο χρώμα είναι υψηλότερα στον πίνακα και φέρουν μεγαλύτερη μεταβιβαστικότητα αναδεικνύοντας τις διαφορές ανάμεσα στους διάφορους τύπους φακών και σχεδίων τους, καθώς και της ισχύος. Οι κεντρικές και περιφερειακές περιοχές εμφανίζονται ποσοτικά, με το μέσο πάχος και την μεταβιβαστικότητα να συνοψίζονται στον πίνακα 2. Για παράδειγμα, στον φακό Acuvue Advance με ισχύ -3.00D, το Dk/t ελαττώθηκε από 83 Barrer/cm στο κέντρο, σε 48 Barrer/cm στην περιφέρεια.

3.7.2. Η ΚΛΙΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Η φυσιολογική εξέλιξη της υγείας του κερατοειδή αποτελεί το αποτέλεσμα της χρήσης των φακών επαφής, για διόρθωση των διαθλαστικών ανωμαλιών της όρασης. Και ενώ η τεχνολογία έχει δημιουργήσει καινούρια και αναπτυγμένα υλικά φακών, η συνολική δαπάνη για έρευνα έχει δοθεί στην εξέταση και την κατανόηση των μηχανισμών που οδηγούν σε αλλαγές της φυσιολογίας του κερατοειδή και στην εμφάνιση επιπλοκών λόγω της εφαρμογής των φακών, με σκοπό την επίλυσή τους.

Έτσι, οι φακοί που προσφέρουν χαμηλά επίπεδα οξυγόνου είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση οξείων και χρόνιων επιπλοκών στους οφθαλμούς κατά την διάρκεια της καθημερινής ένδυσης, κυρίως όμως κατά την εκτεταμένη και συνεχή ένδυση των φακών. Οι επιπλοκές αυτές είναι η διόγκωση του κερατοειδή, οι επιθηλιακές μικροκύστες, η αυξημένη μυωπία, η υπεραιμία του limbus, η αγγείωση του κερατοειδή, ο ενδοθηλιακός πολυμεγεθισμός και η λέπτυνση του επιθηλίου⁹.⁽¹⁻³⁾ Τέλος, υπάρχει και το χαρακτηριστικό γνώρισμα της σύνδεσης των βακτηρίων στα επιθηλιακά κύτταρα και της ύπαρξης κατασταλασμένων βακτηρίων σε αυτά.

Έχει αποδειχθεί στην πράξη, ότι η ένταση των επιπλοκών αυτών μειώνεται με τη αύξηση της μεταβιβασιμότητας οξυγόνου¹⁰¹¹¹² και θα μπορούσε να υποθεθεί ότι αυτή η ελάττωση συνεχίζεται, με την παράλληλη αύξηση της μεταβίβασης οξυγόνου στον κερατοειδή. Μερικές από τις επιπλοκές που λαμβάνουν χώρα προέρχονται ως συνέπεια της μειωμένης οξυγόνωσης του κερατοειδή (υποξία), όπως η διόγκωση του κερατοειδούς.¹³¹⁴¹⁵¹⁶¹⁷

Μια θεμελιώδης απαίτηση ενός φακού επαφής είναι ότι επιτρέπει στα ικανοποιητικά ποσοστά του οξυγόνου να φθάσουν στον κερατοειδή, με σκοπό τον φυσιολογικό αερόβιο μεταβολισμό του.

¹⁰Holden BA, Sweeney DF. The significance of the microcyst response: a review. *Optom Vis Sci.* 1991; 68(9):703-707.

¹¹Bruce AS, Brennan NA. Epithelial, stromal and endothelial responses to hydrogel extended wear. *CLAO J.* 1993;19 (4): 211-216.

¹²Erickson P, Comstock T, Zantos SG. Effects of Hydrogel Lens Transmissibility Profiles on Local Corneal Swelling During Eye Closure. *Optom Vis Sci.* 1996;73(3):169-177.

¹³Erickson P, Comstock T, Zantos SG. Effects of Hydrogel Lens Transmissibility Profiles on Local Corneal Swelling During Eye Closure. *Optom Vis Sci.* 1996;73(3):169-177.

¹⁴Dumbleton KA, Chalmers RL, Richter DB, Fonn, D. Vascular response to extended wear of hydrogel lenses with high and low oxygen permeability. *Optom Vis Sci.* 2001;78(3):147-151.

¹⁵Dumbleton KA, Chalmers RL, Richter DB, Fonn D. Changes in myopic refractive error with nine months' extended wear of hydrogel lenses with high and low oxygen permeability. *Optom Vis Sci.* 1999;76(12):845-849.

¹⁶Cavanagh HD, Ladage PB, Yamamoto K et al. Effects of overnight wear of hyper – oxygen transmissible rigid and silicone hydrogel lenses on bacterial binding to the corneal epithelium: 13 month clinical trials. *EyeContactLens.* 2003;29(1s):14-16.

¹⁷O'Neal M, Polse KA, Sarver MD. Corneal response to rigid and hydrogel lenses during eye closure. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25(7):837-842.

Η εκτίμηση της αξίας της διαπερατότητας οξυγόνου του υλικού εξαρτάται από την μέθοδο μέτρησης. Και αυτό διότι όσο αφορά την μέθοδο των αερίων, ή την αντίστοιχη μέθοδο της πολυρογραφικής τεχνικής, κρίνεται αναγκαία μια ρύθμιση λόγω της επίδρασης της οριοθέτησης των τιμών αυτών¹⁸. Έτσι κρίνεται σημαντικό να αναφέρεται η εκάστοτε μέθοδος που χρησιμοποιείται κάθε φορά για την εκτίμηση της αξίας των εν λόγω μεθόδων. Αυτό το ζήτημα αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή και την χρήση του διεθνούς προτύπου ISO 8321-2 (2000). Παρά ταύτα, η όλη υπόθεση περιπλέχθηκε όταν έγινε σύσταση της χρήσης της μονάδας Pascal για την τιμή πίεσης, αντί της μονάδας mmHg για την ποσοτική εύρεση της διαπερατότητας υλικού φακού. Αυτό οδήγησε σε μια επιπλέον ρύθμιση της τιμής του Dk.

Η χρησιμότητα της ορθής εύρεσης της τιμής της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου για την αντιμετώπιση των διαφόρων επιπλοκών, έχει ιδιαίτερη σημασία. Οι Harvitt και Bonanno¹⁹ πρότειναν ότι μια τιμή $125 \cdot 10^{-9}$ σε Dk/t, θα ήταν ικανή για να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη εκδήλωση προβλήματος ανοξίας στρώματος και κατά την διάρκεια που ο ασθενής έχει κλειστά τα μάτια του. Αντίστοιχα, οι Holden και Mertz διαπίστωσαν²⁰ ότι η τιμή $87 \pm 3.3 \cdot 10^{-9}$ σε Dk/t, είναι αναγκαία ώστε να αποφευχθεί μια πιθανή εκδήλωση οιδήματος του κερατοειδή, ως αποτέλεσμα εσφαλμένης χρήσης των φακών επαφής την νύχτα.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι η μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους νοσοκομειακούς γιατρούς. Και αυτό, διότι βρίσκει εφαρμογή στην εύρεση του κατάλληλου υλικού φακού που μπορεί να

Παράσχει το απαραίτητο κάθε φορά ποσοστό οξυγόνου που χρειάζεται ο κερατοειδής του εκάστοτε ασθενή.

¹⁸Fatt, I. (1991). "Gastogas permeability measurements on RGP and silicon rubber lens materials." Int Contact Lens Clinic 18 (9&10):192-199.

¹⁹Harvitt DM, Bonanno JA. Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia. Optom Vis Sci. 1999;76(10):712-719.

²⁰Holden BA, Mertz GW. Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984;25(10):1161-1167.

Αυτές οι τιμές στην μεταβιβαστικότητα οξυγόνου αφορούν το μέσο ποσοστό ασθενών, αφού το 50% των υπολοίπων θα χρειαστούν υψηλότερα ποσοστά παροχής οξυγόνου. Όπως προκύπτει από την έρευνα, η μεγάλη μεταβιβαστικότητα οξυγόνου μπορεί να αποδειχθεί κατάλληλη για μερικούς ασθενείς. Επίσης, έχει διαπιστωθεί, ότι οι ασθενείς μεγαλύτερης ηλικίας χρειάζονται μεγαλύτερα ποσοστά οξυγόνου. Αντίθετα, οι άνθρωποι που δεν έχουν ανάγκη από ανάλογα υψηλά επίπεδα οξυγόνου, μπορούν να επωφεληθούν από την χρήση φακών με χαμηλότερα επίπεδα σε Dk/t.

Επιπλέον, ανάλογα με τον σχεδιασμό ενός φακού επαφής με σκοπό την ανάλογη χρήση του στην αντιμετώπιση διαφόρων οφθαλμικών ιδιομορφιών, έχουμε και ανάλογη μεταβολή του ποσοστού μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο που χρειάζεται ο κερατοειδής. Για παράδειγμα, οι μυωπικοί διορθωτικοί φακοί παρουσιάζουν μεγαλύτερο πάχος στην περιφέρεια, ενώ έχουν μια υψηλή τιμή σε Dk/t στο κέντρο, το ποσοστό οξυγόνου που χρειάζεται ο κερατοειδής του ασθενούς για την σωστή λειτουργία του, δεν μπορεί να εκτιμηθεί μέσω του υπολογισμού της μέσης παροχής οξυγόνου πέρα από το σημείο αυτό. Και αυτό μπορεί να υποστηριχθεί καθώς, σύμφωνα με τον Bruce²¹, ο φακός FocusNight&Day είναι ο φακός με το μεγαλύτερο ποσοστό μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο και ο μόνος ικανός στην μεταφορά οξυγόνου στον κερατοειδή. Έτσι, εκπληρώνει το κριτήριο των Holden και Mertz, για φακούς ισχύος από -6.00 έως +3.00D. Ωστόσο, θα ήταν δυνατόν να υπάρξουν και διαφορετικά σχέδια φακών με τέτοια δύναμη, που πέρα από αυτήν δεν θα ήταν εφικτό να εκπληρωθεί αυτό το κριτήριο.

Από την άλλη πλευρά, ο κλινικός προσδιορισμός του οξυγόνου που απαιτείται για την αποφυγή επιπλοκών υποξίας, είναι ιδιαίτερα δύσκολος και ως εκ τούτου ο έλεγχος της οφθαλμικής υγείας αποτελεί την βέλτιστη επιλογή από τους ειδικούς. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν αποτελεί προληπτικό μέτρο για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων. Ο πιο ασφαλής και ακριβής τρόπος για να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη ανεπάρκεια οξυγόνου, είναι να καθοριστεί η υψηλότερη μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο που μπορεί να διατεθεί για αυτόν τον σκοπό. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν μπορεί πάντα να υλοποιηθεί στην πράξη.

21. Bruce A. Local oxygen transmissibility of disposable contact lenses. *ConLensAntEye*. 2003; 26(4):189-196.

4. ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΟΥ ΟΙΔΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΤΟΕΙΔΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ.

Η σχέση που συνδέει το οίδημα του κερατοειδή και την μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο, μελετήθηκε τόσο για την καθημερινή όσο και για την παρατεταμένη χρήση φακών επαφής. Αξιολογήθηκε δηλαδή το ποσοστό οιδήματος του κερατοειδούς που προκαλείται από μια γκάμα φακών, κατά την εφαρμογή τους από τον χρήστη για πάνω από 36 ώρες. Η σχέση αυτή χρησιμοποιούμενη ανάλογα, καθιστά πραγματικό τον μέσο όρο του οιδήματος που λαμβάνει χώρα κατά την καθημερινή και εκτεταμένη εφαρμογή από άτομα νεαρής ηλικίας. Το μέσο αυτό ποσοστό εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ του +/- 1%.

Τα κρίσιμα ποσοστά μεταβιβαστικότητας οξυγόνου που πρέπει να παρέχει ένας φακός επαφής, με σκοπό να αποφευχθεί το οίδημα του κερατοειδή και για τις δύο μορφές ένδυσης, μπορούν να γίνουν κατανοητά μέσω της αξιολόγησής τους από τις καμπύλες που τα αναπαριστούν και που έχουν ληφθεί για αυτόν τον σκοπό. Βρέθηκε λοιπόν ότι κατά την καθημερινή ένδυση των φακών, η κρίσιμη μεταβιβαστικότητα οξυγόνου που παρέχεται από αυτούς, ανέρχεται σε ποσοστό όχι λιγότερο του $24.1 \pm 2.7 \times 10^{-9}$ (cmxmLO₂) / (secxmL xmmHg). Δηλαδή, σε ένα ισοδύναμο ποσοστό οξυγόνου (EOP) της τάξεως του 9.9% το οποίο δεν προκάλεσε οίδημα κερατοειδούς.

Αυτό το ποσοστό της μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο μπορεί να εκπληρωθεί²² με φακούς poly-HEMA στα πλαίσια της βασικής χαμηλής περιεκτικότητας σε νερό, με χρήση ενός μέσου πάχους των 33μm ή λιγότερο. Εναλλακτικά,²³ αυτή η ανάγκη σε μεταβιβαστικότητα οξυγόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί με φακούς μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε νερό, όπως ο φακός Duragel 75, με χρήση ενός μέσου πάχους των 166μm ή λιγότερο.

Η κρίσιμη μεταβιβαστικότητα οξυγόνου που χρειάστηκε για να μειωθεί το 'ολονύκτιο' οίδημα του κερατοειδή σε ποσοστό 4%, με την συμβολή των φακών υδρογέλης, εκτιμήθηκε σε ποσοστό $87 \pm 3.3 \times 10^{-9}$ (cmxmLO₂) / (secxmLxmmHg). Δηλαδή σε ένα ισοδύναμο ποσοστό του 17.9%. Ωστόσο, το ιδανικό αυτό επίπεδο μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο δεν δύναται να καλυφθεί χρησιμοποιώντας υλικά τύπου υδρογέλης. Να σημειωθεί, ότι μείωση

²²Fatt I and St. Helen R: Oxygen tension under an oxygen permeable contact lens. Am J Optom Arch Am AcadOptom 48:545,1971.

²³Fatt I and Lin D: Oxygen tension under a soft or hard, gas-permeable contact lens in the presence of tear pumping. Am J OptomPhysiol Opt 53:104, 1976.

του κερατοειδικού οιδήματος κατά 4%, συνιστά μείωση σε ποσοστό που αποτελεί το ιδανικό επίπεδο στο οποίο ο φακός δεν τίθεται σε εφαρμογή από τον χρήστη.

Για αυτόν τον σκοπό, έχει προταθεί από τους ειδικούς ένα κριτήριο συμβιβασμού που αποδέχεται την χρήση φακών υδρογέλης παρατεταμένης ένδυσης. Το κριτήριο αυτό προβλέπει ένα μηδενικό υπόλοιπο οιδήματος. Δηλαδή, την ύπαρξη κατάλληλου επιπέδου μεταβιβαστικότητας που να επιτρέπει στον κερατοειδή να αποκτήσει το φυσιολογικό του πάχος ύστερα από παρατεταμένο ύπνο με χρήση φακών, σε σύντομο χρόνο, έχοντας ο χρήστης ανοικτά τα μάτια. Για να υλοποιηθεί αυτό το κριτήριο, πρέπει η μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο να κυμαίνεται μεταξύ του $34.3 \pm 5.2 \times 10^{-9}$ (cm²xmL O₂) / (secx mLxmmHg) , δηλαδή σε ποσοστό 12.1%. Οι ειδικοί προτείνουν αυτό το ποσοστό ως την ελάχιστη μεταβιβαστικότητα οξυγόνου που χρειάζεται για παρατεταμένη ένδυση, λαμβάνοντας υπόψη ότι περιορίζει την διόγκωση του κερατοειδή κατά την ολονύκτια χρήση του φακού σε ποσοστό περίπου 8%. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στον κερατοειδή να αποκτήσει ξανά το φυσιολογικό του πάχος μετά το άνοιγμα των ματιών.

Η διατήρηση της φυσιολογίας του κερατοειδή σε περίπτωση που εφαρμόζεται φακός υδρογέλης, εξαρτάται πρώτιστα από την επαρκή διασπορά του οξυγόνου στην επιφάνεια του κερατοειδή διαμέσου του φακού επαφής. Και ενώ έχει βρεθεί το ελάχιστο επίπεδο οξυγόνου που απαιτείται για την αποφυγή πιθανής εκδήλωσης διόγκωσης του κερατοειδή, οι κρίσιμες (critical) μεταβιβαστικότητες οξυγόνου που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκαίων σε οξυγόνο απαιτήσεων του, τόσο κατά την καθημερινή όσο και κατά την εκτεταμένη χρήση φακών, δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί.

Επίσης, έχει αναφερθεί σε σχετικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από τους Holden, Mertz και McNally,²⁴ ότι έχουν συμβεί αλλαγές στο πάχος του κερατοειδή κατά την παρατεταμένη χρήση τριών τύπων φακών υδρογέλης. Αυτοί οι φακοί είχαν διατεθεί με διαφορετικές δυνάμεις vertex στην οπίσθια επιφάνειά τους, για χρονικό ορίζοντα 7 ημερών. Από την μελέτη διαπιστώθηκε ότι²⁵ η παρατεταμένη χρήση φακών κατά την διάρκεια της νύκτας, έχει ως

²⁴Holden BA, Mertz GW, and McNally JJ: Corneal swelling response to contact lenses worn under extended wear conditions. Invest Ophthalmol Vis Sci 24:218, 1983.

²⁵Fatt I and St. Helen R: Oxygen tension under an oxygen permeable contact lens. Am J Optom Arch Am Acad Optom 48:545, 1971

συνέπεια την εμφάνιση οιδήματος του κερατοειδή σε ποσοστό 10-15% και σε ποσοστό 2-6% ως απόρροια της χρήσης κατά την διάρκεια της ημέρας. Τέλος, διαπιστώθηκε²⁶ ότι όταν οι φακοί δεν τίθενται σε εφαρμογή, ο κερατοειδής παρουσιάζει την ικανότητα της συνεχούς ελάττωσης της εν λόγω διόγκωσης σε ποσοστό περίπου 8% έχοντας τα μάτια ανοικτά μετά από παρατεταμένο ύπνο.

Παρά το γεγονός ότι οι μακροπρόθεσμες συνέπειες από την παρουσία οιδήματος στον κερατοειδή, εξακολουθούν να υφίστανται κατά την διάρκεια συνεχούς χρήσης, με τους φακούς να μην είναι διαδεδομένοι, η ανάπτυξη φακών που δεν προκαλούν κερατοειδική διόγκωση είναι αναγκαία. Άρα, κρίνεται αναγκαίος εκ του προοιμίου ο καθορισμός²⁷ της σχέσης μεταξύ του προκληθέντος από τον φακό οιδήματος και της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου. Και αυτό, ώστε να μπορεί να προβλεφθεί το μέσο ποσοστό οιδήματος για κάθε φακό γνωστής μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο, αλλά²⁸ και της κρίσιμης μεταβιβαστικότητας οξυγόνου που χρειάζεται ο φακός προκειμένου να αποφευχθεί το εν λόγω οίδημα τόσο κατά την ημερήσια, όσο και κατά την παρατεταμένη χρήση των φακών επαφής.

Οι στόχοι αυτοί εκπληρώθηκαν μέσω της μέτρησης της επίδρασης του κερατοειδικού οιδήματος διάρκειας άνω των 36 ωρών, λαμβάνοντας υπόψη έναν φυσιολογικό κύκλο από την φάση της αφύπνισης έως αυτήν της κατάκλισης, με μια ποικιλία φακών με ευρύ φάσμα σε μεταβιβαστικότητες οξυγόνου.

Τα άτομα που συμμετείχαν στην μελέτη δεν ήταν χρήστες φακών επαφής και μάλιστα δεν αντιμετώπιζαν κάποια οφθαλμική πάθηση. Οι μετρήσεις του κεντρικού και περιφερειακού πάχους πραγματοποιήθηκαν για όλους τους τύπους φακών με την συνδρομή κατάλληλης για αυτόν τον σκοπό συσκευής, με μια σχετική ακρίβεια του +/- 1μm. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μέσου πάχους για κάθε τύπο φακού με κεντρικό πάχος 6mm, σύμφωνα με έναν τρόπο ανάλογο με αυτόν που ορίζεται από τον Fatt. Να σημειωθεί, ότι οι μεταβιβαστικότητες οξυγόνου που χρειάστηκαν οι φακοί αυτοί, ελήφθησαν χρησιμοποιώντας γνωστοποιημένα δεδομένα που σχετίζονται

²⁶Fatt I and Lin D: Oxygen tension under a soft or hard, gas-permeable contact lens in the presence of tear pumping. Am J OptomPhysiol Opt 53:104, 1976.

²⁷Fatt I and St. Helen R: Oxygen tension under an oxygen permeable contact lens. Am J Optom Arch Am AcadOptom 48:545, 1971.

²⁸Fatt I and Lin D: Oxygen tension under a soft or hard, gas-permeable contact lens in the presence of tear pumping. Am J OptomPhysiol Opt 53:104, 1976.

με την διαπερατότητα σε οξυγόνο ενός πολυμερούς, λαμβάνοντας υπόψη πάντα τις υποδείξεις των κατασκευαστών.

Το ποσοστό οξυγόνου που πρέπει να παρέχει κάθε φακός στον κερατοειδή για την εύρυθμη λειτουργία του, εκτιμήθηκε με βάση το κριτήριο του 'ισοδύναμου ποσοστού οξυγόνου' (EOP).²⁹³⁰³¹³²³³ Η έκφραση αυτή χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή του ποσοστού οξυγόνου που παρέχεται στην οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδή και που εκφράζεται ως η μέση συγκέντρωση οξυγόνου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, ένας φακός που μεταφέρει όλο το οξυγόνο που διαθέτουμε στην ατμόσφαιρα, μπορεί να περιέχει ένα ισοδύναμο ποσοστό οξυγόνου μεγέθους 20.9%.

Τα άτομα λοιπόν που συμμετείχαν εθελοντικά στην έρευνα που διεξήχθη, όντας χωρισμένα σε ομάδες, φόρεσαν ως μέλη της κάθε μίας από αυτές, συγκεκριμένο τύπο φακού με ορισμένο είδος υλικού και με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτό ήταν προγραμματισμένο να συμβεί κατά την διάρκεια της ημέρας, αλλά και κατά την διάρκεια της νύκτας για τις ανάγκες τόσο της ημερήσιας, όσο και της παρατεταμένης ένδυσης των φακών επαφής.

Το ποσοστό της διόγκωσης που προκλήθηκε στον κερατοειδή από τους φακούς, υπολογίστηκε μέσω της μέτρησης του πάχους του κερατοειδή με την χρήση ενός ηλεκτρονικού ψηφιακού παχύμετρου.³⁴³⁵³⁶ Οι βασικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πριν και μετά την εφαρμογή του φακού και συγκεκριμένα το πρωί της πρώτης ημέρας χρήσης τους. Οι υπόλοιπες μετρήσεις ελήφθησαν και αυτές με βάση συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα που είχε οριστεί για αυτόν τον σκοπό κατά τις φάσεις εναλλαγής, δηλαδή από την φάση της αφύπνισης (ημέρα) σε αυτήν της κατάκλισης (νύκτα) και αντίστροφα, με τους φακούς να έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις, είτε στην οπίσθια είτε στην πρόσθια επιφάνειά τους. Ωστόσο, κατά την τελευταία μέτρηση, θεωρήθηκε σωστό να μην

²⁹Hill RM and Jeppe WH: Hydrogels: is a pump still necessary? Int Contact Lens Clin 2(4):27, 1975.

³⁰Hill RM: Hydrogel lens design: the thick and thin of it. In Proceedings of the Second National Research Symposium on Soft Contact Lenses, Princeton, ExcerptaMedica, 1977, pp. 51-56.

³¹Benjamin WJ and Hill RM: Ultra-thins: an oxygen update. Contact Lens Forum 4(1):43,1979.

³²Hill RM: Oxygen permeable contact lenses: how convinced is the cornea? Int Contact Lens Clin 4(2):34,1977.

³³Roscoe WR and Hill RM: Corneal oxygen demands: a comparison of the open- and closed- eye environments. Am J OptomPhysiol Opt 57:67, 1980.

³⁴Holden BA, Mertz GW, and McNally JJ: Corneal swelling response to contact lenses worn under extended wear conditions. Invest Ophthalmol Vis Sci 24:218, 1983.

³⁵Holden BA, Polse KA, Fonn D, and Mertz GW: Effects of cataract surgery on corneal function. Invest Ophthalmol Vis Sci 22:343, 1982.

³⁶Holden BA, and Payor S: Changes In thickness in the corneal layers. Am J OptomPhysiol Opt 56:821, 1979.

εφαρμόσουν οι εθελοντές τους φακούς που τους δόθηκαν κατά την διάρκεια της νύκτας, λόγω του μεγέθους του οιδήματος του κερατοειδή που εκδηλώθηκε κατά την διάρκεια της ημέρας. Η διόγκωση αυτή εκτιμήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την μέση διαφορά πάχους του κερατοειδή, συγκρινόμενη με τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα αμέσως μετά την εφαρμογή του φακού.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε βασισμένη σε δύο στόχους που συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους και που έχουν διττή σημασία. Ο πρώτος στόχος ήταν να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα στην μεταβιβαστικότητα οξυγόνου του φακού και την ποσότητα του οιδήματος του κερατοειδή τόσο κατά την ημερήσια, όσο και κατά την παρατεταμένη χρήση. Αυτό, με γνώμονα να καταστεί δυνατή η εκτίμηση του ποσοστού του οιδήματος του κερατοειδή που προκαλείται από τον εκάστοτε φακό υδρογέλης γνωστής μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο. Ο δεύτερος στόχος ήταν να καθοριστούν τα κρίσιμα /σημαντικά επίπεδα μεταβιβαστικότητας οξυγόνου που πρέπει να διατίθενται από έναν φακό στον κερατοειδή, προκειμένου να αποφευχθεί το οίδημα του κερατοειδή τόσο κατά την ημερήσια, όσο και κατά την παρατεταμένη ένδυση.

Η σημασία καθενός από αυτούς τους στόχους έγκειται³⁷ στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας που συνεπάγεται η όποια μείωση του δείκτη διόγκωσης του κερατοειδή, βάσει του υλικού και του σχεδιασμού καθενός από αυτούς τους φακούς. Τέλος, έγκειται³⁸ στην εφαρμογή των οδηγιών χρήσης εκ μέρους του χρήστη, με σκοπό μεταξύ άλλων, την αναγνώριση των φακών που δεν παρέχουν επαρκή οξυγόνωση στον κερατοειδή.

³⁷Fatt I and St. Helen R: Oxygen tension under an oxygen permeable contact lens. Am J Optom Arch Am AcadOptom 48:545, 1971.

³⁸Fatt I and Lin D: Oxygen tension under a soft or hard, gas-permeable contact lens in the presence of tear pumping. Am J OptomPhysiol Opt 53:104, 1976.

Η αναποτελεσματικότητα των προσπαθειών που στόχευαν στον καθορισμό της μεταβιβαστικότητας οξυγόνου που απαιτείται για την αποφυγή του εν λόγω οιδήματος τόσο κατά την ημερήσια, όσο και κατά την παρατεταμένη ένδυση³⁹⁴⁰⁴¹⁴²⁴³ των φακών, οφείλεται στο κεντρικό πάχος που χρησιμοποιήθηκε στον καθορισμό του Dk/L. Τέλος, οφείλεται στο ότι οι μελέτες που διεξήχθησαν, δεν ολοκληρώθηκαν κατά την φυσιολογική μετάβαση από την φάση της αφύπνισης σε αυτήν της κατάκλισης. Δηλαδή, κατά το πέρασμα από το χρονικό διάστημα της ημέρας σε αυτό της νύκτας και αντίστροφα.

Σύμφωνα με τον Wilson,⁴⁴ η χρήση ενός φακού κατασκευασμένου από γνωστό πολυμερές ίδιου κεντρικού πάχους για τον καθορισμό της μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο, είναι δυνατόν να παράγει ίδια ποσότητα σε αυτό. Έχει αποδειχθεί,⁴⁵ ότι οι φακοί υδρογέλης μεγαλύτερης αρνητικής ισχύος προκαλούν μεγαλύτερη κεντρική διόγκωση του κερατοειδούς, σε αντιδιαστολή με τους αντίστοιχους φακούς μικρότερης ισχύος ίδιου πολυμερούς με ίδιο κεντρικό πάχος. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο περιφερικό πάχος του φακού.

Επιπλέον, είναι κατανοητό ότι η μέση μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο, η οποία γίνεται εμφανής από το μετρημένο μέσο πάχος των φακών, συνιστά μια καλύτερη πρόγνωση της διόγκωσης του κερατοειδή για την μέγιστη διόγκωση του φακού για την πρώτη μέρα, την ολονύκτια διόγκωση, δηλαδή αυτή που συμβαίνει κατά την διάρκεια της νύκτας, με τον ασθενή να φορά τον φακό κατά την κατάκλιση. Τέλος, αποτελεί καλύτερη πρόγνωση και για την υπολειπόμενη διόγκωση κατά την δεύτερη μέρα.

³⁹Mandell RB and Polse KA: Contact lenses worn during sleep and rest periods. J Am Optom Assoc 41:937, 1970.

⁴⁰Harris MG, Sanders TL, and Zisman F: Napping while wearing hydrogel contact lenses. Int Contact Lens Clin 2(1):84, 1975.

⁴¹Sarver MD and Staroba JE: Corneal edema with contact lenses under closed-eye conditions. Am J Optom Physiol Opt 55:739, 1978.

⁴²Sarver MD, Baggett DA, Harris MG, and Louie K: Corneal edema with hydrogel lenses and eye closure: effect of oxygen transmissibility. Am J Optom Physiol Opt 58:386, 1981.

⁴³Polse KA and Decker M: Oxygen tension under a contact lens. Invest Ophthalmol Vis Sci 18:188, 1979.

⁴⁴Wilson G: Hydrogel lens power and oxygen transmissibility. Am J Optom Physiol Opt 56:430, 1979.

⁴⁵Holden BA, Mertz GW and McNally JJ: Corneal swelling response to contact lenses worn under extended wear conditions. Invest Ophthalmol Vis Sci 24:218, 1983.

4.1. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΞΥΠΝΗΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΑΥΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΛΙΣΗΣ.

Διάφοροι ερευνητές είχαν μελετήσει κατά καιρούς την διόγκωση του κερατοειδή που προκαλείται από διάφορους τύπους φακών. Οι φακοί αυτοί είχαν δοκιμαστεί κατά την πάροδο μικρών περιόδων- με κλειστά τα μάτια- και είχαν προηγηθεί από περιόδους τουλάχιστον 24h κατά το πέρασμα των οποίων δεν χρησιμοποιήθηκαν φακοί από την πλευρά του εκάστοτε χρήστη.⁴⁶⁴⁷⁴⁸⁴⁹

Έτσι και στο έγγραφο των Holden, Mertz και McNally,⁵⁰ όπως και στην παρούσα μελέτη, μια περίοδος φυσιολογικού ύπνου προηγήθηκε από την ένδυση φακών κατά την διάρκεια της ημέρας με ανοικτά μάτια, όπως ακριβώς θα συνέβαινε και στην φυσιολογική κατάσταση με παρατεταμένη χρήση.

4.2. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ

Ένα σχετικό μοντέλο παρουσιάστηκε στην μελέτη για τον προσδιορισμό των κρίσιμων απαιτήσεων σε οξυγόνο, τόσο κατά την καθημερινή όσο και κατά την εκτεταμένη ένδυση. Σε αυτό θεωρήθηκε ότι η σειρά απόκρισης της εν λόγω διόγκωσης από κάποιο ολοκληρωμένο και μέγιστο επίπεδο για φακούς επαφής μηδαμινής μεταβιβαστικότητας οξυγόνου, έρχεται σε αντίθεση με εκείνη ενός βασικού επιπέδου. Αυτό δημιουργεί αύξηση στην μεταβιβαστικότητα οξυγόνου, δίχως να μειώνει την απόκριση της διόγκωσης.

Έχει αποδειχθεί ότι τα επίπεδα εμφάνισης ολονύχτιας διόγκωσης σε ασθενείς με καταρράκτη έχουν περιοριστεί στο 4% σε σχέση με αυτούς που δεν φορούσαν καθόλου φακούς.⁵¹⁵² Μάλιστα, οι προεγχειρητικοί ασθενείς με καταρράκτη εμφάνιζαν ‘ολονύκτια διόγκωση’ περίπου 25%.⁵³ Οι καμπύλες επαναληψιμότητας που παρουσιάζονται στα σχ 6-8 και στον Πιν4,

⁴⁶Harris MG, Sanders TL, and Zisman F: Napping while wearing hydrogel contact lenses. *Int Contact Lens Clin* 2(1):84, 1975.

⁴⁷Sarver MD and Staroba JE: Corneal edema with contact lenses under closed-eye conditions. *Am J OptomPhysiol Opt* 55:739. 1978.

⁴⁸Sarver MD, Baggett DA, Harris MG, and Louie K: Corneal edema with hydrogel lenses and eye closure: effect of oxygen transmissibility. *Am J OptomPhysiol Opt* 58:386, 1981.

⁴⁹Polse KA and Decker M: Oxygen tension under a contact lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 18:188, 1979.

⁵⁰Holden BA, Mertz GW and McNally JJ: Corneal swelling response to contact lenses worn under extended wear conditions. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24:218, 1983.

⁵¹Mandell RB and Fatt I: Thinning of the human cornea on awakening. *Nature* 208:292, 1965.

⁵²Mertz GW: Overnight swelling of the living human cornea. *J Am OptomAssoc* 51:211, 1980.

⁵³Korb DR, Richmond PP, and Herman JP: Physiological response of the cornea to hydrogel lenses before and after cataract extraction. *J Am OptomAssoc* 51:267, 1980.

χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να παραχθούν οι σημαντικές μεταβιβαστικότητες σε οξυγόνο που θα περιόριζαν το προκληθέν από τους φακούς οίδημα. Και αυτό τόσο κατά την καθημερινή (μέγιστη διόγκωση την πρώτη ημέρα), όσο και κατά την παρατεταμένη ένδυση (όλη την νύκτα καθώς και την δεύτερη ημέρα υπολειπόμενης διόγκωσης.)

4.2.1. Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΩΣΤΕ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ ΤΟ ΟΙΔΗΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΧΡΗΣΗ

	-3.00D			+3.00D		
		M.O Πάχους			M.O. Πάχους	
	Κεντρικό Πάχος	0-8mm diam	8-12mm diam	Κεντρικό Πάχος	0-8mm diam	8-12mm diam
Purevision	93.9	120.2	152.0	132.2	98.4	91.5
Acuvue Advance	68.8	92.4	161.9	153.6	119.5	160.6
Focus Night&Day	75.0	93.4	107.8	149.2	117.4	99.3
O2 Optics	67.6	88.4	143.3	128.9	94.5	133.6

	-3.00D			+3.00D		
		M.O Dk/t			M.O. Dk/t	
	Κεντρικό Dk/t	0-8mm diam	8-12mm diam	Κεντρικό Dk/t	0-8mm diam	8-12mm diam
	x10⁻⁹[cm/sec]*[mlO2/(ml*mmHg)]			x10⁻⁹[cm/sec]*[mlO2/(ml*mmHg)]		
Purevision	111	86	68	79	106	114
Acuvue Advance	112	83	48	50	64	48
Focus Night&Day	217	174	151	109	139	164
O2 Optics	169	129	80	88	120	85

Τα κρίσιμα επίπεδα μεταβιβαστικότητας σε οξυγόνο που απαιτούνται για ένδυση με ανοιχτά αλλά και κλειστά μάτια και που στηρίζονται σε προηγούμενες εκτιμήσεις των ποσοστών οξυγόνου προς αποφυγήν του

οιδήματος,⁵⁴ έχουν προταθεί ως $5 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$, για χρήση φακού με ανοικτά μάτια. Επίσης, έχει προταθεί ως $15 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$, για εφαρμογή φακού με κλειστά μάτια.⁵⁵

Σύμφωνα με τους πίνακες 2&3 ένας αριθμός φακών που πληρούν αυτά τα κριτήρια, προκάλεσαν σημαντική κερατοειδική διόγκωση κατά την καθημερινή και παρατεταμένη ένδυση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ποσοστό οξυγόνου που χρειάζεται για να αποφευχθεί το εν λόγω οίδημα είναι κάπως μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που είχε προταθεί νωρίτερα και μάλιστα συγκλίνουν με τα επίπεδα που είχαν οριστεί από τους Holden, Sweeney και Sanderson.⁵⁶

Τα αποτελέσματα της μελέτης κατέληξαν στο ότι καμία - κατά μέσο όρο- κερατοειδική διόγκωση δεν πρόκειται να λάβει χώρα υπό καθημερινές συνθήκες ένδυσης εάν οι φακοί αποκτήσουν ένα Dk/Lav τουλάχιστον κατά $24.1 \pm 2.7 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$, δηλαδή ένα ισοδύναμο ποσοστό οξυγόνου της τάξεως του 9.9%. Αυτό το αποτέλεσμα συνάδει με το αποτέλεσμα του δείγματος κατά Sarver, δηλαδή $20 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$ για την χαμηλότερη τιμή Dk/L δίχως οίδημα με εφαρμογή των φ.ε. κατά το άνοιγμα των ματιών.

Προκειμένου να εκλειφθεί η μέση περιεκτικότητα σε νερό ενός φακού από υλικό PolyHema χρειάζεται ένα μέσο πάχος φακού κατά 33 μm ή λιγότερο. Αντίθετα, προκειμένου να εκλειφθεί μία αντίστοιχη περιεκτικότητα νερού από υλικό φακού Duragel 75, απαιτείται ένα μέσο πάχος της τάξεως των 166 μm ή λιγότερο.

4.2.2. Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ ΤΟ ΟΙΔΗΜΑ ΜΕ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΕΝΔΥΣΗ

Η εξέταση την κρίσιμων απαιτήσεων σε οξυγόνο για τους φακούς παρατεταμένης ένδυσης, μπορεί να συμπεριλάβει κάποιες εναλλακτικές προτάσεις. Η πρώτη πρόταση είναι η μεταβιβασιμότητα σε οξυγόνο που χρειάζεται για την αντιμετώπιση του 'ολονύκτιου' οιδήματος να βρίσκεται στο 4%. Αυτό είναι το επίπεδο στο οποίο υπάρχει χωρίς χρήση φακού.

Μια δεύτερη εναλλακτική πρόταση μπορεί να αποτελέσει η μηδενική υπολειπόμενη διόγκωση, που σημαίνει ότι η μεταβιβασιμότητα σε οξυγόνο

⁵⁴Polse KA and Mandell RB: Critical oxygen tension at the corneal surface. Arch Ophthalmol 85:505, 1970.

⁵⁵Polse KA and Decker M: Oxygen tension under a contact lens. Invest Ophthalmol Vis Sci 18:188, 1979.

⁵⁶Holden BA, Sweeney DF, and Sanderson G: The minimum pre-corneal oxygen tension to avoid corneal edema. Invest Ophthalmol Vis Sci, 25:476, 1984.

ενός φακού θα μπορούσε να οδηγήσει το εκάστοτε επίπεδο οιδήματος του κερατοειδή στο μηδέν, αμέσως μετά το άνοιγμα των ματιών.

Να σημειωθεί, ότι το κριτήριο της μηδενικής υπολειπόμενης διόγκωσης όσο αφορά την εκτεταμένη ένδυση, επιτρέπει διόγκωση καθ' όλη την διάρκεια της νύκτας σε επίπεδα μεγαλύτερα του 4%. Αυτό επειδή ο κερατοειδής είναι σε θέση να περιορίσει το οίδημα αμέσως μετά το άνοιγμα των ματιών.

Από την σχέση που παράγεται ανάμεσα στο Dk/Lavg των φακών και της μηδενικής υπολειπόμενης διόγκωσης, όπως προκύπτει από το Σχ.8 και τον Πιν.4, το κρίσιμο Dk/Lavg των φακών που απαιτείται για να εκπληρωθεί αυτό το κριτήριο είναι $34.3 \pm 5.2 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$, ένα δηλαδή ισοδύναμο ποσοστό οξυγόνου κατά 12.1%. Το πάχος του φακού που απαιτείται προς εκπλήρωση αυτού του κριτηρίου φαίνεται εφικτό από κατασκευαστικής άποψης, τουλάχιστον σε υλικά υδρογέλης με υψηλότερη περιεκτικότητα νερού.

Το Dk/Lavg το οποίο περιορίζει την ολονύκτια διόγκωση κατά 4% προβλέπεται να βρίσκεται στο $87.0 \pm 3.3 \times 10^{-9} (\text{cm} \times \text{mlO}_2) / (\text{sec} \times \text{ml} \times \text{mmHg})$, δηλαδή ένα ισοδύναμο ποσοστό οξυγόνου κατά 17.9%. Για να εκπληρωθεί το κριτήριο αυτό με φακούς υδρογέλης, θα μπορούσε το μέσο πάχος του φακού να μειωθεί αρκετά όσο βρισκόταν υπό κατασκευή, όσο αυτό θα ήταν εφικτό (βλ. Πιν.5).

5. ΟΙ ΦΑΚΟΙ ΕΠΑΦΗΣ ΑΥΡΙΟ

Η ορολογία φακοί επαφής δεν περιορίζεται μόνο στο βασικό κομμάτι της επιστήμης της οπτικής, ένα πεδίο με ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, αλλά το συνδυάζει και άρα συνδυάζεται τόσο με τον κλάδο της οφθαλμολογίας, όσο και με αυτόν της χημείας, της βιολογίας και των υλικών. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από την απρόσκοπτη έρευνα και εξέλιξη στους ανωτέρω τομείς. Μάλιστα, αρκετές από αυτές τις εφαρμογές βρίσκονται στην φάση της έρευνας και δεν αποκλείεται να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση διαφόρων καταστάσεων των οφθαλμών.

Είναι ενθαρρυντικό ότι ο φακός επαφής έρχεται σε επαφή με τον κερατοειδή καθώς ο τελευταίος διακρίνεται από ισχυρό μεταβολισμό και άρα θα μπορούσε να βρει εφαρμογή στην θεραπεία διαφόρων παθολογικών καταστάσεων. Για παράδειγμα τα τελευταία χρόνια ερευνάται ένα νέο είδος φακού επαφής, που θα μπορούσε να βρει εφαρμογή από άτομα που πάσχουν από διαβήτη, έτσι ώστε να μην χρειαστεί να παρθεί αίμα για τον γλυκαιμικό έλεγχο (έλεγχο της γλυκόζης).

Πρόκειται για μια χημική αντίδραση μεταξύ του φακού και της γλυκόζης στα δάκρυα και σε περίπτωση που παρατηρηθεί αλλαγή, αλλάζουν χρώμα. Αυτό που έχει ξεχωριστή σημασία είναι ότι το σάκχαρο χρειάζεται 30 λεπτά να φθάσει στα δάκρυα και μάλιστα νωρίτερα από ότι στο αίμα με τον ίδιο χρόνο.

Παράλληλα οι φακοί αυτοί θα κάνουν αυτόματο τσεκάπ ελέγχοντας τους βιοδείκτες στο αίμα. Από την άλλη πλευρά, μια νέα μέθοδος τσεκάπ με φακούς εξοπλισμένους με κύκλωμα μικροϋπολογιστή (microchip) δηλαδή με την συνδρομή ενός ραδιοπομπού μέσα στο κύκλωμα (bioniccontactlens) μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες για την υγεία του ασθενούς. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω ότι τα αιμοφόρα αγγεία του οφθαλμού περιέχουν πολλούς βιοδείκτες, που μπορούν να αποσπάσουν πληροφορίες για παθήσεις του οργανισμού συνδεδεμένες με το μάτι, όπως την αναιμία, τον διαβήτη, την χοληστερόλη κλπ.

Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί αυτό του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, όπου πρόσφατα ερευνάται η χρήση έγχρωμων φίλτρων σε φακούς επαφής για την χρήση τους σε δυσλεκτικά άτομα και γενικά σε άτομα που εμφανίζουν δυσκολίες στην ανάγνωση. Το πιο σύνηθες για ένα άτομο είναι να διακρίνει ένα εικονίδιο με οποιοδήποτε άλλο χρώμα παρά το λευκό. Αυτό συμβαίνει επειδή στο λευκό φως μπορεί να προκληθεί σύγχυση όταν ο εγκέφαλος επεξεργαστεί την ανάλογη πληροφορία.

Για τον λόγο αυτό φακοί επαφής που φέρουν ειδικά φίλτρα, μπορούν να περιορίσουν την διερχόμενη ακτινοβολία απορροφώντας συγκεκριμένα μήκη κύματος, δηλαδή χρώματα. Ας θυμηθούμε ότι οι φωτοϋποδοχείς του οφθαλμού ανιχνεύουν βασικά μόνο τρία χρώματα και η σύνθεση της πληροφορίας αυτής οδηγεί στην αντίληψη της έγχρωμης εικόνας. Αυτό έχει ως συνέπεια να ελαττώνεται ο όγκος της πληροφορίας που πρέπει να επεξεργαστεί ο εγκέφαλος για την ανάγνωση, αφού χρησιμοποιούνται μόνο τρία μήκη κύματος/χρώματα για αυτόν τον σκοπό, παρέχοντας έτσι την ανάλογη έγχρωμη εικόνα, δίχως να καθίσταται αναγκαία η χρήση επιπλέον χρωμάτων.

Επιπλέον, επιστήμονες από το NewSouthWalesUniversity χρησιμοποίησαν ενήλικα βλαστοκύτταρα, προκειμένου να θεραπεύσουν παθήσεις του κερατοειδή. Συγκεκριμένα αφαίρεσαν βλαστοκύτταρα από τα μάτια τριών ασθενών και τα τοποθέτησαν πάνω στους φακούς επαφής του καθενός, τους οποίους εν συνεχεία εφάρμοσαν πάνω στα μάτια τους για τρεις εβδομάδες. Η μετακίνηση των βλαστοκυττάρων από τους φακούς είχε ως συνέπεια την θεραπεία του κερατοειδή.

Επιπροσθέτως ερευνητές στο University of Florida κατασκευάζουν φακούς στους οποίους τοποθετούν φάρμακα κατάλληλα για κοινές οφθαλμικές παθήσεις, όπως η ξηροφθαλμία και το γλαύκωμα. Ο φακός κατανέμει το φάρμακο πιο σωστά στο μάτι από ότι ένα κολλύριο, βοηθώντας έτσι καταλυτικά στην θεραπεία.

Συνεπώς, αναμένονται σημαντικές εξελίξεις σε όλους τους τομείς που σχετίζονται με τους φακούς επαφής. Ένας από αυτούς αποτελεί και η φροντίδα τους. Έτσι, καθώς φαίνεται να επικρατεί η τάση για στροφή προς τα οικολογικά προϊόντα, πολλές εταιρείες κατασκευής συστημάτων φροντίδας έχουν προσδώσει βαρύτητα στην δημιουργία προϊόντων βασισμένα στην φύση αλλά και στον ίδιο τον οφθαλμό. Δηλαδή την κατασκευή προϊόντων που θα είναι βιομιμητικά ή με άλλα λόγια θα φέρουν ουσίες ως κύριους δραστικούς παράγοντες που βρίσκονται μέσα στον οφθαλμό, αλλά και γενικότερα σε ολόκληρο τον ανθρώπινο οργανισμό.

5.1. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ: Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ Dk.

Έχει καταγραφεί ότι το επίπεδο οξυγόνου που παρέχεται στον κερατοειδή από οποιοδήποτε φακό σιλικόνης-υδρογέλης είναι ικανοποιητικό για την υγεία του ασθενούς. Μάλιστα, η παροχή του μέγιστου δυνατού ποσοστού οξυγόνου δεν επηρεάζει και δεν βλάπτει την υγεία του οφθαλμού γενικά, αλλά ούτε και του κερατοειδή ειδικότερα του ασθενούς.⁵⁷

Από την άλλη πλευρά, ένας φακός επαφής σιλικόνης-υδρογέλης με την χαμηλότερη μεταβιβαστικότητα σε οξυγόνο(Dk/t) είναι αρκετά καλός, αλλά παρέχει μικρή τιμή στην προσπάθεια του ολοκληρωτικού περιορισμού της υποξίας. Δηλαδή οι τιμές του δεν δύναται να περιορίσουν εντελώς την υποξία.

Το Dk και το Dk/t είναι σημαντικά, αν σκεφτεί κανείς ότι για να έχει την βέλτιστη δυνατή υγεία χρειάζεται τα πιο υψηλά εφικτά επίπεδα οξυγόνου, με την διαφορά όμως να έγκειται στο ότι δεν αρκεί η καλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα σε οξυγόνο. Αντίθετα πρέπει να συντρέχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες προκειμένου να επιτευχθεί σωστή και ασφαλής ένδυση. Μερικοί από τους παράγοντες αυτούς είναι η επαρκής κινητικότητα, ο έλεγχος αποβολής, ο οπτικός και φυσικός σχεδιασμός, η οφθαλμική συμβατότητα, καθώς και η διαβρεξιμότητα της επιφάνειας.

Οι χρήστες των φακών επαφής χρειάζονται προφανώς το υψηλότερο Dk, καθώς ο κερατοειδής είναι σχεδιασμένος για να δέχεται φυσιολογική οξυγόνωση κατά την διάρκεια της ημέρας και την χαμηλότερη κατά την νύκτα από το βλέφαρο. Οποιαδήποτε άλλη μείωση στην διαθεσιμότητα σε οξυγόνο συνιστά κάποια ρύθμιση από τον κερατοειδή χιτώνα και ο όποιος συνδυασμός φακού και κερατοειδή θα ήταν επιβλαβής για την υγεία του οφθαλμού.

Σύμφωνα με τους Efron και Brennan,⁵⁸ η πραγματική κρίσιμη απαίτηση σε οξυγόνο για την χρήση φακών είναι 20,9% -δηλαδή η συγκέντρωση οξυγόνου στην ατμόσφαιρα- ενώ κάθε φακός που μεταφέρει λιγότερα ποσοστά από αυτήν την συγκέντρωση θα επηρεάζει την φυσιολογία του.

⁵⁷Brennan NA. Beyond flux: total corneal oxygen consumption as an index of corneal oxygenation during contact lens wear. *Optom Vis Sci.*2005;82:467-472.

⁵⁸Efron N, Brennan NA. How much oxygen? In search of the critical oxygen requirement of the cornea. *Contax* 1987;July:5-18.

Επίσης, εκτός από τον μέσο όρο ένδυσης φακών καθημερινής χρήσης είναι αναγκαίο αν και όχι πρακτικό, ο κερατοειδής να παράγει λιγότερο αλλά επαρκές επίπεδο οξυγόνου και ο σύντομος ύπνος των χρηστών για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθώς και ο συμπληρωματικός ύπνος των χρηστών κατά την καθημερινή χρήση, να καταγράφονται είτε τακτικά είτε περιστασιακά.

5.1.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ ΕΠΑΦΗΣ – ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΥΠΟΞΙΑΣ

Από τις πρώτες ημέρες ένδυσης φακών επαφής, η χρόνια υποξία έχει καταστεί ως ένα θέμα ιδιαίτερα σημαντικό καθώς δύναται να οδηγήσει σε οίδημα του κερατοειδή. Μακροπρόθεσμα η εν λόγω επιπλοκή μπορεί να οδηγήσει σε σύνδρομο κερατοειδικής εξουθένωσης καθιστώντας δύσκολη την ένδυση φακών στο εξής.⁵⁹

Πρόσφατα, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι φακοί που δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις σε οξυγόνο δύναται να οδηγήσουν σε εξασθένηση του μεταβολισμού του κερατοειδή καθώς και της ακεραιότητάς του. Επίσης μπορεί να προκαλέσει μειωμένο πάχος επιθηλίου, λέπτυνση στρώματος, πολυμεγεθισμό του ενδοθηλίου, καθώς και ερυθρότητα του limbus, αλλά και νεοαγγείωση του κερατοειδή.

Κλείνοντας, εργαστηριακές και κλινικές μελέτες δείχνουν ότι η υποξία μπορεί να οδηγήσει σε προσκόλληση βακτηρίων στα επιθηλιακά κύτταρα, καθώς και ότι η ‘ολονύκτια’ ένδυση φακών αυξάνει τον κίνδυνο μόλυνσης του κερατοειδή από υποξία.

Ωστόσο, η εμπειρία που υπάρχει στην χρήση φακών με υλικό την γόμα σιλικόνης αλλά και αυτής με την χρήση φακών σιλικόνης υδρογέλης, μας διδάσκει ότι ο περιορισμός της υποξίας δεν είναι επαρκής για να προλάβει την μόλυνση. Αν και η υποξία από μόνη της μπορεί να αποτελέσει παράγοντα κινδύνου για την πρόκληση μικροβιακής κερατίτιδας, η ‘ολονύκτια’ ένδυση

⁵⁹ Sweeney DF. Corneal exhaustion syndrome with long-term wear of contact lenses. *OptomVisSci.* 1992;69:601-608

καθώς και η βακτηριακή μόλυνση, μπορούν να αποτελέσουν καθοριστικούς παράγοντες.⁶⁰

5.1.2.ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Οι παραλλαγές που συνέβησαν στον τρόπο ροής οξυγόνου μετριούνται ή υπολογίζονται και η χρήση της τεχνολογίας με απρόσκοπτο και ασυμβίβαστο τρόπο, έχει επιφέρει σύγχυση στους ειδικούς αλλά και μέσω της αναφοράς στους ασθενείς τους. Οι ειδικοί όπως αναμένεται αναζητούν αξιόπιστα και πρακτικά μέσα της απόδοσης οξυγόνου ενός φακού.

Όμως, οι ειδικοί πρέπει να αντιληφθούν το πόσο καλό ποσοστό οξυγόνου παρέχουν οι διαφορετικού Dk φακοί, διαφορετικής δύναμης και πάχους, αγνοώντας δηλώσεις ψεύτικου και ανακριβούς περιεχομένου όπως ότι ‘όλοι οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης παρέχουν τα αναγκαία υψηλά επίπεδα οξυγόνου στον κερατοειδή’.

5.1.3. ΚΑΤΑΝΟΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΟΡΟ Dk/t

Για να γίνει αντιληπτό ένα ποσοστό της ροής οξυγόνου, δηλαδή του Dk/t, είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς ότι αυτό μπορεί να μετρηθεί με ένα φακό τοποθετημένο ανάμεσα σε μια πλούσια και φτωχή περιοχή σε οξυγόνο. Το Dk/t είναι το μέτρο της μέγιστης δυνατότητας που μπορεί να κατέχει ένας φακός, προκειμένου να μεταφερθεί οξυγόνο στο μάτι εκτός δεδομένης περιοχής με την μπροστινή επιφάνεια του φακού να έρχεται σε επαφή με τον αέρα και την οπίσθια να μην έρχεται σε επαφή με αυτήν.

Αυτό που επιτρέπει το Dk και το Dk/t, είναι να εκτιμηθεί από τους εκάστοτε εφαρμοστές η απόδοση σε οξυγόνο των φακών, μέσω μιας μεγάλης γκάμας σχημάτων φακών, δυνάμεων φακών και περιβαλλοντικών συνθηκών (αφακικούς και παχείς στα άκρα φακούς στα μεγάλα υψόμετρα, αεροπλάνα, κατά τον ύπνο κτλ.).

⁶⁰ Morgan P, Efron N, Brennan NA, Hill E, Raynor M, Tullo A. Risk factors for the development of corneal infiltrative events associated with contact lens wear. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2005;46:3136-3143.

Ένα πρόβλημα το οποίο προκύπτει για τον ειδικό είναι η χρήση του στιγμιαίου κεντρικού πάχους αντί του κεντρικού για έναν φακό -3.00D, παρά το ότι το Dk/t αναφέρεται για τους φακούς ή έστω για έναν τύπο φακού. Έχει δε χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ροής οξυγόνου. Μάλιστα, αυτό το ζήτημα απλοποιεί την μεταβιβαστικότητα οξυγόνου όντας παραπλανητική καθώς δεν συνυπολογίζονται οι κεντρικές διαφορές πάχους ανάμεσα σε φακούς διαφορετικών δυνάμεων, όπως ούτε και οι διαφορές μεταξύ φακών διαφορετικών σχεδιαγραμμάτων δύναμης. Αυτές οι διαφορές έχουν ένα ιδιαίτερο αντίκτυπο στην τροφοδοσία οξυγόνου στον κερατοειδή και τον επιπεφυκότα.

Η μετατροπή των σχεδιαγραμμάτων σε Dk/t συνεπάγεται ότι το τελευταίο είναι μεγαλύτερο στο κέντρο με φακούς χαμηλότερης δύναμης, σε αντιδιαστολή με τους φακούς μεγαλύτερης δύναμης που είναι μικρότεροι σε αυτό. Τέλος, οι φακοί επαφής που κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό σε διαφορετικά σχήματα, παρέχουν διαφορετικές ποσότητες οξυγόνου στον κερατοειδή.

5.1.4. ΡΟΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Προκειμένου να προβλεφθεί η ποσότητα οξυγόνου που φθάνει στον κερατοειδή πέρα από συγκεκριμένη περιοχή και χρόνο και να αξιολογηθεί η επιρροή της κατανάλωσης σε οξυγόνο στον κερατοειδή στην ροή οξυγόνου κατά την χρήση φακών, οι Hill και Fatt⁶¹ δημιούργησαν την μεταβίβαση οξυγόνου. Αυτό έγινε σε ευρύτερη περιοχή από αυτήν του κερατοειδή με χρήση του νόμου του Fick για την διάχυση. Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται με σκοπό την πρόβλεψη της κατάστασης ροής οξυγόνου και έχει αποφανθεί ότι εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως, η διαφορά της έντασης οξυγόνου ανάμεσα στις οπίσθιες και πρόσθιες περιοχές των φακών και της μεταβιβαστικότητάς των.

Η μέτρηση της πίεσης στην οπίσθια επιφάνεια ενός φακού καθίσταται δύσκολη. Ο Hamano⁶² το κατόρθωσε χρησιμοποιώντας μια λεπτή μάσκα οξυγόνου. Ο Bonanno⁶³ χρησιμοποίησε τις ευαίσθητες φωσφορίζουσες χρωστικές ουσίες οξυγόνου και ο Hill την μέτρησε έμμεσα χρησιμοποιώντας το ισοδύναμο

⁶¹ Hill R, Fatt I. Oxygen deprivation of the cornea by contact lenses and lid closure. Am J Optom. 1964;41:38.

⁶² Ichijima H, Hayashi T, Mitsunaga S, Hamano H. Determination of oxygen tension on rabbit corneas under contact lenses. CLAO J 1988;24:220-226.

⁶³ Bonanno J, Stickel T, Nguyen T, Biehl T, Carter D, Benjamin W, Soni P. Estimation of human corneal oxygen consumption by noninvasive measurement of tear oxygen tension while wearing hydrogel lenses. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2002;43:371-376.

ποσοστό οξυγόνου (EOP). Η λήψη του γίνεται με σπρώξιμο του φακού έξω από το μάτι μετρώντας αμέσως το ποσοστό λήψης οξυγόνου και η τιμή του αναφέρεται βάσει των αποκρίσεων που έγιναν αντιληπτά στον κερατοειδή.

Ο Brennan υπολόγισε ότι η συνολική κατανάλωση οξυγόνου του κερατοειδή πρέπει να αντικαταστήσει την ροή οξυγόνου και το Dk/t και αυτό επειδή αυτή απεικονίζει καλύτερα τον μεταβολισμό του κερατοειδή κατά την εφαρμογή φακών στον οφθαλμό. Έτσι λοιπόν εκτίμησε πως αυτός ο τρόπος μετρήσεως της απόδοσης του φακού θα ήταν πιο ορθολογικός.

Παρά ταύτα, οι υπολογισμοί και η αξιοπιστία στις διάφορες υποθέσεις σε συσχετισμό με τους διάφορους υπολογισμούς καθώς επίσης και οι ποικίλες παραλλαγές στις συνθήκες κατά την καθημερινή φάση εισαγωγής των φακών, οδηγούν στην δημιουργία δυσκολιών θεωρητικής φύσης.

Ένα σοβαρό πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι η ροή οξυγόνου είναι μια υπολογισμένη οντότητα, η οποία βασίζεται σε ένα ορισμένο σύνολο υποθέσεων το οποίο εμπεριέχει την υπόθεση της σταθερής κατανάλωσης σε οξυγόνο του κερατοειδή σύμφωνα με το αρχικό μοντέλο Brennan. Όμως, η κατανάλωση σε οξυγόνο του κερατοειδή ποικίλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες οξυγόνου, το pH του κερατοειδή, την θερμοκρασία, την φυσική πίεση, το στρώμα κυττάρων, τον αριθμό των κυττάρων και την κατάσταση της υγείας τους.

Βασικά, τα προβλήματα που εμπíπτουν από την χρήση ροής στην δημιουργία εκτιμήσεων σχετικά με την γενικότερη υγεία του κερατοειδή είναι η ευαισθησία των προτύπων που δημιουργούνται από τους ειδικούς προς χρήση, αλλά και η υπόθεση ότι οι ίσες υπολογισμένες ροές προσδοκούν τα ίδια αποτελέσματα για την υγεία του κερατοειδή.

Τα στοιχεία που προκύπτουν από την έρευνα των Ren, Wilson⁶⁴ και Cavanagh σχετικά με την ομοίωση του κερατοειδή, έχουν φέρει στο προσκήνιο μερικούς από τους λόγους των μακροχρόνιων αποτελεσμάτων της υποξίας που προκαλείται στον κερατοειδή, επιδρώντας έτσι στην φυσιολογία του οφθαλμού. Η εν λόγω έρευνα έχει αποδείξει ότι όλοι οι τύποι φακών καθώς και οι μορφές ένδυσής τους επηρεάζουν μέχρι ένα σημείο την συντήρηση και την αναστροφή του επιθηλίου του κερατοειδή. Οι δε επιδράσεις της εφαρμογής των φακών στις

⁶⁴ Ren H, Wilson G. Apoptosis in the corneal epithelium. InvestOphthalmolVisSci. 1996;37:1017-1025.

διαδικασίες της συντήρησης και της αναστροφής του επιθηλίου του κερατοειδή, προέρχονται εν μέρει από την προκληθείσα υποξία του φακού.

Επιπλέον, η επιρροή των φακών από υλικό σιλικόνης-υδρογέλης υψηλού Dk στην αναστροφή του επιθηλίου, είναι λιγότερο έντονη σε σχέση με άλλα είδη φακών. Από την άλλη πλευρά, οι χρήστες εμφανίζουν περισσότερα στοιχεία προσαρμοστικής αποκατάστασης, δηλαδή προσαρμογής κατά την μακροχρόνια ένδυση.

Η αιτία για την μεγαλύτερη λέπτυνση του επιθηλίου του κερατοειδή με φακούς χαμηλότερου Dk/t σε αντιδιαστολή με τους φακούς υψηλότερου Dk/t, είναι ότι η απώλεια οξυγόνου δημιουργεί μια δυσαναλογία ανάμεσα στον σχηματισμό των νέων κυττάρων στο βασικό επιθήλιο και της απώλειας προηγούμενων κυττάρων από την επιφάνεια του κερατοειδή. Άρα, χρειάζεται ένα μικρότερο ποσοστό διάχυσης των νέων κυττάρων. Έτσι, αυτή η μειωμένη απαίτηση καταλήγει σε λιγότερα κύτταρα που κινούνται προς την επιφάνεια με συνέπεια να λεπτύνει το κεντρικό επιθήλιο.

Η μελέτη του Goteborg απέδειξε ότι οι φακοί χαμηλού Dk/t δημιουργούσαν προβλήματα στον μεταβολισμό του επιθηλίου, ελαττώνοντας την λήψη οξυγόνου του ματιού και οδηγώντας σε λέπτυνσή του. Όμως αυτή η επίδραση μειώνεται με φακούς σιλικόνης-υδρογέλης. Μάλιστα, σε αντίστοιχη μελέτη που έγινε, αποδείχτηκε ότι η λέπτυνση του επιθηλίου καταλαμβάνει το ποσοστό του 7% με φακούς σιλικόνης-υδρογέλης υψηλού Dk. Στον αντίποδα βρέθηκε ότι η λέπτυνση του επιθηλίου με φακούς σιλικόνης-υδρογέλης χαμηλού Dk ήταν της τάξεως του 23%.

Οι συνέπειες της απώλειας οξυγόνου στην περιφέρεια του κερατοειδή καθίστανται σημαντικές αν εξεταστεί πως το limbus συνδράμει στην διατήρηση της συνολικής υγείας του. Το limbus αποτελεί την μόνη πηγή επιθηλιακών βλαστικών κυττάρων εξασφαλίζοντας άμεση αποκατάσταση από πιθανό επιφανειακό τραυματισμό. Όμως οποιαδήποτε απώλεια ή ζημία δύναται να οδηγήσει σε σοβαρά δευτερογενή συμπτώματα όπως, επαναλαμβανόμενη διάβρωση, χρόνια κερατίτιδα και σχηματισμό αγγείων.

Η σωστή δοκιμή της χρησιμότητας του Dk/t συνάδει με τα κλινικά στοιχεία. Και αυτό, επειδή εάν όλοι οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης ήταν δυνατόν να μεταφέρουν τα ίδια σημαντικά επίπεδα οξυγόνου στον κερατοειδή, δεν θα

υπήρχαν διαφορές σε σχέση με το πώς αποδίδουν κατά την μέτρησή τους με βάση τους κλινικούς δείκτες της υποξίας.

Το μοντέλο κατά Brennan⁶⁵ προβλέπει ότι οι φακοί με μεταβιβαστικότητα οξυγόνου μεγαλύτερες από 15 και 50 μονάδες, δεν θα φέρουν κανένα όφελος κατά την καθημερινή και παρατεταμένη ένδυση αντίστοιχα. Από την άλλη, ο Paras έχει αποσαφηνίσει την σχέση ανάμεσα στην υπεραιμία του limbus, της συγκέντρωσης δηλαδή αίματος και της στέρσης οξυγόνου, αποδεικνύοντας ότι ένα ποσοστό κατά 125 μονάδων είναι αρκετό για να περιορίσει την ερυθρότητα του limbus με καθημερινή ένδυση.

Έτσι, εάν δεν υπήρχε κανένα πλεονέκτημα στην εφαρμογή των φακών με μεταβιβαστικότητα άνω των 15 μονάδων για την καθημερινή ένδυση φακών, δεν θα υπήρχε καμία διαφορά στο επίπεδο της ερυθρότητας που παρατηρείται κατά την καθημερινή εφαρμογή των φακών με όλους σχεδόν τους φακούς υδρογέλης και σιλικόνης-υδρογέλης. Όμως, δεν είναι αυτή η αιτία καθώς η κατά Maldonado⁶⁶ σύγκριση της ερυθρότητας του limbus με μαλακούς φακούς καθημερινής χρήσης, έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ φακών με κεντρικές μεταβιβαστικότητες οξυγόνου 26 και 86 μονάδων.

Η διόγκωση του κερατοειδούς αποτελεί μια επιπλοκή που υποδεικνύει την ύπαρξη απώλειας οξυγόνου, η οποία χρησιμοποιείται από τους ειδικούς και τους ερευνητές προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση των φακών. Στην διόγκωση κατά 4-6% όπου το ενδοθήλιο γίνεται ορατό, οι λεπτές αλλαγές εμφανίζονται στο πρόσθιο στρώμα σε διόγκωση κατά 8%. Επίσης, η διόγκωση του στρώματος δεν είναι ομοιόμορφη διαμέσου του κερατοειδή αλλά αντανακλά την παραλλαγή στην διαθεσιμότητα οξυγόνου στο φιλμ δακρύων του πρόσθιου φακού. Όταν οι ασθενείς φορούν φακούς υδρογέλης με ένα ευρύ κεντρικό κενό, ο κερατοειδής πρήζεται κάτω από το σημείο του, που καλύπτεται από τον φακό, δηλαδή στην περιφέρεια και όχι στην κεντρική περιοχή. Το οίδημα του κερατοειδούς αντιμετωπίζεται με πληρότητα με το Dk/t.

Οι διαφορές στο Dk/t διαφορετικών φακών σιλικόνης-υδρογέλης εκτίθενται σε μία μελέτη από τον Mueller και τους συνεργάτες του, όσο αφορά την ολονύκτια διόγκωση με Dk 140 και 99 αντίστοιχα. Έτσι, βρέθηκε ότι οι ασθενείς που δοκίμασαν φακούς σιλικόνης-υδρογέλης με Dk 140, δεν εμφάνισαν καμία

⁶⁵ Brennan NA. A model of oxygen flux through contact lenses. *Cornea*.2001;20:104-108.

⁶⁶ Maldonado-Codina C, Morgan P, Schnider C, Efron N. Short-term physiologic response in neophyte subjects fitted with hydrogel and silicone hydrogel contact lenses. *OptomVisSci*. 2004;81:911-921.

σημαντική διαφορά κατά την ολονύκτια περιφερική και κεντρική διόγκωση, ισχύος -1.00D και -6.00D αντίστοιχα. Αντίθετα, ασθενείς που εφάρμοσαν αντίστοιχους φακούς με Dk 99 εμφάνισαν σημαντικά μεγαλύτερη διόγκωση του κερατοειδούς στο κέντρο και την περιφέρεια συγκρινόμενη με μη ένδυση φακού. Ωστόσο, σε μια άλλη μελέτη με φακούς με Dk 99, το 11 από το 30% των χρηστών μαλακών φακών επαφής, αισθάνθηκαν καλύτερα με ποσοστό οιδήματος 7.7% μετά από ολονύκτια εφαρμογή.⁶⁷

Ο μέσος όρος του Dk/t του φακού διαμέσου της οπτικής ζώνης αλλά και το περιφερειακό Dk/t του φακού, αποτελούν δύο πρακτικές συγκριτικές μετρήσεις των αποδόσεων επιτρέποντας έτσι στους ειδικούς να αξιολογήσουν την παροχή οξυγόνου. Η πρώτη μέτρηση αποτελεί την αρχή για το κριτήριο των Holden και Mertz, προκειμένου για την αποφυγή της προκληθείσας υποξίας μέσω των φακών κατά την εφαρμογή τους με κλειστά και ανοικτά μάτια. Το τελευταίο αποτελεί το κριτήριο κατά Para που στοχεύει στην αποφυγή της υποξίας του limbus αλλά και των πιθανών συνεπειών της υποξίας στα βλαστικά κύτταρα.

Επίσης, τα κριτήρια των Holden και Mertz που είχαν ως μέτρο τις 24,35 και 87 μονάδες με σκοπό την αποφυγή του οιδήματος κατά το τέλος της πρώτης ημέρας, του οιδήματος κατά το πέρας της έβδομης ημέρας καθώς και του ολονύκτιου οιδήματος κατά 4% αντίστοιχα, ήταν βασισμένα στο μέσο πάχος του φακού. Επιπλέον, με χρήση των εξισώσεων των ερευνητών Holden και Mertz που είχαν σκοπό την μέτρηση του μέσου Dk/t για την αποφυγή του 3.2% ολονύκτιου οιδήματος, καταλήξαμε σε Dk/t 125 για αυτό το σκοπό.

Επιπροσθέτως, το μαθηματικό μοντέλο της διάχυσης οξυγόνου διαμέσου του κερατοειδή των Harvitt και Bonanno, υποστηρίζει την αποτελεσματικότητα κατά 125 μονάδες ως κριτήριο για την ολονύκτια ένδυση, με τους χρήστες να έχουν κλειστά τα μάτια. Από την άλλη, το μοντέλο κατά Paras που αξιολογεί την επίδραση του Dk/t των φακών στην περιφέρειά τους, ορίζει τις 125 μονάδες ως κατάλληλες για την αποφυγή της υπεραιμίας του limbus με ανοικτά τα μάτια.

Έτσι, οι επαγγελματίες πρέπει να χρησιμοποιούν τα μεγαλύτερα επίπεδα Dk/t όπου αυτό είναι δόκιμο, εάν δεν συντρέχει κάποιος άλλος λόγος, εκτός από την αποφυγή της χρόνιας επιδείνωσης του limbus. Και αυτό με μοναδικό σκοπό

⁶⁷ Comstock TL, Robboy MW, Cox IG, Brennan NA. Overnight clinical performance of a high Dk silicone soft contact hydrogel lens. In: Silicohydrogels website; 1999.

πάντοτε την συντήρηση της υγείας και την αναστροφή των επιθηλιακών κυττάρων κατά την εφαρμογή των φακών επαφής. Διάφορες δοκιμές που έλαβαν χώρα, απέδειξαν ότι οι φακοί σιλικόνης-υδρογέλης υψηλού Dk που δοκίμασαν ορισμένα άτομα, ήταν κλινικά όμοιοι με τα μάτια στα οποία δεν είχαν εφαρμοστεί φακοί, δίνοντας έτσι άρτια οφθαλμική υγεία σε σύγκριση με τους συμβατικούς φακούς υδρογέλης.

Η κατάλληλη ροή οξυγόνου που απαιτείται μέσω ενός φακού είναι καιρία για όλους τους ασθενείς , αλλά και ιδιαιτέρως σημαντική για άτομα που απαιτούν φακούς υψηλής δύναμης ή φακούς που είναι παχύτεροι στην περιφέρεια. Για παράδειγμα το 35% των ατόμων που είναι στην πλειονότητά τους μύωπες, αστιγματικοί, ή υπερμέτρωπες, απαιτούν φακούς πάχους άνω των 0.35mm στο κέντρο και την περιφέρεια. Επίσης, ένα ποσοστό άνω του 23% που είναι πρεσβύωπες, απαιτούν παχύτερους φακούς τουλάχιστον στην εναλλασσόμενη μορφή. Το Dk αποτελεί μια αξιόπιστη και πρακτική μέθοδος προκειμένου για την πρόβλεψη της απόδοσης σε οξυγόνο των φακών και της παροχής της τοπογραφίας, του πάχους, αλλά και των διάφορων συνθηκών στις οποίες οι χρήστες δοκιμάζουν τους φακούς τόσο με κλειστά όσο και με ανοικτά μάτια.

Προβλέπεται ότι οι ειδικοί θα συνεχίσουν την ολοένα αυξανόμενη χρήση φακών με την εν δυνάμει υψηλότερη διαπερατότητα σε οξυγόνο. Μάλιστα, στις Η.Π.Α. το ποσοστό των φακών σιλικόνης-υδρογέλης που συνταγογραφήθηκε για την καθημερινή ένδυση, παρουσιάζει αύξηση σχεδόν κατά 8 φορές τα τελευταία 2 χρόνια. Παρά ταύτα, οι θεωρητικές συζητήσεις που διεξάγονται για τα επίπεδα οξυγόνου και η υπολογισμένη ροή δεν θα πρέπει να μας αποσπούν από τις κλινικές οδηγίες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ποσοστό του οξυγόνου που χρειάζεται ένας φυσιολογικός οφθαλμός προκειμένου για την εύρυθμη λειτουργία του, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός για την αποφυγή επιπλοκών υποξίας, προβλημάτων δηλαδή που προκύπτουν λόγω μειωμένης οξυγόνωσης του κερατοειδή.

Η επιστημονική αυτή εργασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη τόσο για τους σπουδαστές του Τμήματος, όσο και για την ίδια την επιστήμη, καθώς το θέμα που πραγματεύεται δεν θίγεται συχνά στους χώρους διδασκαλίας, παρόλο που αποτελεί σημείο ενασχόλησης στον κλάδο της Οπτικής-Οπτομετρίας για πολλά χρόνια.

Τέλος, βρίσκει εφαρμογή στην επιστήμη της Οφθαλμολογίας, όπου σε συνδυασμό με την βασική επιστήμη της Οπτικής, της Χημείας, της Βιολογίας και των υλικών, μας προετοιμάζει για την αντιμετώπιση παθολογικών καταστάσεων του οργανισμού που επιδρούν στους οφθαλμούς, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Α΄. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση.
- Κατσούλος, Κ. Μακρυνιώτη, Δ. (2010) Φακοί Επαφής. Τόμος Β΄. Αργυρούπολη: Σύγχρονη Γνώση.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- [http:// www.siliconehydrogels.org/posters/pdf/200911.pdf](http://www.siliconehydrogels.org/posters/pdf/200911.pdf)
- [http:// www.blanchardlab.com/pdf/HoldenMertz.pdf](http://www.blanchardlab.com/pdf/HoldenMertz.pdf)
- http://www.siliconehydrogels.org/editorials/jan_07.asp
- <http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleid=12953>
- International Standard ISO 9339-2 Ophthalmic optics – Contact lenses – Determination of Thickness – Part 2: Hydrogel contact lenses. 1998.

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

- Holden BA, Sweeney DF. The significance of the microcyst response: a review. *Optom Vis Sci.* 1991
- Bruce AS, Brennan NA. Epithelial, stromal and endothelial responses to hydrogel extended wear. *CLAO J.* 1993
- Erickson P, Comstock T, Zantos SG. Effects of Hydrogel Lens Transmissibility Profiles on Local Corneal Swelling During Eye Closure. *Optom Vis Sci.* 1996
- Dumbleton KA, Chalmers RL, Richter DB, Fonn, D. Vascular response to extended wear of hydrogel lenses with high and low oxygen permeability. *Optom Vis Sci.* 2001
- Cavanagh HD, Ladage PB, Yamamoto K et al. Effects of overnight wear of hyper – oxygen transmissible rigid and silicone hydrogel lenses on bacterial binding to the corneal epithelium:13 month clinical trials. *EyeContactLens.*2003
- O’Neal M, PolseKA, Sarver MD. Corneal response to rigid and hydrogel lenses during eye closure.*InvestOphthalmolVisSci.* 1984
- Fatt, I. (1991). ‘‘Gas to gas permeability measurements on RGP and silicone rubber lens materials.’’*Int Contact Lens Clinic*

- Harvitt DM, Bonnano JA. Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia. *Optom Vis Sci.* 1999
- Holden BA, Mertz GW. Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984
- Bruce A. Local oxygen transmissibility of disposable contact lenses. *ConLensAntEye.* 2003
- Fatt I and St. Helen R: Oxygen tension under an oxygen permeable contact lens. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 48:545,1971
- Hill RM and Jeppe WH: Hydrogels: is a pump still necessary? *Int Contact Lens Clin* 2(4):27, 1975.
- Hill RM:Hydrogel lens design: the thick and thin of it. In *Proceedings of the Second National Research Symposium on Soft Contact Lenses, Princeton, Excerpta Medica, 1977*
- Benjamin WJ and Hill RM: Ultra-thins: an oxygen update. *Contact Lens Forum* 4(I):43,1979.
- Hill RM:Oxygen permeable contact lenses:how convinced is the cornea? *Int Contact Lens Clin* 4(2):34,1977.
- Roscoe WR and Hill RM: Corneal oxygen demands: a comparison of the open- and closed- eye environments. *Am J OptomPhysiol Opt* 57:67, 1980.
- Holden BA, Mertz GW, and McNally JJ: Corneal swelling response to contact lenses worn under extended wear conditions. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24:218, 1983.
- Holden BA, Polse KA, Fonn D, and Mertz GW: Effects of cataract surgery on corneal function. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 22:343, 1982.
- Holden BA, and Payor S: Changes In thickness in the corneal layers. *Am J Optom Physiol Opt* 56:821, 1979.
- Mandell RB and Polse KA: Contact lenses worn during sleep and rest periods. *J Am Optom Assoc* 41:937, 1970.
- Harris MG, Sanders TL, and Zisman F: Napping while wearing hydrogel contact lenses. *Int Contact Lens Clin* 2(1):84, 1975.
- Sarver MD and Staroba JE: Corneal edema with contact lenses under closed-eye conditions. *Am J Optom Physiol Opt* 55:739. 1978.
- Sarver MD, Baggett DA, Harris MG, and Louie K:Corneal edema with hydrogel lenses and eye closure: effect of oxygen transmissibility. *Am J OptomPhysiol Opt* 58:386, 1981.
- Polse KA and Decker M:Oxygen tension under a contact lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 18:188, 1979.
- Wilson G: Hydrogel lens power and oxygen transmissibility. *Am J Optom Physiol Opt* 56:430, 1979.
- Brennan NA. Beyond flux: total corneal oxygen consumption as an index of corneal oxygenation during contact lens wear. *Optom Vis Sci.*2005
- Efron N, Brennan NA. How much oxygen? In search of the critical oxygen requirement of the cornea. *Contax* 1987
- Sweeney DF. Corneal exhaustion syndrome with long-term wear of contact lenses. *OptomVis Sci.* 1992

- Morgan P, Efron N, Brennan NA, Hill E, Raynor M, Tullo A. Risk factors for the development of corneal infiltrative events associated with contact lens wear. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005
- Hill R, Fatt I. Oxygen deprivation of the cornea by contact lenses and lid closure. *Am J Optom.* 1964
- Ichijima H, Hayashi T, Mitsunaga S, Hamano H. Determination of oxygen tension on rabbit corneas under contact lenses. *CLAO J*1988
- Bonanno J, Stickel T, Nguyen T, Biehl T, Carter D, Benjamin W, Soni P. Estimation of human corneal oxygen consumption by noninvasive measurement of tear oxygen tension while wearing hydrogel lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002
- Ren H, Wilson G. Apoptosis in the corneal epithelium. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1996
- Maldonado-Codina C, Morgan P, Schnider C, Efron N. Short-term physiologic response in neophyte subjects fitted with hydrogel and silicone hydrogel contact lenses. *Optom Vis Sci.* 2004
- Comstock TL, Robboy MW, Cox IG, Brennan NA. Overnight clinical performance of a high Dk silicone soft contact hydrogel lens. In: *Siliconehydrogelswebsite*; 1999