

# Ηλιακή ακτινοβολία, απορροφητικότητα και προστασία με γυαλιά ηλίου

Σωτήρης Πλαΐνης MSc, PhD, FBCLA<sup>1,2</sup>  
και Ευτυχία Φελώνη, MSc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ινστιτούτο Οπτικής και Όρασης (IVO), Πανεπιστήμιο Κρήτης ([www.ivo.gr](http://www.ivo.gr))

<sup>2</sup>Optical House, Ηράκλειο Κρήτης – Ρόδος ([www.opticalhouse.gr](http://www.opticalhouse.gr))

<sup>3</sup>Οπτικά Στέφανος Φελώνης, Αγρίνιο

Η Ευτυχία Φελώνη αποφοίτησε από το τμήμα Οπτικής του ΤΕΙ Αθήνας το 2005 και από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οπτική και Όραση» του Πανεπιστημίου της Κρήτης, το 2008. Έκτοτε εργάζεται ως υπεύθυνη οπτικός στο οπτικό κατάστημα «ΟΠΤΙΚΑ ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΦΕΛΩΝΗΣ», στο Αγρίνιο.

## Φωτόνια, φωτεινή ευαισθησία και ηλιακή ακτινοβολία

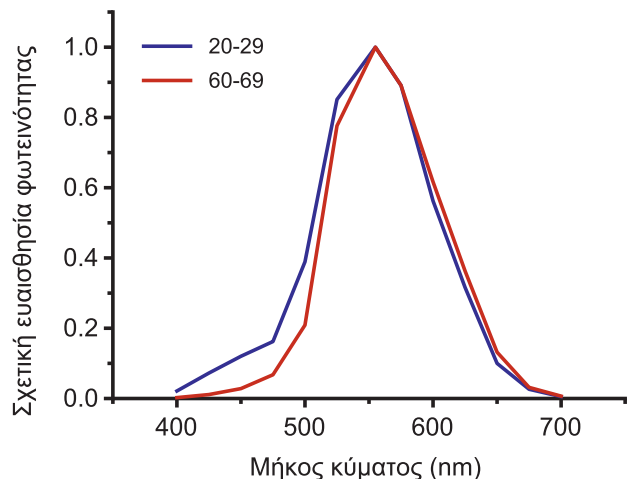
Ο ήλιος αποτελεί πηγή ζωής και ενέργειας, εμπλουτίζοντας τον οπτικό μας κόσμο με χρώματα και σημαντικές αισθητικές εμπειρίες. Τα φωτόνια με μήκη κύματος μεταξύ 400 και 700nm αποτελούν το «ορατό» μέρος του φάσματος γιατί συμμετέχουν στην αντίληψη της όρασης και κυρίως στη χρωματική όραση. Η καμπύλη φωτεινής (φασματικής) ευαισθησίας παρουσιάζει ένα μέγιστο περίπου στα 555nm σε φωτοπικές συνθήκες, όπου λειτουργούν τα κωνία, ενώ μειώνεται σημαντικά σε μεγαλύτερα και μικρότερα μήκη κύματος.

Σε σκοτοπικές συνθήκες παρατηρείται μια μετατόπιση της κορυφής σε χαμηλότερα μήκη κύματος (μέγιστο στα 500 nm) λόγω της δραστηριότητας των ραβδίων. Η καμπύλη σχετικής φωτεινής ευαισθησίας είναι σχεδόν ίδια σε όλους τους ανθρώπους, ενώ μικρές είναι οι αλλαγές με την ηλικία (βλ. εικόνα 1), όπου παρατηρείται μια μικρή μείωση στα χαμηλά μήκη κύματος λόγω της αύξησης της απορροφητικότητας του «γηρασμένου» κρυσταλλοειδή φακού στα «μπλε» φωτόνια.

Εκτός από το ορατό φως ο ήλιος εκπέμπει τόσο υπεριώδη ακτινοβολία (Ultraviolet-UV) όσο και υπέρυθη ακτινοβολία (infrared-IR), υπεύθυνη για τη θερμότητα, η οποία δεν είναι ορατή, αλλά σε πολύ υψηλή ένταση είναι πιθανόν να γίνει, π.χ. μια φωτεινή πηγή στα 750nm μπορεί να γίνει ορατή αν η έντασή της είναι 1000φορές υψηλότερη από τη συνήθη. Η υπεριώδης ακτινοβολία διαχωρίζεται σε τρεις περιοχές στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: τη **UVA** (από 315 μέχρι 400 nm), τη **UVB** (από

280 μέχρι 315 nm) και τη **UVC** (από 100 μέχρι 280 nm), η οποία δε φτάνει στην επιφάνεια της γης, γιατί απορροφάται πλήρως από το προστατευτικό φράγμα του ατμοσφαιρικού όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα που επίσης εξασθενεί και τη UVB που φτάνει στη γη, αλλά και την υπέρυθη ακτινοβολία. Η ποσότητα της UVB που φτάνει στα μάτια μας διαφέρει, βέβαια, ανάλογα με την τοποθεσία, την εποχή του έτους και την ώρα της ημέρας (τη θέση και την κατεύθυνση του ήλιου).

Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι όταν ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα, η απορρόφηση και η σκέδαση είναι πολύ μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα πολύ λιγότερη UVB να φτάνει στο έδαφος. Είναι σαφές ότι, στην Ελλάδα, ειδικά κατά το θερινό ηλιοστάσιο, η έκθεση σε UVB είναι πολύ μεγαλύτερη (κατά 10 περίπου φορές) κοντά στο μεσημέρι σε σχέση με το απόγευμα. Επίσης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα σύννεφα προκαλούν ασθενέστερη απορρόφηση της ακτινοβολίας σε μικρά σε σχέση με μεγάλα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα τα



Εικόνα 1: Σχετική φωτεινή (φασματική) ευαισθησία για δύο ηλικιακές ομάδες (από Sagawa and Takahashi, 2001)

επίπεδα UVB να παραμένουν σχετικά υψηλά, ακόμη και όταν ο ουρανός είναι συννεφιασμένος.

Επομένως, τα επίπεδα έκθεσης των οφθαλμών στην υπεριώδη ακτινοβολία που φτάνει στη γη (UVB, UVC) εξαρτώνται από τοπικούς και εποχιακούς παράγοντες, όπως ο καιρός, το υψόμετρο, τα ατμοσφαιρικά αερολύματα, οι συγκεντρώσεις του όζοντος (που έχουν ανακάμψει μετά την απαγόρευση των χλωροφθοραναθράκων) και οι αντανάκλασεις από τις γύρω επιφάνειες,

καθώς επίσης επηρεάζονται από τα ιδιαίτερα ανατομικά χαρακτηριστικά του κάθε προσώπου (σχήμα και χρώμα δέρματος, βλέφαρα, βλεφαρίδες), τη θέση των ματιών, τον προσανατολισμό της κεφαλής, τη χρήση καπέλων και **γυαλιών ηλίου**, και τις ώρες κυκλοφορίας σε εξωτερικούς χώρους του κάθε ατόμου.

## Απορρόφηση του φωτός από τις επιφάνειες του οφθαλμού

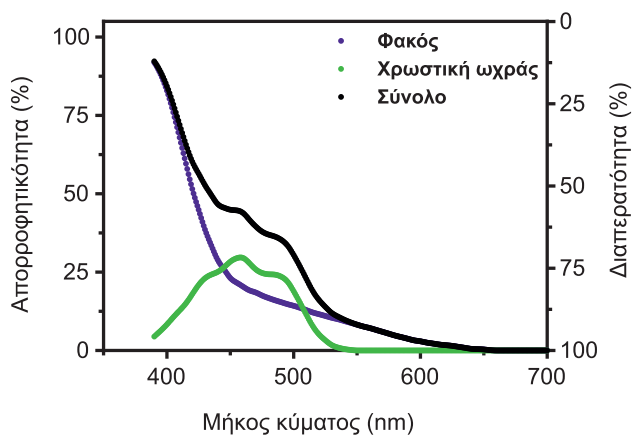
Πριν τα φωτόνια φθάσουν στον αμφιβληστροειδή και «ενεργοποιήσουν» τους φωτοϋποδοχείς, σκεδάζονται και απορροφούνται από τις δομές του οφθαλμού, δηλαδή από την δακρυϊκή στιβάδα, τον κερατοειδή χιτώνα, το υδατοειδές υγρό, τον κρυσταλλοειδή φακό και το υαλώδες σώμα. Επίσης, ένα σημαντικό μέρος της «μπλε» ακτινοβολίας φιλτράρεται και από τη χρωστική της ωχράς (macular pigment), που βρίσκεται στους νευρίτες των φωτοϋποδοχέων στο κέντρο της ωχράς κηλίδας.

Στον κερατοειδή, που αποτελεί την πρόσθια κι επομένως και την πιο εκτεθειμένη επιφάνεια του οφθαλμού, προσπίπτει (και σχεδόν απορροφάται εξ ολοκλήρου) περίπου το 2-15% της UVB ακτινοβολίας. Ο κερατοειδής απορροφά UVB με ένα μέγιστο αποτέλεσμα στα 270nm. Στον κρυσταλλοειδή φακό προσπίπτει ένα μικρό ποσοστό (έως 2%) της UVB και περίπου το 40-60% της UVA ακτινοβολίας. Ο φακός περιέχει μόρια χρωστικών ουσιών που απορροφούν όλα τα φωτόνια με μήκη κύματος στην υπεριώδη περιοχή του χρωματικού φάσματος και ένα μεγάλο ποσοστό από εκείνα στην ιώδη περιοχή (Εικόνα 2). Η χρόνια απορρόφηση επιταχύνει την εμφάνιση του καταρράκτη, πάθηση που μειώνει την όραση του ασθενή, αλλά το παράλληλο «κιτρίνισμα» του φακού, βοηθά στην απορρόφηση της υπεριώδους αλλά και μπλε ακτινοβολίας. Η χρωστική της ωχράς, αν και διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο σε πυκνότητα, απορροφά κατά μέσον όρο τα μισά από τα φωτόνια στο μπλε-ιώδες τμήμα του ορατού φάσματος, παρουσιάζοντας μια μέγιστη απορροφητικότητα στα 460nm.

Η εκλεκτική απορρόφηση των φωτονίων χαμηλού μήκους κύματος που έχουν υψηλή ενέργεια, προστατεύει τον αμφιβληστροειδή, αν και μια μικρή ποσότητα UVA ακτινοβολίας ίσως φτάνει στον αμφιβληστροειδή, ιδιαίτερα σε μικρές ηλικίες όπου ο κρυσταλλοειδής φακός εμφανίζει αυξημένη διαπερατότητα και η κόρη του οφθαλμού είναι σχετικά μεγάλη, επιτρέποντας την είσοδο περισσότερου φωτός. Όταν ένα φωτόνιο απορροφάται από ένα μόριο, όλη του η ενέργεια μεταφέρεται στο μόριο. Όσο υψηλότερη η ενέργεια του φωτονίου, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα του μορίου να διασπαστεί. Ως συνέπεια, οι χρωστικές ουσίες στο φακό και την ωχρά προστατεύουν τον αμφιβληστροειδή από φωτο-οξειδωτική βλάβη. Να σημειωθεί, όμως, ότι η υπέρυθη ακτινοβολία, μέχρι περίπου 900 nm, φτάνει «αφιλτράριστη» στον αμφιβληστροειδή.

## Απορροφητικότητα, διαπερατότητα και ανακλαστικότητα

Είναι προφανές ότι για την πλήρη προστασία του οφθαλμού από τη χρόνια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητη η χρήση γυαλιών ηλίου με κατάλληλους φακούς που ιδανικά θα απορροφούσαν όλη την υπεριώδη (UVA και UVB) και την υπέρυθη ακτινοβολία και θα άφηναν να περάσει ένα ποσοστό του ορατού φάσματος (ανάλογα με τα επίπεδα περιβαλλοντικών αναγκών, βλ. παρακάτω) και αυξημένη απορροφητικότητα στο μπλε. Επίσης, απαραίτητη κρίνεται και η χρήση φακών οράσεως και φακών επαφής με ίδια επίπεδα απορρόφησης υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας, με αυξημένη φυσικά διαπερατότητα στο ορατό, μιας και η χρήση τους δεν περιορίζεται σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, φακοί με τέτοια επίπεδα απορρόφησης προϋποθέτουν την χρήση αρκετών φίλτρων και είναι εξαιρετικά δαπανηροί.



Εικόνα 2: Διάγραμμα απορροφητικότητας / διαπερατότητας του κρυσταλλοειδή φακού (μπλε γραμμή, δεδομένα από van Norren and Vos, 1974) και της χρωστικής της ωχράς (πράσινη γραμμή, δεδομένα από Stockman and Sharpe, 2000). Είναι εμφανές ότι ένα μεγάλο ποσοστό φωτονίων χαμηλού μήκους κύματος (< 450 nm) απορροφάται πριν φτάσει στον αμφιβληστροειδή (βλ. μαύρη γραμμή) από τον κρυσταλλοειδή φακό και τη χρωστική της ωχράς. Ο αμφιβληστροειδής απορροφά σχεδόν όλα τα φωτόνια με μήκος κύματος < 400nm.

Επιπλέον, υπάρχει σήμερα ένα σημαντικό δίλημμα στην επιστημονική κοινότητα όσον αφορά τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από το φιλτράρισμα της «μπλε» ακτινοβολίας. Αν και είναι γνωστό ότι τα μπλε φωτόνια περιέχουν υψηλή ενέργεια που είναι πιθανόν σε χρόνια έκθεση να προκαλέσει οφθαλμικές αλλοιώσεις, η εκλεκτική απορρόφηση του μπλε παραμορφώνει τη χρωματική αντίληψη. Επίσης γνωρίζουμε ότι ο κερκαδιανός ρυθμός, το βιολογικό ρολόι του ανθρώπινου οργανισμού που βασίζεται στην ημερήσια διακύμανση του φωτός, συντονίζεται από κύτταρα στον αμφιβληστροειδή που δείχνουν «προτίμηση» στο μπλε.

Επειδή η ποσότητα του φωτός που μεταδίδεται μέσω ενός υλικού μειώνεται εκθετικά καθώς «ταξιδεύει» μέσω αυτού, η απορροφητικότητα (A, absorbance) και η

διαπερατότητα (T, transmittance) ενός υλικού συσχετίζεται με την οπτική του πυκνότητα (OD, optical density) με την παρακάτω σχέση,  $OD = -\log_{10} T$  (και  $OD = \log_{10} A$ ) (1)

Δηλαδή ένα υλικό με οπτική πυκνότητα 0.0 σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος αφήνει να περάσει το 100% των αντίστοιχων φωτονίων, με οπτική πυκνότητα 1.0 αφήνει να περάσει το 10% των φωτονίων (απορροφώντας το 90%) και με οπτική πυκνότητα 2.0 αφήνει να περάσει το 1% των φωτονίων (απορροφώντας το 99%).

Βέβαια, όταν μιλάμε για οφθαλμικούς φακούς, η μειωμένη διαπερατότητα μπορεί να οφείλεται σε μεγαλύτερη απορρόφηση αλλά επίσης και σε αυξημένη ανακλαστικότητα (R, reflectance) από τις δύο επιφάνειές του. Επομένως,  $R+T+A=1$  ή  $R+T+A=100\%$  (2)

Η ανάκλαση των επιφανειών του φακού υπολογίζεται από το δείκτη διάθλασης, n, του υλικού. Όταν το φως προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια του φακού στον αέρα (και σε περιπτώσεις που ο αριθμός Abbe είναι μεγάλος - οπότε εξαλείφεται από τη σχέση), το ποσοστό της ανάκλασης στην κάθε επιφάνεια του φακού υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:  $R = [(n-1)/(n+1)]^2$  (3)

Επομένως, σε ένα υλικό με δείκτη διάθλασης (n) 1.50, το ποσοστό του φωτός που ανακλάται είναι  $(0.5 / 2.5)^2 = 4\%$  ανά επιφάνεια. Έτσι, το 4% του προσπίπτοντος φωτός χάνεται από ανάκλαση στην πρώτη επιφάνεια (και το 96 % εισέρχεται στο φακό), με ένα 4% να χάνεται από ανάκλαση στη δεύτερη επιφάνεια (3.8%), έτσι ώστε το ποσοστό του φωτός που διαπερνάει το φακό να είναι 92.2% σε σχέση με το αρχικό. Να σημειωθεί ότι στους παραπάνω υπολογισμούς δεν συνυπολογίζονται τυχόν απώλειες λόγω πολλαπλών εσωτερικών ανακλάσεων εντός του φακού (λόγω του πάχους του).

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	UV cut-off (nm)	Ανακλαστικότητα (%)
Crown glass	1.523	320	8.4
Cr39	1.50	355	7.8
Trivex	1.53	380	8.6
Polycarbonate	1.59	385	10.1
Hoya Eyas	1.60	380	10.3
Hoya Eury	1.71	380	13.0

Πίνακας 1: Οπτικά χαρακτηριστικά «διαφανών» φακών με διαφορετικά υλικά (χωρίς επιστρώσεις)

## Φακοί και απορροφητικότητα σε υπεριώδη: ο ρόλος του υλικού και των επιστρώσεων

Στον πίνακα παρουσιάζονται τα οπτικά χαρακτηριστικά «διαφανών» ανεπίστρωτων φακών από διαφορετικά υλικά και πιο συγκεκριμένα, το χαμηλότερο μήκος κύματος στην υπεριώδη που μεταδίδεται μέσα από το φακό (UV cut-off) και η συνολική ανακλαστικότητα στις δύο επιφάνειες του φακού. Το πιο ενδιαφέρον και σημαντικό, όσον αφορά την απορροφητικότητα των φακών,

έχει να κάνει με τη διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Είναι εμφανές ότι το γυαλί και το CR39 επιτρέπουν τη διέλευση υπεριώδους ακτινοβολίας (μέχρι τα 320 και 355 nm, αντίστοιχα), ενώ υψηλότεροι δείκτες διάθλασης απορροφούν μέχρι τα 380 / 385 nm. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό στοιχείο, αν αναλογιστούμε ότι σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 1836, 2005) ένας φακός πληρεί τις προδιαγραφές για πλήρη προστασία από τη UV (και λαμβάνει πιστοποίηση CE) όταν εξασφαλίζει διαπερατότητα < 5% για μήκη κύματος 380 nm.

Αν και μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι για πλήρη προστασία οι φακοί θα πρέπει να απορροφούν το 99-100% της υπεριώδους ακτινοβολίας UVA και UVB ακόμα και για τα 400 nm (γνωστή ως Uv400), στις προδιαγραφές για CE πιστοποίηση δεν υπάρχει κανένα κριτήριο όσον αφορά τη διαπερατότητα για την ακτινοβολία μέχρι 400 nm (UV400), όπως απαιτείται σε άλλες χώρες (συμπεριλαμβανομένου των ΗΠΑ).

Επίσης, όπως παρατηρούμε στον Πίνακα 1, η ανακλαστικότητα είναι μεγαλύτερη για τα υλικά με υψηλότερο δείκτη διάθλασης, που σημαίνει ότι λιγότερο ποσοστό της υπεριώδους και του ορατού φάσματος διαπερνά αυτούς τους φακούς παρέχοντας περισσότερη προστασία. Βέβαια, είναι προφανές ότι η ανακλαστικότητα της οπίσθιας επιφάνειας του φακού μπορεί να γίνει επικίνδυνη, λόγω της περιφερικά εισερχόμενης ακτινοβολίας (ανακλώμενης από έδαφος/θάλασσα), από το πλαϊνό και πάνω μέρος σκελετού, ειδικά αν ο σχεδιασμός του είναι επίπεδος.

Σε αυτή την περίπτωση οι αντανάκλαστικές επιστρώσεις στην οπίσθια επιφάνεια, όχι μόνο προσδίδουν μεγαλύτερη διαφάνεια και καθαρότητα όρασης, αλλά προστατεύουν από την έμμεση ακτινοβολία. Για ακόμα μεγαλύτερη προστασία, πολλές εταιρείες κατασκευής οφθαλμικών φακών, διαθέτουν σήμερα επιστρώσεις αντι-UV με σκοπό την ελάττωση της διαπερατότητας της UV ακτινοβολίας, κάτι που είναι άκρως απαραίτητο για τα υλικά με χαμηλό δείκτη διάθλασης (CR39) (βλ. Εικόνα 4). Για παράδειγμα, η επίστρωση που παρέχεται από την Essilor εξασφαλίζει ένα UV cut-off στα 392 nm για το CR39, απορροφώντας το 95% της UV, ενώ στους υψηλότερους δείκτες διάθλασης (1.60 και άνω) η απορροφητικότητα φτάνει το 100% σε όλο το φάσμα της UV (βλ. Εικόνα 4). Είναι επομένως σημαντικό να γνωρίζουμε ότι δε θα πρέπει να χορηγούμε «ανοιχτόχρωμους» φακούς CR39 χωρίς τις απαραίτητες επιστρώσεις σε ασθενείς που περνούν σημαντικό μέρος του χρόνου τους σε εξωτερικό περιβάλλον.

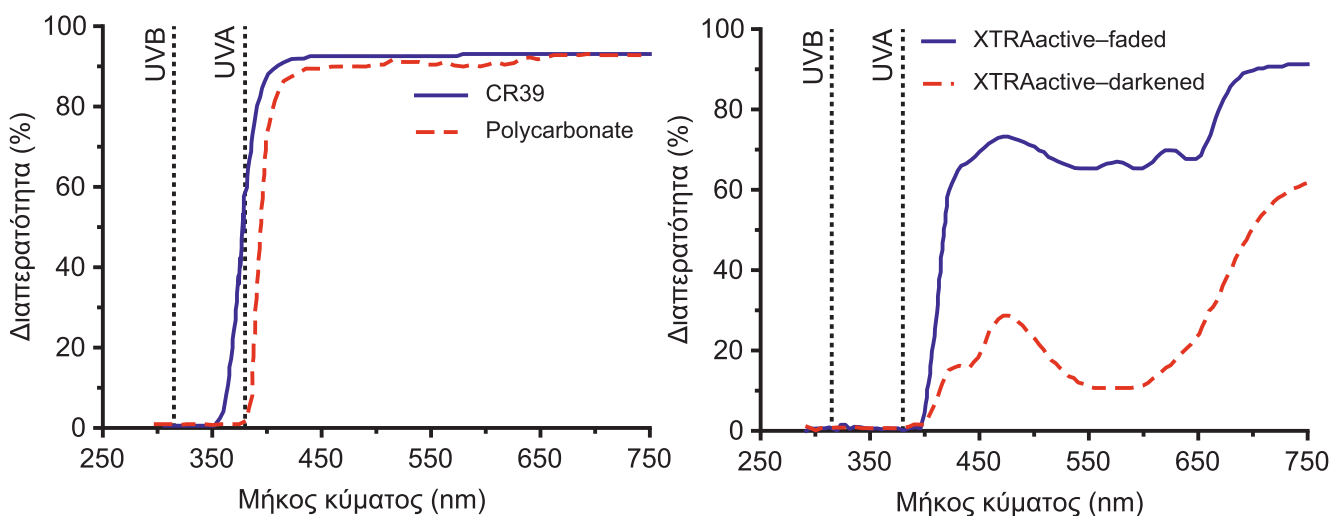
Τέλος, είναι γνωστό ότι τα φωτοχρωμικά υλικά παρέχουν ακόμα μεγαλύτερη απορροφητικότητα στη UV, η οποία μάλιστα αποτελεί τον παράγοντα έναρξης της φωτοχρωμικής διαδικασίας. Για παράδειγμα, το Transitions με επιστρώσεις αντι-UV να εξασφαλίζει UV cut-off στα 400nm και το Transitions Xtra Active στα 432 nm (απορροφώντας και σημαντικό μέρος του μπλε φάσματος) (Εικόνα 3).



## Φακοί και απορροφητικότητα στο ορατό φως

Όσον αφορά την απορροφητικότητα στο ορατό φως, αυτή ως επί το πλείστον καθορίζει την σκουρότητα του φακού. Η επιλογή της σκουρότητας εξαρτάται από το περιβάλλον που κινείται (π.χ. θάλασσα vs. χώρους με σκίαση) και τις ανάγκες του κάθε χρήστη, π.χ. είναι γνωστό ότι ασθενείς με ανοιχτόχρωμη ίριδα παρουσιάζουν φωτοφοβία. Επίσης, επιτακτική είναι η χρήση φακών με υψηλή «σκουρότητα» σε ασθενείς που έχουν εγχειριστεί για καταρράκτη ή σε ασθενείς με εκφυλιστικές παθήσεις του αμφιβληστροειδή, ιδιαίτερα όταν ο ασθενής διαμαρτύρεται για φωτοφοβία.

απορροφά, λόγω του υλικού του και κατάλληλων επιστρώσεων, όλο το υπεριώδες. Από την άλλη, ένας σκούρος φακός (Κατ. 4) με διαπερατότητα < 8% μπορεί να απορροφά το ορατό, μειώνοντας τη φωτοφοβία, αλλά δεν εξασφαλίζει πάντα πλήρη απορρόφηση του υπεριώδους. Βεβαίως, η απορροφητικότητα στο ορατό αναφέρεται στις μέσες τιμές σε όλα τα μήκη κύματος μεταξύ 400 και 700 nm. Αλλά οι περισσότεροι φακοί ηλίου παρουσιάζουν κάποια «χρωματικότητα», π.χ. γκρι, πράσινο, καφέ, μπλε, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φάσματος διαπερατότητάς τους. Η (εικόνα 4) παριστάνει τα φάσματα απορρόφησης για ανεπίστρωτους φακούς CR-39 σε διάφορους χρωματισμούς. Είναι προφανές ότι ένας φακός με πράσινη χρω-



Εικόνα 3: Διαγράμματα φασματικής διαπερατότητας για «διαφανείς» φακούς, χωρίς επιστρώσεις, από υλικό CR39 (n=1.50) και polycarbonate (n=1.59) (αριστερά), και για το φωτοχρωμικό XTRActive σε συνθήκες ενεργοποίησης (σκουρότητας) και απενεργοποίησης (“αποχρωματισμού”) (δεξιά). Είναι εμφανές ότι το CR39 επιτρέπει τη διέλευση περίπου 60% στα 380 nm, ενώ το polycarbonate έχει cut-off στα 385 nm. Επίσης, οι φωτοχρωμικοί φακοί έχουν cut-off στα 400nm, παρέχοντας πλήρη προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία σε όλα τα επίπεδα σκουρότητας. Να σημειωθεί ότι το μέγιστο της διαπερατότητας είναι περίπου 92% επειδή δεν συνυπολογίζεται το φως που ανακλάται στις επιφάνειες του φακού (πηγή Opticampus.com)

Ανάλογα με τη διαπερατότητα (κι επομένως σκουρότητα) οι φακοί ηλίου κατατάσσονται σε κατηγορίες από «0» (πολύ υψηλή διαπερατότητα) μέχρι «4» (πολύ χαμηλή διαπερατότητα).

- «0»: 80%-100% (πολύ μικρή απόχρωση, για χρήση σε κλειστούς χώρους/συννεφιά)
- «1»: 43%-80% (ελαφριά απόχρωση, για συνθήκες χαμηλής ηλιοφάνειας, σε σκίαση)
- «2»: 18%-43% (μεσαία απόχρωση, για χρήση στο μέσο το φως του ηλίου)
- «3»: 8%-18% (σκούρα απόχρωση, έντονο ηλιακό φως)
- «4»: 3%-8% (πολύ σκούρα απόχρωση, για εξαιρετικά έντονο φως ηλίου – μη κατάλληλα για οδήγηση, βλ. παρακάτω)

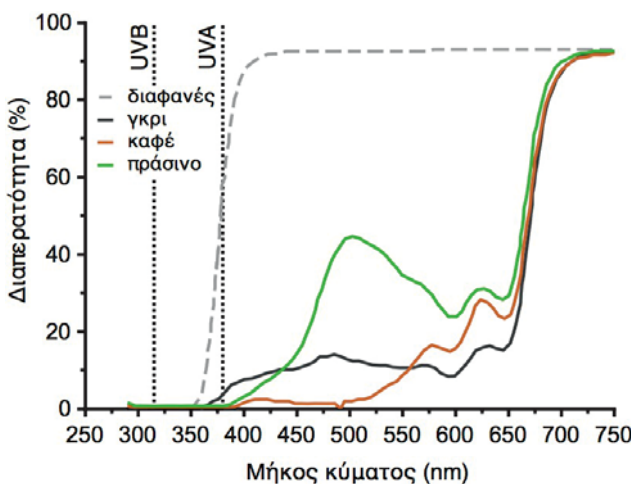
Είναι σημαντικό να μη συγχέεται η σκουρότητα ενός φακού, δηλαδή η απορροφητικότητα/διαπερατότητα στο ορατό, με την απορροφητικότητα/διαπερατότητα στο υπεριώδες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί ένας φακός να είναι σχεδόν διαφανής (Κατ. 1) και να

ματικότητα έχει συγκεκριμένο εύρος (band-pass) φασματικής διαπερατότητας, επιτρέποντας τη μετάδοση περισσότερου πράσινου φωτός σε σχέση με το μπλε και το κόκκινο. Από την άλλη, ένας φακός με καφέ χρωματικότητα απορροφά τα χαμηλά μήκη κύματος, επιτρέποντας τη μετάδοση περισσότερου πορτοκαλί/κόκκινου, ενώ ο φακός με γκρι χρωματικότητα παρουσιάζει παρόμοια ποσοστά χρωματικότητας στο μεγαλύτερο φάσμα του ορατού φωτός (μέχρι τα 650 nm).

Από τα διαγράμματα φασματικής διαπερατότητας της εικόνας 4 μπορούμε να βγάλουμε και άλλα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Πρώτον, είναι εμφανές ότι όλοι οι φακοί, ανεξαρτήτου χρωματικότητας και σκουρότητας, παρουσιάζουν παρόμοια επίπεδα διαπερατότητας για μήκη κύματος > 700 nm, κάτι που καθορίζεται από το συγκεκριμένο υλικό (CR-39). Οπότε παρέχουν πλήρη προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία. Δεύτερον, η διαπερατότητα στο υπεριώδες (π.χ στα 380 nm) είναι σημαντικά μειωμένη στους χρωματικούς φακούς (σε ποσοστά < 5%), σε σχέση με το διαφανή φακό (~ 60%),

πληρώντας τα κριτήρια απορρόφησης στο υπεριώδες για πιστοποίηση CE, οριακά ίσως για το γκρι φακό. Τρίτον, είναι εμφανές ότι “οποιαδήποτε” βαφή απορροφά όχι μόνο φως από το ορατό φάσμα που καθορίζει την σκουρότητα και τη χρωματικότητα του φακού, αλλά και από το υπεριώδες.

Υπάρχει και μία άποψη, που έχει χρησιμοποιηθεί ως επιχείρημα πολλές φορές, ότι είναι καλύτερο να μη χρησιμοποιούμε καθόλου γυαλιά ηλίου από το να φοράμε ηλίου αγνώστου ποιότητας. Η συγκεκριμένη άποψη βασίζεται στην παρατήρηση ότι η κόρη διαστέλλεται



Εικόνα 4: Διαγράμματα φασματικής διαπερατότητας για φακούς από υλικό CR-39 με διαφορετικές “χρωματικότητες”: «διαφανής», γκρι, καφέ και πράσινο. Να σημειωθεί ότι το μέγιστο της διαπερατότητας είναι περίπου 92% επειδή δεν συνυπολογίζεται το φως που ανακλάται στις επιφάνειες του φακού (πηγή Opticampus.com).

όσο μειώνεται ο περιβαλλοντικός φωτισμός και ότι ένα σκούρο γυαλί ηλίου θα προκαλούσε διαστολή και είσοδο περισσότερου φωτός. Για παράδειγμα, ένας φακός με γκρι χρωματικότητα και σκουρότητα περίπου 10% (Κατ. 3) απορροφά/αντανακλά κατά μέσο όρο το 90% της φωτεινότητας (μια περίπου λογαριθμική μονάδα), προκαλώντας διαστολή της κόρης, σε ένα νεαρό οφθαλμό σε συνθήκες έντονου φωτισμού (και όταν δεν κοιτάει απευθείας τον ήλιο), από τα 3.5 στα 5.0 mm. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του φωτός που διέρχεται στον οφθαλμό (που είναι ανάλογο με το εμβαδό της “κυκλικής” κόρης) από  $(3.5)^2$  σε  $(5.0)^2$ , δηλαδή κατά περίπου 2 φορές. Ακόμα και μεγαλύτερη να είναι η μυδρίαση, δεν αναμένεται η αύξηση να είναι πάνω από 3 φορές. Στην περίπτωση που κάποιος δε φοράει καθόλου γυαλιά, αναμένεται το 100% του UVA που διαπερνά την ατμόσφαιρα να διέρχεται στον κερατοειδή. Στην περίπτωση ενός «διαφανή» CR39, αυτό το ποσό είναι μειωμένο κατά 40% στα 380nm, ενώ μηδενίζεται για μήκη κύματος < 350 nm. Μια γκρι βαφή, ακόμα και η ιδανική να μην είναι, θα απορροφά σίγουρα άλλο ένα 30 με 40% στα 380nm και σχεδόν όλο στα 360 nm. Έστω και τριπλάσιο φως να διαπερνά σε αυτή την περίπτωση, η ισχύς στα 380 nm θα είναι μικρότερη (περίπου 60% από την περίπτωση να μην φοράει γυαλιά ηλίου κάποιος) ενώ η συνολική ισχύς στο υπεριώδες (< 380 nm) θα είναι σημαντικά μει-

ωμένη. Άρα, το συγκεκριμένο επιχείρημα περί μη χρήσης γυαλιών φαίνεται να είναι λανθασμένο.

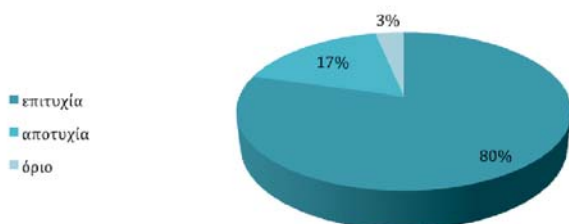
## Η έννοια της «προστασίας» στα γυαλιά ηλίου

Με βάση τις προηγούμενες πληροφορίες και την υπάρχουσα γνώση, η «έννοια» της προστασίας που πρέπει να παρέχεται από τα γυαλιά ηλίου, θα μπορούσε συνοπτικά να περιγραφεί με τα παρακάτω. Οι φακοί είναι αναγκαίο:

- I. να μειώνουν ικανοποιητικά το ορατό φως ώστε να περιορίζεται αισθητά η δυσφορία στην αντηλιά.
- II. να μειώνουν σε σημαντικά επίπεδα την υπεριώδη ακτινοβολία που εισέρχεται στον οφθαλμό, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης από πλάγιες κατευθύνσεις, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με αυξημένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.
- III. να είναι απαλλαγμένοι από οπτικές παραμορφώσεις και οποιαδήποτε διαθλαστική ισχύ έτσι ώστε να μην επηρεάζουν την οξύτητα της όρασης, προκαλώντας δυσφορία. Βέβαια, υπάρχουν ανοχές στη διαθλαστική ισχύ, αντίστοιχες με τις ανοχές που θεωρούνται αποδεκτές για συνταγογραφημένα γυαλιά οράσεως.
- IV. να είναι απαλλαγμένοι από πρισματική ισχύ, καθώς η ύπαρξή της θα μπορούσε να προκαλέσει λανθασμένη εκτίμηση αποστάσεων, διπλωπία ή ζαλάδα. Αντίστοιχα με τη διαθλαστική ισχύ, υπάρχουν ανοχές και για την πρισματική ισχύ.
- V. να έχουν πολωτικούς φακούς, όταν απαιτείται εξασθένιση της εκθαμβωτικής αντανάκλασης που προκαλείται από οριζόντιες επιφάνειες.
- VI. να μην έχουν υπερβολική σκουρότητα: Είναι γνωστό ότι οι υπερβολικά σκουρόχρωμοι φακοί είναι επικίνδυνοι κατά τη διάρκεια της οδήγησης, καθώς περιορίζουν την ικανότητα του οδηγού να διακρίνει τα αντικείμενα στη συννεφιά και στη σκιά, συμπεριλαμβανομένων και των μεγάλων αποστάσεων σε τούνελ. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν μελέτες που να αποδεικνύουν πειραματικά πόση πρέπει να είναι η διαπερατότητα ενός ηλίου για να είναι ασφαλές για χρήση μέσα στο αυτοκίνητο (ειδικά όταν ο ήλιος οδηγείται προς τη δύση του), σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, τα γυαλιά ηλίου με διαπερατότητα της τάξης του 8% και λιγότερο (Κατ. 4) θεωρούνται ακατάλληλα στην οδήγηση. Επειδή η φωτεινή ακτινοβολία που φτάνει στη θέση του οδηγού είναι περίπου 10% από αυτή που προσπίπτει στον ανεμοθώρακα του αυτοκινήτου, ίσως και τα γυαλιά ηλίου Κατ. 3 να μην αποτελούν ιδανική επιλογή. Ωστόσο, φακοί ηλίου με διαβάθμιση σκουρότητας (degrade) μπορούν να διευκολύνουν την όραση και τις αντιδράσεις του οδηγού. Σε αυτό, βέβαια, θα πρέπει να συμβάλλει και η επιλογή ενός σκελετού χωρίς παχείς βραχίονες που περιορίζουν την πλαϊνή και περιφερειακή όραση. Αντίστοιχα, οι ιδιαίτερα σκουρόχρωμοι φακοί είναι επικίνδυνοι για ασθενείς με «χαμηλή όραση», καθώς μειώνουν επιπρόσθετα την εναπομείνουσα οπτική τους οξύτητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτείνονται φακοί με φίλτρα «συντονισμένα» σε μήκη κύματος με μεγάλη ευαισθησία στην όραση (δηλαδή, επιτρέπουν μέγιστη διαπερατότητα στα 550 nm και γειτονικά μήκη κύματος - βλ εικόνα 1).

VII.να μην εισάγουν δευτερεύοντες κινδύνους που παρεμποδίζουν την άνεση στην όραση ή προκαλούν κάποιο τραυματισμό εξαιτίας του σχεδιασμού τους. Οι φακοί οφείλουν να είναι ανθεκτικοί ώστε να αποκλείονται κίνδυνοι που προκαλούνται με τη φθορά ή την καταστροφή τους (το θέμα αντοχής των φακών ηλίου μας απασχολεί περισσότερο όταν αναφερόμαστε σε φακούς από γυαλί - crown glass). Ο σχεδιασμός των γυαλιών πρέπει να είναι κατάλληλος και απαλλαγμένος από προεξοχές και αιχμηρές γωνίες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τραυματισμό ή ενόχληση.

Συμβατότητα των γυαλιών ηλίου με σήμανση CE, με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN1836



Εικόνα 5: Διάγραμμα ποσοστών των γυαλιών ηλίου που φέρουν τη σήμανση CE τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως «επιτυχημένα», «αποτυχημένα» ή «οριακά», όταν ελέγχθηκαν για τη συμβατότητά τους με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN1836.

## Είναι ασφαλή τα γυαλιά ηλίου με πιστοποίηση CE;

Η πλειοψηφία των χρηστών γυαλιών ηλίου, άρα και του αγοραστικού κοινού, έχει την πεποίθηση ότι όλα τα γυαλιά ηλίου που φέρουν πιστοποίηση CE είναι ασφαλή. Δυστυχώς, δεν είναι σπάνιο φαινόμενο να συναντάμε περιπτώσεις όπου τα γυαλιά είναι μεν κατασκευασμένα σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές, αλλά δεν είναι ασφαλή.

Στην Αυστραλία υπάρχει ένας φορέας, το Εργαστήριο Οπτικής και Ραδιομετρίας (The Optics and Radiometry Laboratory - ORLAB) που παρέχει υπηρεσίες αξιολόγησης για την Αυστραλιανή βιομηχανία γυαλιών ηλίου, ώστε να βοηθήσει στη συμμόρφωσή της με το υποχρεωτικό πρότυπο ασφαλείας καταναλωτικών προϊόντων. Με τον τρόπο αυτό, έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί ελέγχους σε γυαλιά ηλίου που φέρουν το σήμα CE, ενώ στην Ευρώπη ο έλεγχος της απόδοσης των γυαλιών ηλίου **δεν** είναι υποχρεωτικός - η βιομηχανία γυαλιών ηλίου θεωρείται **αυτοελεγχόμενη**.

Σε μια σχετικά πρόσφατη μελέτη (Dain et al, 2010), αξιολογήθηκε η απόδοση σε ένα δείγμα 646 γυαλιών ηλίου με σήμα καταλληλότητας CE, με βάση τους εξής παράγοντες: τη διαθλαστική και την πρισματική τους ισχύ, τη διαπερατότητα (στο ορατό, στο υπεριώδες και στη διαφορετική «χρωματικότητα») και την πόλωση. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι το 17.3% των γυαλιών δεν πληρούσε τις απαιτούμενες Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (European Standard EN1836) ενώ το 3.3% τις πληρούσε οριακά, λόγω αβεβαιότητας στις μετρήσεις (σφάλμα μέτρησης). Πιο συγκεκριμένα, τα «αποτυχημένα δείγματα» εμφάνισαν ελαττώματα του υλικού του φακού (0.9%), σφάλματα στην ευθυγράμμιση

της πόλωσης (12.5%), εκτεταμένο κατακόρυφο (2.7%) και οριζόντιο (22.3%) πρίσμα, υπερβολική σφαιρική (27.7%) και κυλινδρική (14.3%) διοπτρική ισχύ, 1.8% υπερβάλλουσα διαπερατότητα στο υπεριώδες (σε σχέση με την απαιτούμενη) και 23.2% διαφορά διαπερατότητας μεταξύ των φακών (με διαβάθμιση σκουρότητας).

Σε σχέση με τις αιτίες «αποτυχίας» της ποιότητας των φακών, η βασικότερη φαίνεται να είναι η σφαιρική διαθλαστική ισχύ, αξιολογηθείσα σε συγκεκριμένη θέση εφαρμογής του σκελετού στο πρόσωπο (όπως φοράει συνήθως ο χρήστης τα γυαλιά ηλίου) γεγονός το οποίο μπορεί να συμπεριλαμβάνει και οποιαδήποτε κλίση του σκελετού άρα και των φακών. Ακόμη και μία μικρή διαθλαστική ισχύ που θεωρείται φυσιολογική για την επιφάνεια του φακού στις περισσότερες συνήθειες περιπτώσεις, μπορεί εύκολα να μεγιστοποιηθεί όταν ο φακός αποκτά κλίση. Αυτό συνεπάγεται αυτόματα και διαφορά διαπερατότητας μεταξύ των φακών (~23%) και συσχετίζεται με τους φακούς ηλίου που παρουσιάζουν τη γνωστή διαβάθμιση σκουρότητας (degrade).

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, είναι γεγονός ότι ένα ποσοστό περίπου 20% σε γυαλιά ηλίου δεν ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις καταλληλότητας, ασφάλειας και προστασίας, παρά τις υπάρχουσες ανοχές. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το σύστημα του «ευρωπαϊκού αυτοελέγχου» **δεν** αποδίδει υπεύθυνα ως προς τη διάθεση γυαλιών ηλίου με την απαιτούμενη ασφάλεια στα οπτικά καταστήματα και κατά επέκταση στον καταναλωτή. Η εμφάνιση, επομένως, του πιστοποιημένου σήματος CE σε αρκετά γυαλιά ηλίου **δεν** είναι συνώνυμη με την ποιότητα. Ωστόσο, είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι το πολύ μικρό ποσοστό (της τάξης του 1.8%) «αποτυχίας» των φακών εξαιτίας της αυξημένης διαπερατότητας στο UVA αποδεικνύει ότι ο συγκεκριμένος παράγοντας είναι λιγότερο συνήθης πλέον, σε σχέση με παλαιότερες μελέτες (αν και το κριτήριο των 380nm, αντί των 400nm, που χρησιμοποιείται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο ίσως δεν είναι επαρκές). Η βιομηχανία κατασκευής γυαλιών ηλίου φαίνεται να έχει ανταποκριθεί τουλάχιστον πιο ικανοποιητικά, μετά τις πολλές ανακοινώσεις περί καταστροφής του ατμοσφαιρικού όζοντος προ 20ετίας, στην ανάγκη για προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία!

### Βιβλιογραφία

- Boettner, E.A. and Wolter, J.R. (1962) *Transmission of the Ocular Media. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1, 776-83.*
- Dain SJ, Ngo TPT, Cheng BB, Hu A, The AGB, Tseng J, Vu N (2010). *Sunglasses, the European directive and the European standard. Ophthalmic and Physiological Optics. 30: 253-256.*
- European Standard EN 1836 (2005) *Personal Eye Protection: Sunglasses and Sunglare Filters for General Use and Filters for Direct Observation of the Sun.*
- Sagawa K, Takahashi Y. (2001) *Spectral luminous efficiency as a function of age. J Opt Soc Am A.18:2659-2667*
- Stockman, A. and Sharpe, L.T. (2000) *Spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. Vision Research, 40, 1711-1737.*
- van Norren, D. & Vos J.J. (1974) *Spectral transmission of the human ocular media Vision Research, 14, 1237-1244.*