

Οπτική οξύτητα: είναι ακριβής ο τρόπος αξιολόγησής της στην κλινική πράξη;

Σ. ΠΛΑΪΝΗΣ¹, Τ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ¹, Μ. ΤΣΙΛΙΜΠΑΡΗΣ^{1,2}, Ι. ΠΑΛΛΗΚΑΡΗΣ^{1,2}

¹Ινστιτούτο Οπτικής και Όρασης (IVO), Σχολή Επιστημών Υγείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

²Οφθαλμολογική Κλινική, Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου (ΠΑΓΝΗ)

ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ

2: 133-45, 2009

Η μέτρηση της οπτικής οξύτητας αποτελεί αναπόσπαστο και σημαντικό κομμάτι κάθε οφθαλμολογικής εξέτασης, και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ακεραιότητας της όρασης, των διαθλαστικών σφαλμάτων και της παθοφυσιολογίας του οφθαλμού, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί απαραίτητο κριτήριο για τον καθορισμό της οπτικής "ετοιμότητας" για διάφορα επαγγέλματα. Αν και οι πρότυποι πίνακες της ETDRS έχουν εδώ και 25 χρόνια υιοθετηθεί από την οφθαλμολογική κοινότητα, στην καθημερινή κλινική πράξη συναντάμε διαφορετικούς πίνακες για την αξιολόγηση της οξύτητας που διαφέρουν τόσο στη μέθοδο μέτρησης (Snellen, συστήματα προβολής) όσο και στα οπτότυπα που περιέχουν (γράμματα, σύμβολα όπως το "landolt C" και το "illiterate E"). Είναι για παράδειγμα γνωστό ότι η αντίκρουση του προσανατολισμού του "κενού" στο δακτύλιο του Landolt απαιτεί διαφορετική ικανότητα όρασης (οξύτητα αντίκρουσης) που δεν εμπλέκει ανώτερη γνωστική επεξεργασία, όπως συμβαίνει στην "αναγνώριση γραμμάτων". Σε αυτήν την ανασκόπηση παρουσιάζονται οι διαθέσιμοι πίνακες οπτικής οξύτητας και παράλληλα προτείνεται η χρήση πρότυπων πινάκων (του Πανεπιστημίου Κρήτης), οι οποίοι προσφέρουν πανευρωπαϊκή χρήση εξασφαλίζοντας συγκρίσιμα αποτελέσματα σε πολυκεντρικές κλινικές μελέτες.

Λέξεις ευρετηρίασης: Οπτική οξύτητα, αναγνώριση γραμμάτων, οπτότυπα, Snellen, logMAR, Landolt C.

Visual acuity: Do we assess it accurately in the clinical practice?

S. PLAINIS¹, T. GIANNAKOPOULOU¹, M. TSILIMBARIS^{1,2}, I. PALLIKARIS^{1,2}

¹Institute of Vision and Optics (IVO), University of Crete

²University Hospital of Heraklion, Crete, Greece

The measurement of visual acuity forms an essential part of the routine ophthalmological examination for assessing the integrity of the visual function and the progress of any disease, while it comprises one of the main criteria that define, internationally, visual "fitness" for occupational tasks. However, although the ETDRS charts have been adopted by the ophthalmologic community as the standard for basic and clinical vision research, there are plenty of charts available in the market, which may differ in the optotypes used (e.g. letters, landolt C, illiterate E) and the testing procedure (e.g. Snellen charts, projectors). It is now accepted, for example, that "detecting a gap in a Landolt-C" introduces a different task of visual function, i.e. resolution acuity that does not implement the compensatory cognitive processes involved in recognition acuity (i.e. identification of a letter). This review introduces the various visual acuity charts and proposes the use of a standardized chart (i.e. the UoC charts) which offer European-wide use and could lead to comparable visual acuity scores in multinational clinical trials.

Key words: Visual acuity, visual charts, letter recognition, Snellen, logMAR, Landolt C.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η αντίληψη της όρασης αποτελεί ένα αμάλγαμα διαφορετικών ικανοτήτων (π.χ. αντίληψη φωτεινότητας, χρώματος, βάθους και κίνησης), οι οποίες αν και ελέγχονται από αυτόνομα νευρωνικά υπο-

στρώματα στα πρώιμα στάδια επεξεργασίας, ενσωματώνονται στη συνέχεια για να μας προσφέρουν μία ενοποιημένη αντίληψη του οπτικού περιβάλλοντος. Πρωταρχική προϋπόθεση για την επίτευξη ανώτερων αντιληπτικών διαδικασιών, όπως η αναγνώριση προσώπων, η χρωματική σταθερότητα, και η νευρωνική προσαρμογή, είναι η δημι-

Εστάλη προς δημοσίευση 22 Μαΐου 2009

ουργία ενός ευκρινούς ειδώλου στην κεντρική περιοχή του αμφιβληστροειδή, την ωχρά κηλίδα (fovea). Σημαντικό χαρακτηριστικό της κεντρικής όρασης αποτελεί η **χωρική διακριτική ικανότητα**, η οποία ορίζεται ως η μικρότερη χωρική λεπτομέρεια που μπορεί να ανιχνευθεί (π.χ. η απόσταση μεταξύ δύο σημειακών πηγών) ή να αναγνωριστεί (π.χ. ένα γράμμα).

Είναι κατανοητό ότι το μέγεθος των ειδώλων που σχηματίζονται στον αμφιβληστροειδή δεν εξαρτάται μόνο από το φυσικό μέγεθος των αντικειμένων, αλλά και από την απόστασή τους από τον οφθαλμό: το σχετικό μέγεθος ενός αντικειμένου αυξάνεται όσο αυτό μας πλησιάζει. Επομένως για τον ακριβή υπολογισμό της χωρικής διακριτικής ικανότητας είναι απαραίτητη η χρήση ενός σταθερού μεγέθους, όπως η γωνία όρασης (visual angle), η οποία αποτελεί τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αντικειμένου/ειδώλου και των κομβικών σημείων του φακού. Η συσχέτιση της γωνίας όρασης (α) με το φυσικό μέγεθος του αντικειμένου (A) και του ειδώλου (A') προσδιορίζεται ως εξής (Σχήμα 1):

$$\epsilon\phi\alpha = A / \text{απόσταση κομβικού σημείου από αντικείμενο} = A' / \text{απόσταση κομβικού σημείου από είδωλο (στο "απλό" μοντέλο οφθαλμού ίση με 16.6 mm)*}$$

Στην καθημερινή κλινική πράξη η αξιολόγηση της διακριτικής ικανότητας του συστήματος όρασης πραγματοποιείται με μια σχετικά απλή μέθοδο, την **οπτική οξύτητα**, η οποία ορίζεται ως η ικανότητα να αναγνωρίζουμε σύμβολα ενός πρότυπου πίνακα εξέτασης σε μια συγκεκριμένη απόσταση. Η μέτρηση της οπτικής οξύτητας αποτελεί αναπόσπαστο και σημαντικό κομμάτι κάθε οφθαλμολογικής εξέτασης και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των διαθλαστικών σφαλμάτων και της παθοφυσιολογίας

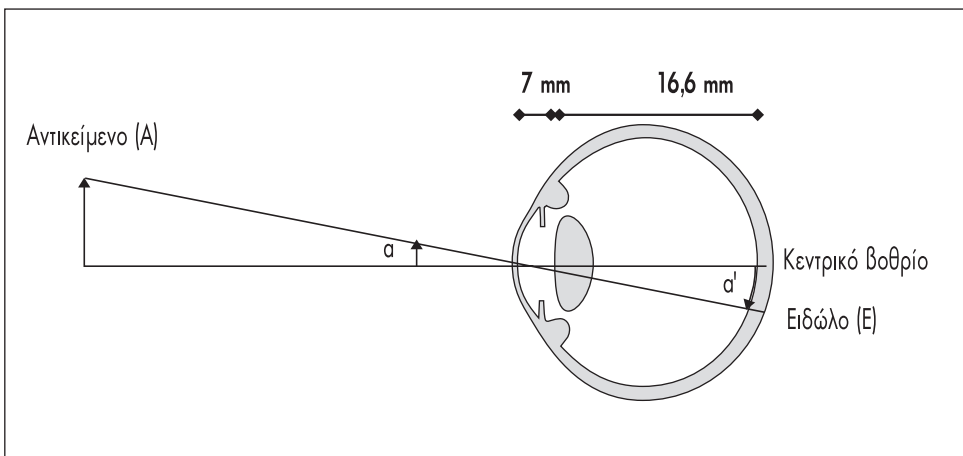
του οφθαλμού (π.χ. στη διάγνωση ή/και την καταγραφή της εξέλιξης οφθαλμικών παθήσεων, στην παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων θεραπευτικών μεθόδων). Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη για τον καθορισμό κριτηρίων επιλογής που καθορίζουν **διεθνώς** την οπτική "ετοιμότητα" στην οδήγηση¹ και την πλοήγηση αεροσκαφών².

2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ

Η οπτική οξύτητα αξιολογείται στην κλινική πράξη συνήθως με τη χρήση πινάκων που αποτελούνται από σειρές μαύρων συμβόλων (ή αριθμών ή γραμμάτων – που ονομάζονται **οπτότυπα**) σε λευκό υπόβαθρο, που βαθμιαία ελαττώνονται σε μέγεθος. Κάθε οπτότυπο περικλείεται σε ένα τετραγωνικό "πλαίσιο", με το μήκος της κάθε του πλευράς να είναι πενταπλάσιο του πάχους των γραμμών (σκελών) που το αποτελούν (Σχήμα 2).

2.1 Πίνακες Snellen

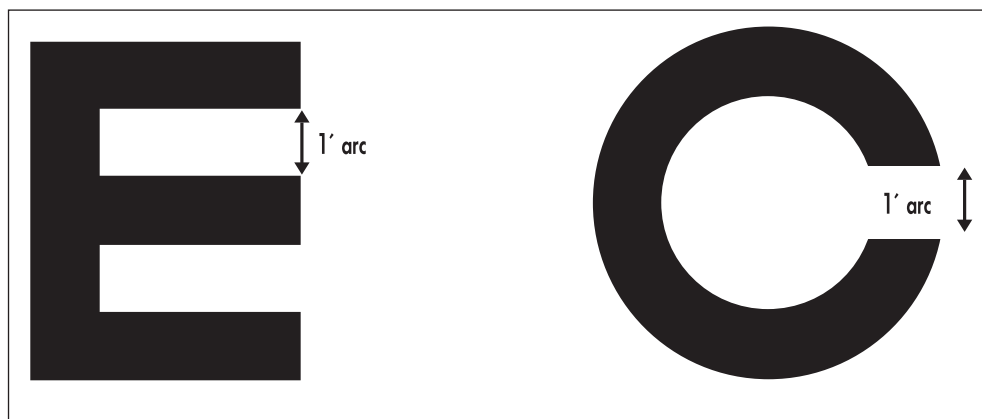
Αν και ορισμένοι πίνακες για την εξέταση της όρασης είχαν δημιουργηθεί πριν από το Μεσαίωνα, και κάποιες προσπάθειες έγιναν από τον Jaeger (1854 - πίνακες για την ανάγνωση / κοντινή όραση) και τον Donders (1861 - πίνακες του Jaeger για τη μακρινή όραση), οι πρώτοι "βαθμονομημένοι" πίνακες για τη μέτρηση της οπτικής οξύτητας κατασκευάστηκαν και δημοσιεύτηκαν το 1862 από τον Herman Snellen. Η βαθμονόμηση της κλίμακας (μέγεθος των γραμμάτων) βασίστηκε στη διαπίστωση του Άγγλου αστρονόμου Robert Hooke (βλ. Rayleigh³), ο οποίος δυο αιώνες νωρίτερα είχε παρατηρήσει ότι ο ανθρώπινος οφθαλμός μπορεί να διαχωρίσει δυο γειτονικούς αστέρες όταν τα φωτεινά είδωλα από τα τηλεσκοπικά όργανα βρίσκονταν σε απόσταση 1 arcmin. Ως αποτέλεσμα



ΣΧΗΜΑ 1. Γωνία όρασης (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αντικειμένου/ειδώλου και των κομβικών σημείων του φακού. Αντικείμενα με την ίδια γωνία όρασης έχουν το ίδιο μέγεθος στον αμφιβληστροειδή. Ως μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται η μοίρα ($^{\circ}$) με υποδιαιρέσεις τα λεπτά (arcmin) και τα δευτερόλεπτα του τόξου (arcsec). Στο απλό μοντέλο του οφθαλμού γωνία όρασης 1° αντιστοιχεί περίπου σε αμφιστροειδικό μέγεθος ίσο με 0.290 mm.

*Επομένως, για γωνία όρασης ίση με 1 μοίρα ($^{\circ}$) έχουμε: $\epsilon\phi 1^{\circ} = A' / 16.6 \text{ mm}$ ή $A' = 0.290 \text{ mm}$, δηλαδή 1° αντιστοιχεί περίπου σε 0.290 mm στον αμφιβληστροειδή.

ΣΧΗΜΑ 2. Αρχή κατασκευής των οπτοτύπων: (αριστερά) το illiterate E που αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε πληθυσμό αναλφάβητων, (δεξιά) το Landolt C (βλ. παρακάτω). Το γράμμα των 10/10 (6/6) έχει γωνία όρασης ίση με 5 λεπτά της μοίρας στην απόσταση εξέτασης, δηλαδή το σκέλος του κάθε γράμματος φαίνεται υπό γωνία 1 λεπτού της μοίρας.



ο Snellen όρισε ως "φυσιολογική" οπτική οξύτητα αυτή που απαιτείται για να αναγνωριστεί ένα γράμμα, που αποτελείται από 5 σκέλη κι έχει γωνία όρασης ίση με 5 λεπτά, στα 6 μέτρα. Δηλαδή, η οπτική οξύτητα (Ο.Ο.) ορίζεται από ένα κλάσμα του οποίου ο αριθμητής είναι η απόσταση του εξεταζόμενου από τον πίνακα μέτρησης (π.χ. 6 μέτρα στην περίπτωση του Snellen), και παρονομαστής η απόσταση στην οποία το οπτότυπο φαίνεται υπό γωνία 5 λεπτών της μοίρας.

Ο.Ο. = απόσταση εξέτασης / απόσταση στην οποία το οπτότυπο φαίνεται υπό γωνία 5 arcmin

Οι πίνακες του Snellen αποτελούνταν αρχικά από γράμματα ειδικά - κατασκευασμένης γραμματοσειράς και είχαν τέτοια κατανομή, ώστε στην κορυφή υπήρχε ένα γράμμα που απαιτεί υποδεκαπλάσια οπτική οξύτητα (6/60) από τη "φυσιολογική" και φαίνεται υπό γωνία 5 λεπτών της μοίρας στα 60 μέτρα. Η μείωση του μεγέθους των γραμμάτων στον πρότυπο πίνακα γίνονταν με γεωμετρική πρόοδο, δηλαδή κάθε σειρά γραμμάτων ήταν μικρότερη της προηγούμενης κατά περίπου $\sqrt{2}$, δηλαδή το μέγεθος των γραμμάτων υπο-διπλασιάζεται κάθε δύο σειρές (π.χ. 6/6, 6/9, 6/12, 6/18, 6/24, 6/26, 6/48, 6/60 – αν και αυτό δε συμβαίνει για όλες τις γραμμές). Στους πίνακες με προέλευση από τις ΗΠΑ η απόσταση εκφράζεται σε πόδια, ft, δηλαδή οξύτητα 6/6 αντιστοιχεί σε 20/20. Το κλάσμα του Snellen, μπορεί να εκφραστεί και σε δεκαδική παράσταση (το ηηλίκιο της παράστασης Snellen), η οποία έχει κυριαρχήσει στην Ελλάδα (τα 6/6 αντιστοιχούν σε 1.0 ή 10/10). Να σημειωθεί όμως ότι η αναφορά σε 10/10 δεν προσδίδει κάποια γεωμετρική ή φυσιολογική ερμηνεία όπως τα 6/6. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να προστεθεί ότι επειδή στους πίνακες Snellen η μεταβολή του μεγέθους των γραμμάτων δε γίνεται πάντα με σταθερή πρόοδο, δεν είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση της μέτρησης στις περιπτώσεις που γίνονται 1-2 λάθη στην ίδια

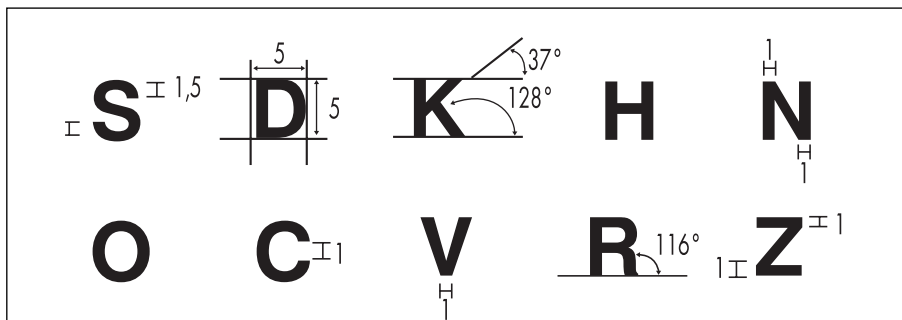
γραμμή (σε αυτές τις περιπτώσεις η οξύτητα αναφέρεται π.χ. ως 10/10-2).

2.2 Πίνακες Log MAR / ETDRS

Η μείωση του μεγέθους των γραμμάτων με γεωμετρική πρόοδο και όχι αριθμητική δεν έχει επιλεγεί τυχαία, αλλά βασίζεται στον τρόπο συμπεριφοράς των κύριων λειτουργικών χαρακτηριστικών της όρασής μας (π.χ. ανίχνευση φωτεινότητας, ευαισθησία αντίθεσης). Σε αυτή τη διαπίστωση βασίστηκε ο Green, ο οποίος παρουσίασε στο Αμερικανικό Οφθαλμολογικό Σύλλογο το 1968⁴ έναν πίνακα που αποτελούνταν από γράμματα χωρίς πατούρα (σε αντίθεση με τον Snellen) με το μέγεθος των γραμμάτων (και το διάστημα μεταξύ των γραμμών) να μεταβάλλονται με γεωμετρική πρόοδο. Ο πίνακας δεν είχε την ανάλογη αποδοχή εκείνη την εποχή, αλλά στην πραγματικότητα αποτελεί τον "πρόγονο" του σημερινού πρότυπου πίνακα.

Αν και στο μεσοδιάστημα έγιναν πολλές προτάσεις όσον αφορά τους πίνακες και το πρότυπο σύστημα μέτρησης της Οπτικής Οξύτητας, η επόμενη σημαντική αναφορά έγινε από τη Louise Sloan (1959)⁵, η οποία αποτέλεσε θεμελιωτή του οργανισμού Χαμηλής Όρασης στο Ινστιτούτου Όρασης Wilmer του πανεπιστημίου John Hopkins. Η Sloan σχεδίασε ένα νέο πίνακα μιας ομάδας 10 γραμμάτων χωρίς πατούρα (Σχήμα 3), διατηρώντας το 5x5 πλέγμα του Snellen, σε αντίθεση με τα πρότυπα των Βρετανών (5x4 πλέγμα). Επειδή εκτίμησε ότι δεν ήταν όλα τα γράμματα ισοδύναμα αναγνωρίσιμα, πρότεινε να χρησιμοποιούνται δέκα μόνο γράμματα. Η Sloan επίσης εισήγαγε μια νέα σημειογραφία για την οπτική οξύτητα, τη "μονάδα M", η οποία αντιπροσωπεύει την ικανότητα να αναγνωρίσουμε ένα πρότυπο μέγεθος γράμματος (5arcmin) σε απόσταση ενός (1) μέτρου. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα άμεσου υπολογισμού της οπτικής οξύτητας χρησιμοποιώντας έναν πίνακα σε διαφορετικές αποστάσεις (βλ. παρακάτω).

Αργότερα οι Bailey-Lovie⁶ δημοσίευσαν έναν καινούργιο



ΣΧΗΜΑ 3. Γράμματα όπως κατασκευάστηκαν από τη Sloan.

γιο πίνακα ο οποίος περιείχε τις προτάσεις του Green και στηριζόταν στην παράσταση logMAR (στο λογάριθμο της ελάχιστης γωνίας ευκρίνειας), εξασφαλίζοντας γεωμετρική αλλαγή στο μέγεθος των γραμμάτων. Επίσης, χρησιμοποιήσαν πέντε γράμματα σε κάθε σειρά, ξεπερνώντας ακόμη ένα μειονέκτημα του πίνακα Snellen, δηλαδή τη χρήση διαφορετικού αριθμού γραμμάτων σε κάθε σειρά, ενδυναμώνοντας τον πίνακα γι' αυτούς. Οι μετατροπές της οπτικής οξύτητας στις δύο παραστάσεις (logMAR – δεκαδική) είναι εφικτές από τις παρακάτω εξισώσεις:

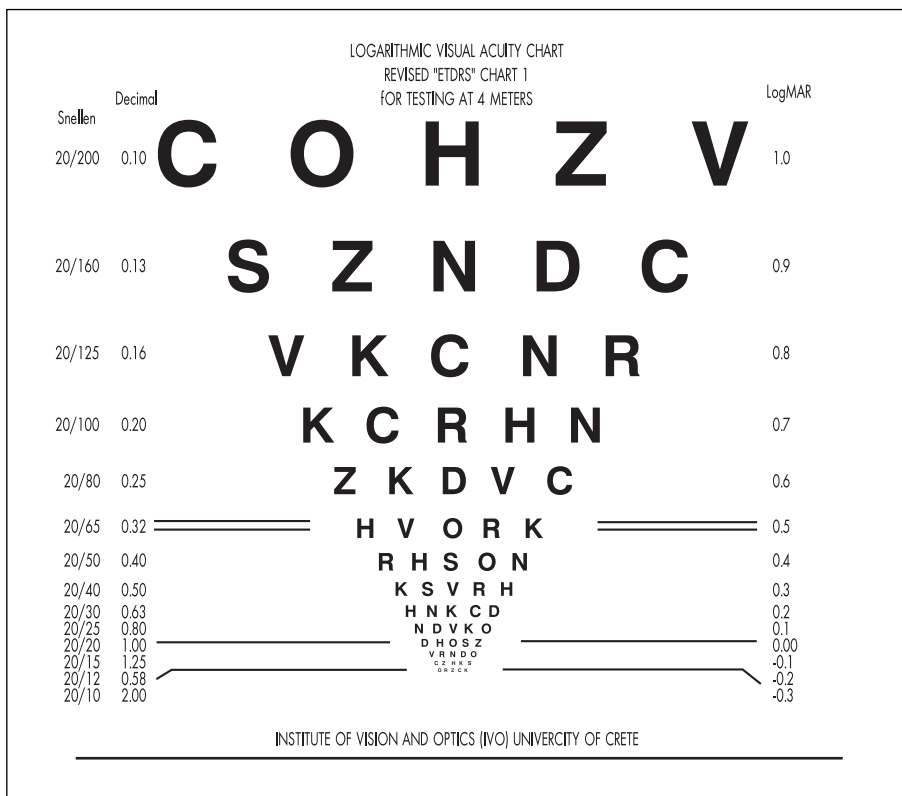
$$\text{decimal} = \text{antilog}(-\log\text{MAR}) = 10^{-\log\text{MAR}}$$

$$\log\text{MAR} = -\log(\text{decimal acuity}) \quad (1)$$

Όλες οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδήγησαν το Εθνικό Ινστιτούτο Οφθαλμού των ΗΠΑ⁷, στην εδραίωση μιας

πρότυπης μεθόδου για τη μέτρηση της οπτικής οξύτητας για τη μελέτη της πρόωρης θεραπείας της διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας (Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study), υιοθετώντας τον πίνακα των Bailey-Lovie⁶ με κάποιες τροποποιήσεις (Σχήμα 4). Οι logMAR ETDRS πίνακες περιέχουν γράμματα της γραμματοσειράς Sloan⁸, παρουσιάζουν σταθερό αριθμό γραμμάτων (5) ανά σειρά και γεωμετρική πρόοδο στη μεταβολή του μεγέθους τους (ο λόγος της μεταβολής είναι ίσος με 0.1 logMAR, δηλαδή 1.26), ενώ η "βαρύτητα" του κάθε γράμματος είναι 0.02 logMAR. Η μεταβολή του μεγέθους των γραμμάτων γίνεται από 1.0 μέχρι -0.3.

Από την εξίσωση (1) συμπεραίνεται ότι στην παράσταση logMAR οπτική οξύτητα ίση με 0.0 αντιστοιχεί σε δεκαδική οπτική οξύτητα 1.0, ενώ αρνητικές τιμές logMAR αντιστοιχούν σε δεκαδική οπτική οξύτητα >1.0.



ΣΧΗΜΑ 4. Πρότυπος logMAR/ETDRS πίνακας οπτικής οξύτητας. Σε ερευνητικά πρωτόκολλα είναι απαραίτητη η χρήση διαφορετικών πινάκων για τον αριστερό και δεξιό οφθαλμό και για τον υπολογισμό της διάθλασης.

2.3. Άλλοι πίνακες οπτικής οξύτητας

Το 1874 ο Landolt συνεργαζόμενος με τον Snellen, παρατήρησε ότι τα οπτότυπα που χρησιμοποιούνταν στους πίνακες Snellen δεν ήταν ισοδύναμα αναγνωρίσιμα. Αυτό τον οδήγησε να προτείνει το σύμβολο του "σπασμένου δακτυλιδιού" (γνωστό ως Landolt C) (1888), ένα σύμβολο που αποτελούνταν μόνο από ένα στοιχείο λεπτομέρειας (ένα άνοιγμα) το οποίο διέφερε ως προς τον προσανατολισμό. Το Landolt C αν και αποτέλεσε το σύμβολο που προτιμήθηκε για την αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας σε ερευνητικά πρωτόκολλα, κέρδισε αρχικά μικρή αποδοχή από τους κλινικούς. Αρκετά αργότερα, ο Ταγλορ⁹ δημιούργησε έναν πίνακα οπτοτύπων, ο οποίος αποτελείτο από το γράμμα E ("illiterate" E) στραμμένο σε 4 προσανατολισμούς, με σκοπό τη χρήση του σε πληθυσμό **αναλφάβητων** και συγκεκριμένα στους ιθαγενείς (Αβοριγίνες) της Αυστραλίας (απ' όπου προέρχεται και η ονομασία του συμβόλου). Αυτά τα οπτότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε μορφή πινάκων logMAR (Σχήμα 5).

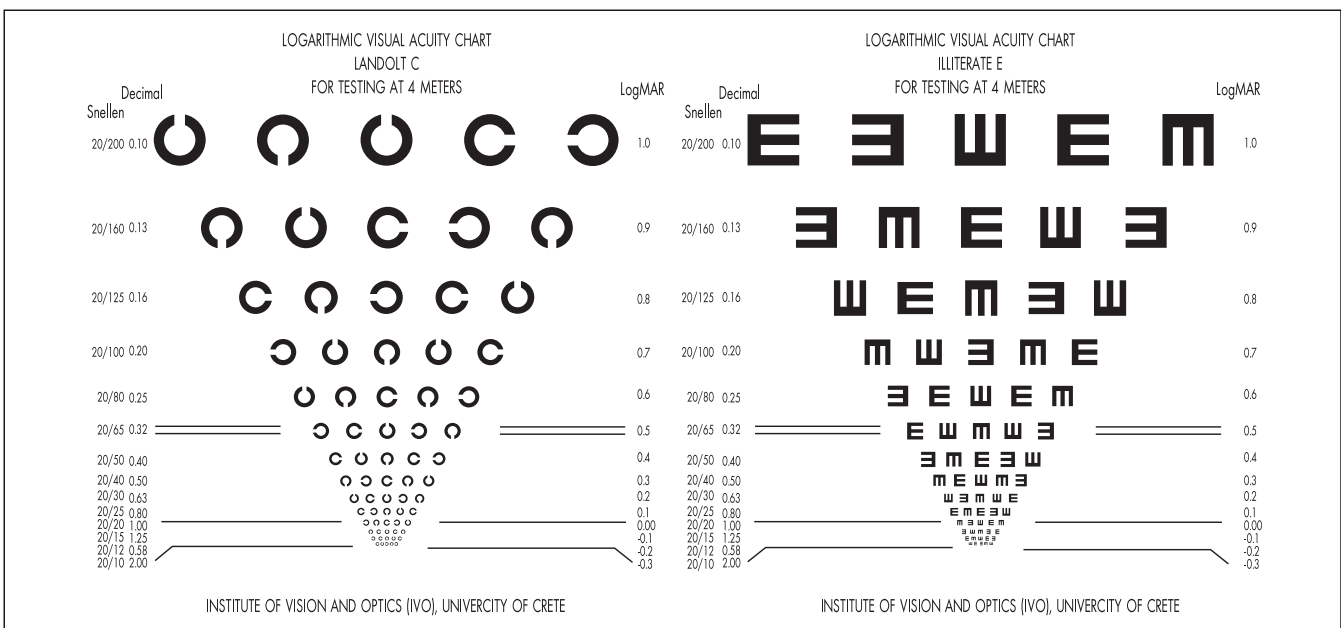
3. ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΑ 10/10 ΟΡΑΣΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ;

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο ορισμός της οπτικής οξύτητας προέκυψε από την καθαρά εμπειρική αξιολόγηση του αστρονόμου Robert Hooke. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η μέγιστη χωρική διακριτική ικανότητα του κάθε οφθαλμού περιορίζεται τόσο από οπτικούς παράγοντες (περίθλαση από το άνοιγμα της κόρης, σκέδαση/ε-

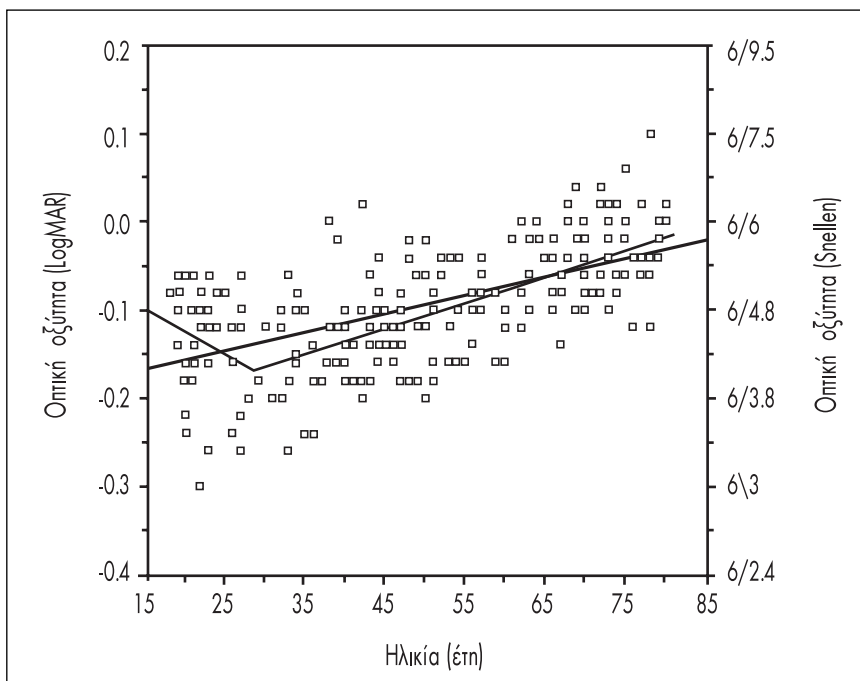
κτροπές από τις οπτικές διεπιφάνειες του οφθαλμού) αλλά και από φυσιολογικά και ανατομικά αίτια του οφθαλμού, όπως η πυκνότητα των κωνίων και των γαγγλιακών κυττάρων στο κεντρικό βοθρίο του αμφιβληστροειδή. Έχει, μάλιστα, παρατηρηθεί ότι ορισμένοι από τους παραπάνω παράγοντες, όπως οι εκτροπές υψηλής τάξης¹⁰ και η πυκνότητα των κωνίων στο κεντρικό βοθρίο (Curcio και συν., 1990) παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση στο φυσιολογικό πληθυσμό. Ως αποτέλεσμα, δημογραφικές μελέτες^{11,12} έχουν δείξει ότι τα επίπεδα διορθωμένης οπτικής οξύτητας στο μέσο φυσιολογικό οφθαλμό νεαρής ηλικίας είναι αρκετά υψηλότερα, περίπου 1.2 με 1.8 δεκαδική οξύτητα. Μόνο σε ηλικιωμένους (>65 ετών), χωρίς παθολογικά ευρήματα οφθαλμούς η μέση οπτική οξύτητα περιορίζεται στα 10/10 (Σχήμα 6) και αυτό οφείλεται κυρίως στην αυξημένη σκέδαση του κρυσταλλοειδή φακού και στην πιθανή εκφύλιση σε νευρώνες της οπτικής οδού. Είναι απαραίτητο επομένως, να γνωρίζει ο εξεταστής στα πλαίσια του ελέγχου του διαθλαστικού σφάλματος για την εξαγωγή της ακριβέστερης σφαιρο-κυλινδρικής διόρθωσης, ότι η πλειονότητα των νεαρών ατόμων μπορεί να διακρίνει γράμματα μικρότερα από αυτά που εμφανίζονται στη σειρά των "10/10".

4. ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΛΙΝΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Από τη στιγμή που δεν υπάρχει κάποιος πρότυπος πίνακας οπτικής οξύτητας στη χώρα μας, στην καθημερινή κλινική πράξη η μέτρηση της οπτικής οξύτητας διαφέρει από κλινική σε κλινική αλλά και από εξεταστήριο σε εξε-



ΣΧΗΜΑ 5. Πίνακες logMAR με οπτότυπα Landolt C και illiterate E.



ΣΧΗΜΑ 6. Μέση μονόφθαλμη οπτική οξύτητα (σε κλίμακα logMAR στα αριστερά και Snellen στα δεξιά) σε 223 εξεταζόμενους με υγιείς και φυσιολογικούς οφθαλμούς και τη χρήση της κατάλληλης διαθλαστικής διόρθωσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μέση οπτική οξύτητα σε νεαρούς οφθαλμούς είναι περίπου 6/4 (1.5 σε δεκαδική κλίμακα) ενώ σε ηλικίες >65 ετών μειώνεται σε 6/6 (1.0 σε δεκαδική κλίμακα) (από Elliott και συν., 1995¹²).

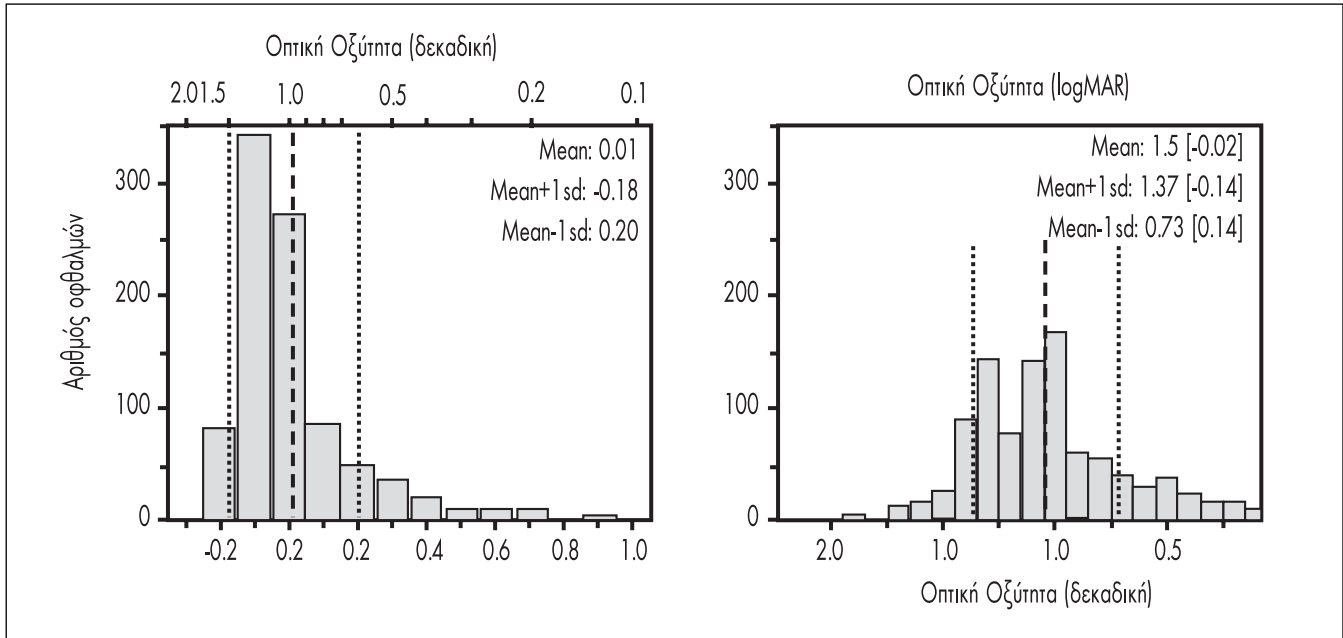
ταστήριο στην ίδια κλινική. Στην ελληνική αγορά είναι διαθέσιμοι διαφορετικοί πίνακες, συστήματα προβολής και αυτόνομες οθόνες, άλλοι σχεδιασμένοι με βάση τους πίνακες Snellen, άλλοι με βάση την κλίμακα logMAR, ή την αυθαίρετη "ελληνική" δεκαδική κλίμακα (των 10/10). Επίσης, οι πίνακες διαφέρουν και στο είδος (γράμματα, αριθμοί και σύμβολα) και τον αριθμό των οπτοτύπων (το συνολικό ή ανά σειρά) που περιέχουν. Οι παραπάνω παράγοντες είναι προφανές ότι είναι πιθανόν να επηρεάσουν την επαναληψιμότητα και την εγκυρότητα των μετρήσεων. Οι επόμενες ενότητες παραθέτουν κάποια σημεία που θα πρέπει να γνωρίζουμε πριν ξεκινήσουμε τη συλλογή δεδομένων οπτικής οξύτητας, ιδιαίτερα αν επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα στα πλαίσια μιας κλινικής ή ερευνητικής μελέτης.

4.1 Ανακρίβεια αποτελεσμάτων με τη χρήση δεκαδικής ή Snellen κλίμακας

Από τη στιγμή που η αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας βασίζεται σε ένα κλάσμα, την ελάχιστη γωνία ευκρίνειας, για την εξαγωγή ασφαλών στατιστικών συμπερασμάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του γεωμετρικού μέσου όρου. Σε αντίθεση, ο υπολογισμός μέσων όρων, τυπικών αποκλίσεων και άλλων στατιστικών δεδομένων σε δεκαδική κλίμακα οδηγεί σε ανακριβή συμπεράσματα. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 7 απεικονίζονται κατανομές μετρήσεων οπτικής οξύτητας που έγιναν σε 930 μαθητές σχολείων στο Ηράκλειο Κρήτης. Είναι εμφανές ότι αν οι μετρήσεις παρασταθούν σε κλίμακα logMAR τότε η μέση οπτική οξύτητα είναι 0.01, η τυπική απόκλιση ± 0.19 και τα όρια (95%) συμφωνίας -0.18 και 0.20. Αν, όμως οι μετρή-

σεις παρασταθούν σε δεκαδική κλίμακα και στη συνέχεια οι μέσες τιμές μετατραπούν σε κλίμακα logMAR τότε η μέση οπτική οξύτητα είναι -0.02, η τυπική απόκλιση ± 0.12 και τα όρια (95%) συμφωνίας -0.14 και 0.14.

Στο παραπάνω παράδειγμα οι διαφορές στη μέση τιμή ίσως να μη φαίνονται μεγάλες, γιατί οι μαθητές μετρήθηκαν με την καθημερινή τους διαθλαστική διόρθωση στο σχολείο (π.χ. χρήση γυαλιών οράσεως ή φακών επαφής), δηλαδή, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7, το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών (~75%) παρουσίαζε οπτικές οξύτητες <0.00 logMAR (>1.0 σε δεκαδική κλίμακα). Η ανακρίβεια των αποτελεσμάτων όταν χρησιμοποιείται δεκαδική κλίμακα είναι περισσότερο εμφανής όταν το δείγμα παρουσιάζει μεγάλη διασπορά στις μετρήσεις. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει θεωρητικές μετρήσεις από έξι οφθαλμούς, με την οξύτητα να κυμαίνεται μεταξύ -0.3 και 2.0 logMAR. Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχει σημαντική απόκλιση στη μέση τιμή των μετρήσεων σε πίνακα logMAR (0.50) και αυτών σε πίνακα δεκαδικής κλίμακας και μετέπειτα μετατροπής σε κλίμακα logMAR (0.32). Η τυπική απόκλιση μπορεί να έχει την ίδια τιμή και στις δύο περιπτώσεις (0.87), αλλά για να ερμηνευτεί σωστά πρέπει να αποδοθεί σε γραμμές γραμμών: δηλαδή αν αναλογιστούμε ότι 0.1 logMAR αντιστοιχούν σε μία γραμμή στον πίνακα logMAR (που αποτελείται από 5 γράμματα), τότε η τυπική απόκλιση είναι 8.7 γραμμές. Οι 8.7 γραμμές στον πίνακα logMAR σε κλίμακα δεν είναι ίσες με τις 8.7 γραμμές σε δεκαδική κλίμακα. Τα παραπάνω μειονεκτήματα έχουν γίνει κατανοητά και από τη διεθνή οφθαλμολογική κοινότητα, με αποτέλεσμα τα περισσότερα έγκριτα περιοδικά της οφθαλμολογίας να προπαι-



ΣΧΗΜΑ 7. Κατανομή οπτικής οξύτητας του ενός οφθαλμού 930 μαθητών δημοτικού και γυμνασίου σε κλίμακα logMAR (επάνω) και σε δεκαδική κλίμακα (κάτω). Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στους μέσους όρους και στις ± 1.0 τυπικές αποκλίσεις. Παρατηρήστε ότι όταν οι μετρήσεις παρασταθούν σε κλίμακα logMAR η μέση τιμή της οπτικής οξύτητας και η τυπική απόκλιση είναι 0.01 ± 0.19 , ενώ όταν παρασταθούν σε δεκαδική κλίμακα και στη συνέχεια οι μέσες τιμές μετατραπούν σε κλίμακα logMAR τότε είναι -0.02 ± 0.12 .

τούν η μέτρηση της οπτικής οξύτητας να γίνεται με log-MAR πίνακες.

4.2 Μέτρηση της οξύτητας σε άτομα με χαμηλή όραση

Είναι διαπιστωμένο ότι με τους πίνακες Snellen ή με τη χρήση συστημάτων προβολής είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί η οπτική οξύτητα σε άτομα με χαμηλή όραση λόγω περιορισμένου αριθμού γραμμάτων μεγάλου μεγέθους. Αυτό συμβαίνει γιατί στους πίνακες Snellen η γραμμή 1/10 (6/60) αποτελείται από μόνο ένα γράμμα (ή 2 συνήθως σε συστήματα προβολής) ενώ η γραμμή 2/10 (ή 6/36, ανάλογα με τον πίνακα) αποτελείται από δύο γράμματα. Δηλαδή ο εξεταστής βασίζεται στην αναγνώριση ενός γράμματος για να καθορίσει αν ένας ασθενής πληροί τα κριτήρια τυφλότητας (σε αυτή την περίπτωση πρέπει να μειώσει την απόσταση του πίνακα στο μισό!) και μόνο δύο γράμματα για να διαπιστώσει αν η οξύτητα ενός ασθενή έχει διπλασιαστεί από 1/10 σε 2/10! Αντιθέτως η χρήση του πίνακα logMAR απαιτεί την αναγνώριση δεκαπέντε (15) γραμμάτων για οξύτητα ίση με 2/10. Είναι επομένως εμφανές ότι οι πίνακες logMAR αποτελούν τη σωστή επιλογή σε συνθήκες που απαιτείται η ακριβής καταγραφή της οπτικής οξύτητας, όπως για τον έλεγχο της εξέλιξης μιας πάθησης ή την αποτελεσματικότητα μιας φαρμακευτικής ή χειρουργικής θεραπείας. Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις ασθενών με μειωμένη οπτική αντίληψη

(οπτική οξύτητα $< 1/20$) όπου ακόμη κι αν ο πίνακας log-MAR τοποθετηθεί στα δύο μέτρα δεν μπορούν να αναγνωρισούν κάποια γράμματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως είναι γνωστό, ο εξεταστής χρησιμοποιεί διαφορετικούς τρόπους για να ελέγχει την ευκρίνεια όρασης, όπως για παράδειγμα τη "μέτρηση δαχτύλων" (counting fingers, CF) (σε διαφορετικές αποστάσεις – αν και τα 40 cm

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Ομάδες αλφάβητου που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας σε άτομα με χαμηλή όραση. Η κλίμακα logMAR είναι η κλίμακα που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας σε άτομα με χαμηλή όραση.

Οφθαλμός	logMAR κλίμακα	Δεκαδική κλίμακα
1	-0.3	2.00
2	-0.26	1.84
3	0.3	0.50
4	0.24	0.58
5	1	0.10
6	2	0.01
Μέσος όρος \pm τυπική απόκλιση (logMAR)	0.50 \pm 0.87 σειρές	0.84 \pm 0.87 σειρές

αποτελούν την πιο συνήθη απόσταση), την "αντίληψη κίνησης χεριού" (Hand Motion, HM) και την αντίληψη φωτός (Light Perception, LP) ή μη (No Light Perception, NLP). Μάλιστα, πρόσφατες μελέτες¹³⁻¹⁵ συσχέτισαν τις παραπάνω "ποιοτικές" διαβαθμίσεις της ευκρίνειας όρασης με τιμές οπτικής οξύτητας, χρησιμοποιώντας ειδικά κατασκευασμένο λογισμικό που επιτρέπει την προβολή οπτοτύπων σε οθόνες υψηλής ανάλυσης (The Freiburg Visual Acuity chart¹⁶).

4.3 Οι πίνακες ETDRS δεν προσφέρουν καθολική χρήση – Πίνακες Πανεπιστημίου Κρήτης

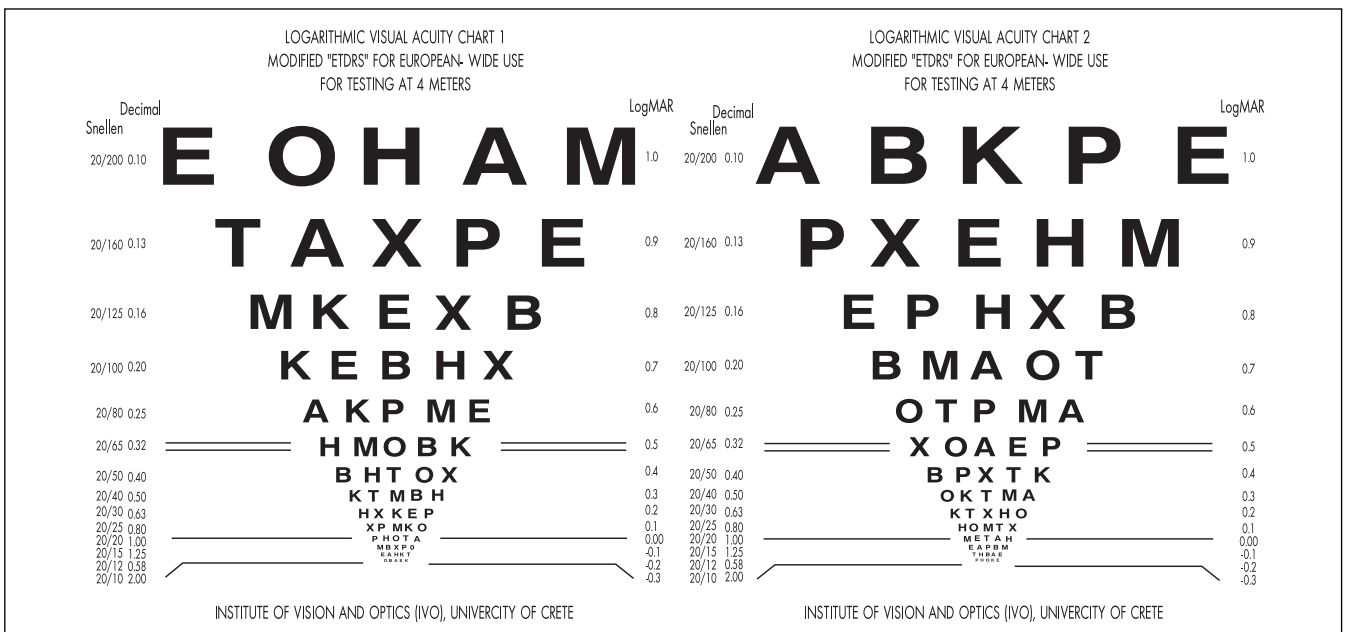
Αν και οι πρότυποι πίνακες της ETDRS έχουν όλα σχεδόν τα κριτήρια για μία ακριβή και επαναλήψιμη μέτρηση, δυστυχώς περιλαμβάνουν ορισμένα γράμματα που δεν χρησιμοποιούνται στο ελληνικό, στο κυριλλικό και στο κεντρικό-ευρωπαϊκό αλφάβητο αλλά, όπως είναι κατανοητό, και σε αλφάβητα των περισσότερων ασιατικών χωρών. Ως αποτέλεσμα, δεν έχει τη δυνατότητα να ενταχθεί σε καθημερινή χρήση στη χώρα μας, ενώ καθίσταται αρκετά δύσκολη και η συμμετοχή ελληνικών διαγνωστικών κέντρων σε διεθνείς πολυκεντρικές μελέτες, μια και η αποκλειστική διέξοδος είναι η συμμετοχή αγγλόφωνων ασθενών. Ως αποτέλεσμα το Πανεπιστήμιο Κρήτης προχώρησε στη δημιουργία τροποποιημένων πινάκων της ETDRS, οι οποίοι αποτελούνται από γράμματα που περιέχονται όχι μόνο στο ελληνικό αλλά σε όλα τα ευρωπαϊκά αλφάβητα¹⁷ με σκοπό να έχει πανευρωπαϊκή ισχύ.

Στη νέα σειρά πινάκων, τα οπτότυπα C, D, N, R, S, V

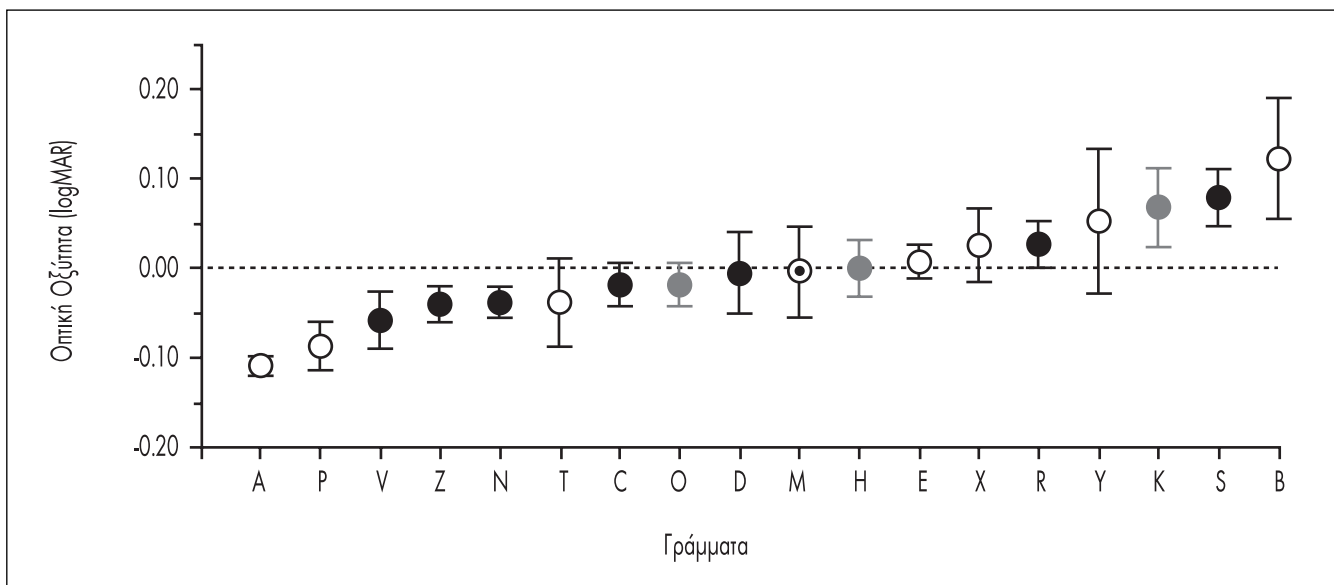
και Z αντικαταστάθηκαν με τα E, P, X, B, T, M και A (Σχήμα 8). Πραγματοποιήθηκε μελέτη επαναληψιμότητας¹⁸ των τροποποιημένων πινάκων του Πανεπιστημίου Κρήτης (UoC charts) και σύγκρισης με τους πρότυπους ETDRS πίνακες σε πληθυσμούς που χρησιμοποιούν το ελληνικό¹⁹ και το κυριλλικό¹⁸ αλφάβητο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επαναληψιμότητα των νέων πινάκων ήταν υψηλή (± 0.10 logMAR και για τους δύο πίνακες), ενώ σε σχέση με τους πρότυπους πίνακες της ETDRS υπερεκτιμούν την οπτική οξύτητα κατά περίπου ένα γράμμα (0.02 logMAR) με το 96.5% των τιμών για το ΔΟ και το 95.2% για τον ΑΟ να περιέχονται μεταξύ των ορίων συμφωνίας. Οι νέοι πίνακες, επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με τους πρότυπους, ενώ προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, θα ήταν ωφέλιμο να αποτελέσουν τους πρότυπους πίνακες οπτικής οξύτητας στην Ελλάδα.

4.4 Αποτελεί η αναγνώριση γραμμάτων την ιδανική μέθοδο αξιολόγησης της διακριτικής ικανότητας;

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι τιμές της μετρούμενης οπτικής οξύτητας διαφέρουν όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών πινάκων που υπάρχουν στην αγορά αλλά και μεταξύ διαφορετικών οπτοτύπων. Αν και η Sloan²⁰ επέλεξε τα δέκα γράμματα, που σήμερα χρησιμοποιούνται στον πρότυπο πίνακα της ETDRS, βασιζόμενη στο κριτήριο της ίσης αναγνωρισιμότητας, πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι μερικά γράμματα έχουν μεγαλύτερη δυσκολία αναγνωρισιμότητας. Το Σχήμα 9 παρουσιάζει τη δυσκολία



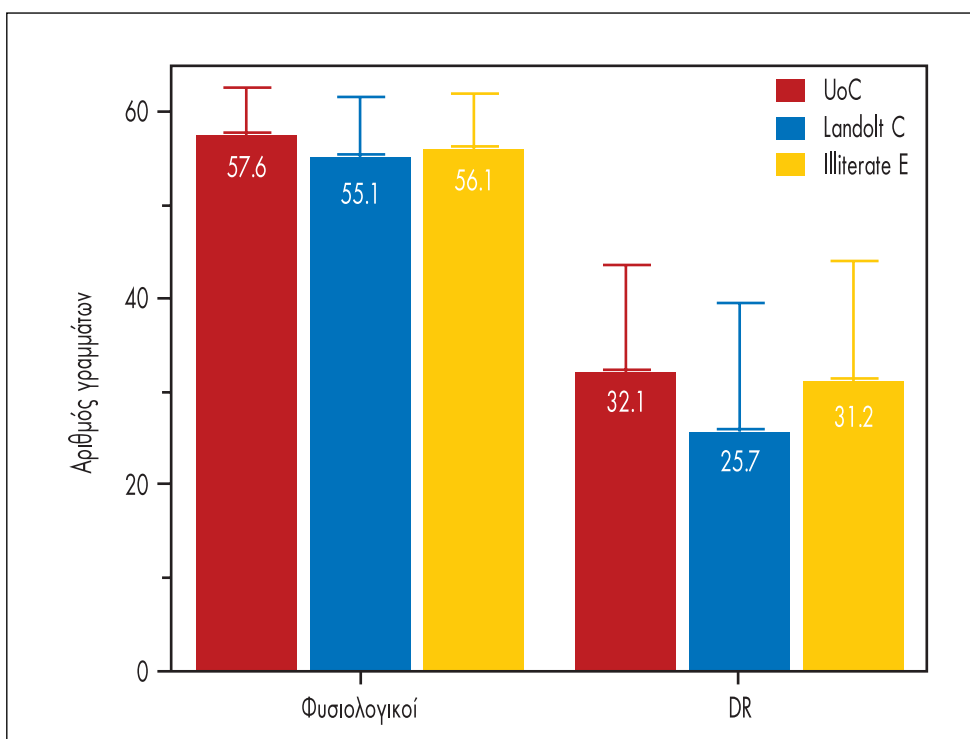
ΣΧΗΜΑ 8. Οι τροποποιημένοι ETDRS πίνακες οπτικής οξύτητας που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο Κρήτης. Ο πίνακας 1 (αριστερά) χρησιμοποιείται για το δεξιό οφθαλμό και ο πίνακας 2 (δεξιά) για τον αριστερό οφθαλμό.



ΣΧΗΜΑ 9. Δυσκολία αναγνωρισιμότητας των γραμμάτων (γραμματοσειρά Sloan) που περιέχονται στον πρότυπο ETDRS πίνακα (μαύροι κύκλοι), στον τροποποιημένο του Πανεπιστημίου Κρήτης (λευκοί κύκλοι) ή και στους δύο (γκρίζοι κύκλοι). Η διακεκομμένη γραμμή αποτελεί τη μέση (κανονικοποιημένη) τιμή όλων των γραμμάτων. Αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε καλύτερη οπτική οξύτητα¹⁹.

Αντιθέτως, οι διαφορές είναι μεγαλύτερες σε μετρήσεις σε ασθενείς που πάσχουν από διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια με ήπια ή μέτρια απώλεια όρασης. Στη συγκεκριμένη ομάδα ασθενών ο πίνακας με τα γράμματα κατά μέσο όρο δίνει υψηλότερες τιμές οπτικής οξύτητας, κατά 6.4 γράμματα σε σχέση με τον πί-

νακα "Landolt C" και 1.0 γράμμα με τον πίνακα "illiterate E". Είναι κατανοητό ότι οι ασθενείς με χαμηλή όραση δυσκολεύονται ιδιαίτερα (περισσότερο από μία γραμμή σε logMAR πίνακα) να ανιχνεύσουν το "κενό" στο Landolt C, ενώ η αναγνώριση γραμμάτων αποτελεί πιο "εύκολη" διαδικασία, υποβοηθούμενη από ανώτερη νευρωνική ε-



ΣΧΗΜΑ 10. Σύγκριση οπτικής οξύτητας (αριθμός αναγνωρίσιμων γραμμάτων) μετρουμένης με τρεις διαφορετικούς logMAR πίνακες: ενός που εμπλέκει αναγνωρισιμότητα γραμμάτων (UoC-Πανεπιστημίου Κρήτης) και δύο που αφορούν ανιχνευσιμότητα "κενών διαστημάτων" (Landolt C / illiterate E). Οι μετρήσεις γίνανε σε πληθυσμό εξεταζόμενων (n = 41) με φυσιολογική όραση (αριστερά) και σε ασθενείς (n = 31) με διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια (DR) και ήπια ή μέτρια απώλεια όρασης²¹.

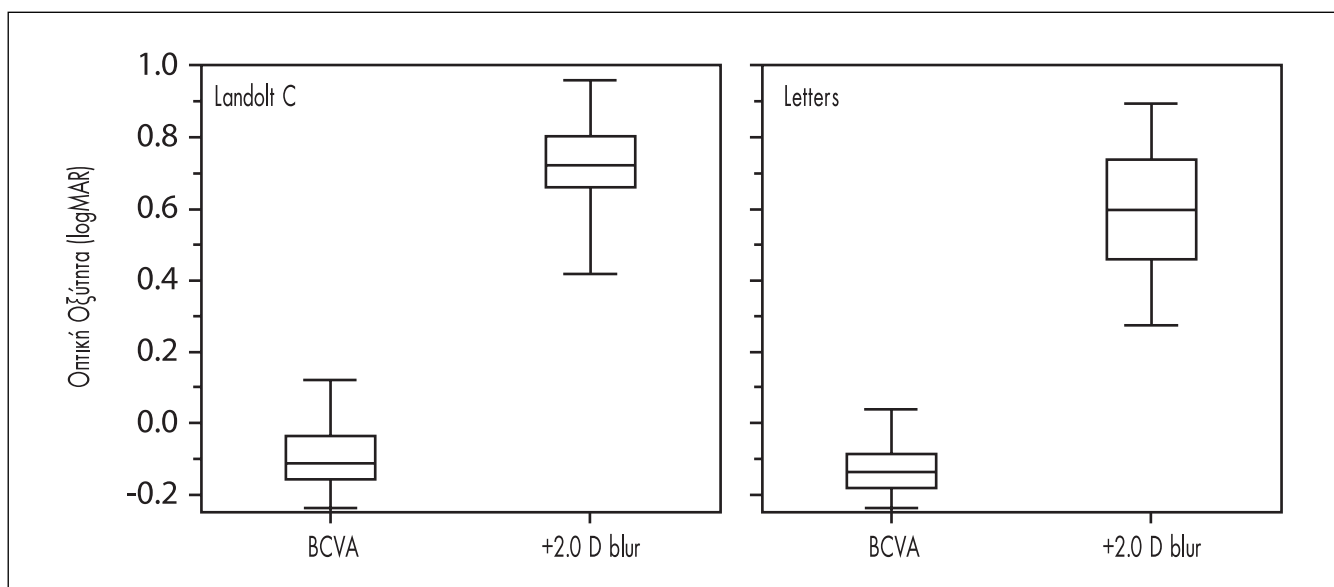
πεξεργασία. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες²², που έδειξαν ότι η διαφορά μεταξύ των δύο πινάκων οξύτητας μπορεί να φτάσει μέχρι και τρεις γραμμές σε ασθενείς με παθήσεις της ωχράς.

Η μεγαλύτερη εξοικείωση που έχουμε στην αναγνώριση των γραμμάτων σε σχέση με την ανίχνευση του προσανατολισμού συμβόλων διαπιστώνεται και από την επίδραση της θόλωσης στην οπτική οξύτητα που καταγράφεται με τους δύο παραπάνω τρόπους. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζονται αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας στο Πανεπιστήμιο Κρήτης²³ (από 26 συμμετέχοντες) στους οποίους μετρήθηκε η οπτική οξύτητα με logMAR πίνακες που αποτελούνται από γράμματα ή περιέχουν το σύμβολο "Landolt C" σε τέσσερις διαφορετικούς προσανατολισμούς. Όταν οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την καλύτερη σφαιρο-κυλινδρική διόρθωση (όπου αυτή ήταν αναγκαία) τότε η μέση διαφορά μεταξύ των δύο πινάκων ήταν οριακή, ενάμιση γράμμα καλύτερη οξύτητα για τον πίνακα γραμμάτων (-0.13 ± 0.06 logMAR) σε σχέση με το Landolt C (-0.10 ± 0.07 logMAR). Όταν οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες θόλωσης με την προσθήκη ενός θετικού ($+2.00$ D) φακού που προσομοιάζει μυωπική διάθλαση 2.00 D, τότε η διαφορά μεταξύ των δύο πινάκων έφτασε τα 6 γράμματα (0.59 ± 0.17 έναντι 0.71 ± 0.13). Μάλιστα, βρέθηκε ότι οι μύωπες παρουσιάζουν μεγαλύτερη "προσαρμοστικότητα" στη θόλωση, πιθανότατα λόγω της μεγαλύτερης "οπτικής εμπειρίας" που έχουν στη θόλωση, κάτι που παρατηρείται και στην κλινική πράξη.

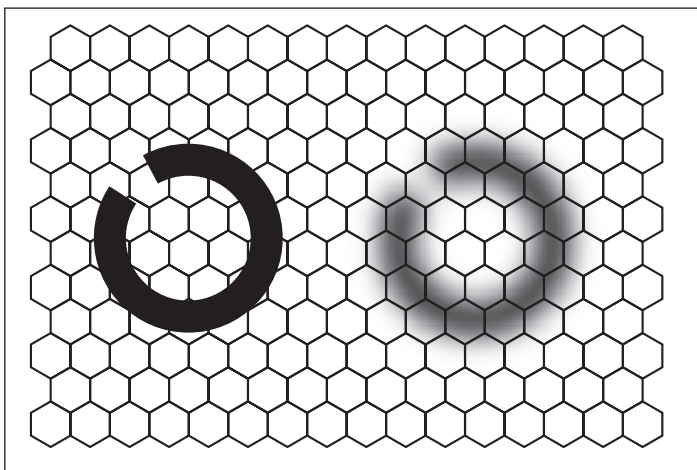
Τα διαφορετικά αποτελέσματα στην οξύτητα που προκύπτουν από τη χρήση πινάκων με διαφορετικά οπτότυπα είναι φυσιολογικό να γεννούν ερωτήματα σχετικά με τα κριτήρια σωστής επιλογής τους. Προτείνεται οι πίνακες που απαιτούν ικανότητες "ανίχνευσης" να χρησιμοποιούνται σε μελέτες που επιθυμούμε να συσχετίσουμε αλλαγές στις οπτικές επιφάνειες του οφθαλμού (π.χ. αυξημένες εκτροπές μετά από διαθλαστική χειρουργική), που περιορίζουν την ποιότητα του αμφιβληστροειδικού ειδώλου, με υποκειμενικές μετρήσεις. Από την άλλη πλευρά, οι πίνακες με γράμματα δίνουν πιο άμεσα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση που θα έχουν πιθανές αλλαγές στην ποιότητα όρασης στις καθημερινές απαιτήσεις όρασης του ασθενή, όπως είναι για παράδειγμα η αναγνώριση γραμμάτων, πινακίδων και προσώπων, και η ανάγνωση υποτίτλων στην τηλεόραση.

5. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ

Η αντίθεση φωτεινότητας (γνωστό ως contrast) των συμβόλων που χρησιμοποιούνται σε πρότυπους πίνακες οπτοτύπων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 90%²⁴. Είναι προφανές ότι τέτοιες υψηλές τιμές contrast σπάνια συναντώνται σε συνθήκες λειτουργικής όρασης (π.χ. κατά την οδήγηση). Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι ακόμα και στη συνθήκη ενός καλά εστιασμένου αμφιβληστροειδικού ειδώλου (δηλαδή στην περίπτωση απουσίας οποιουδήποτε διαθλαστικού σφάλματος) η αντίθεση φωτεινότητας του είναι αρκετά μειωμένη σε σχέση με αυτήν του αντικειμένου (Σχήμα 12), όπως αποδεικνύεται και από αντικει-



ΣΧΗΜΑ 11. Γραφήματα (box plots) οπτικής οξύτητας με την καλύτερη σφαιρο-κυλινδρική διόρθωση (BCVA) και με θόλωση (με φακό +2.0 D) που προσομοιάζει μυωπία 2.0 D, με τη χρήση logMAR πίνακα με Landolt C (αριστερά) και του logMAR πίνακα του Πανεπιστημίου Κρήτης που περιέχει γράμματα (δεξιά)²³.



ΣΧΗΜΑ 12. Το "ιδανικό" αμφιβληστροειδικό είδωλο του ενός συμβόλου Landolt-C (αριστερά), και όπως εστιάζεται στο μωσαϊκό των φωτοϋποδοχέων με μειωμένο contrast (δεξιά) λόγω της σκέδασης και της παρουσίας εκτροπών υψηλής τάξης στις διαθλαστικές επιφάνειες του οφθαλμού.

μενικούς υπολογισμούς της ποιότητας του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή, όπως η συνάρτηση διασποράς σημείου (Point Spread Function, PSF) και η συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης (Modulation Transfer Function, MTF). Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη εκτροπών υψηλής τάξης και της σκέδασης του φωτός στις διαθλαστικές επιφάνειες του οφθαλμού. Μάλιστα, η μείωση της αντίθεσης φωτεινότητας του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή είναι σημαντικά αυξημένη σε παθολογικές περιπτώσεις (π.χ. καταρράκτης, έκκεντρη διαθλαστική επέμβαση).

Επομένως, η αξιολόγηση της οπτικής οξύτητας για σύμβολα χαμηλού contrast είναι σημαντική και είναι δυνατόν να οδηγήσει στην ασφαλέστερη διάγνωση παθολογικών καταστάσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό πινάκων με οπτότυπα χαμηλού contrast (π.χ. 40% ή 10%^{25,26}) και πινάκων με οπτότυπα σταθερού μεγέθους που ελαττώνονται σταδιακά σε contrast (π.χ. πίνακας Pelli-

Robson²⁷) και αξιολογούν την ευαισθησία στο contrast και όχι τη διακριτική ικανότητα του οφθαλμού. Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα προγράμματα, που εκτελούνται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και προβάλλονται σε οθόνη, για την υλοποίηση των δοκιμασιών της οπτικής οξύτητας και της ευαισθησίας αντίθεσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τη Βιβή Τζατζάλα και την Ελένη Πουλερέ, φοιτήτριες του μεταπτυχιακού προγράμματος του Πανεπιστημίου Κρήτης "Οπτική και Όραση", για τη συμμετοχή τους σε ερευνητικές μελέτες που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία. Επίσης τον Δρ. Γεώργιο Κουνή, επιστημονικό συνεργάτη του Ινστιτούτου Οπτικής και Όρασης, για τις γόνιμες συζητήσεις σχετικά με τις εφαρμογές της Οπτικής Οξύτητας στην κλινική πράξη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. EEC. Annex III, Minimum standards of physical and mental fitness for driving a power-driven vehicle. Official J European Communities: Council Directive on driving licences, 1991; v. 91/439/EEC.
2. Department of the Army. Standards of medical fitness. Army Regulation 40-501. Washington: Army Regulation 2005; 40-501.
3. Rayleigh. Investigations in optics with special reference to the spectroscope. 1. Resolving, or separating power of optical instruments. *Philosophical Magazine* 1879; 8:261-74.
4. Green J. On a new series of test-letters for determining the acuteness of vision. *Transactions of American Ophthalmology Society* 1868; 4th meeting: 68-71.
5. Sloan LL. New test charts for the measurement of visual acuity at far and near distances. *Am J Ophthalmol* 1959; 48:807-13.
6. Bailey IL, Lovie JE. New design principles for visual acuity letter charts. *Am J Optom Physiol Opt* 1976; 53(11):740-5.
7. Ferris FL 3rd, Kassofo A, Bresnick GH, Bailey I. New visual acuity charts for clinical research. *Am J Ophthalmol* 1982; 94(1):91-6.
8. Sloan L, Rowland WM, Altam A. Comparison of three types of test target for measurement of visual acuity. *Quarterly Review of Ophthalmology and Otorhinolaryngology* 1952; 8:4-17.
9. Taylor HR. Applying new design principles to the construction of an illiterate E chart. *Am J Optom Physiol Opt* 1978; 55(5):348-51.
10. Plainis S, Pallikaris IG. Ocular monochromatic aberration statistics in a large emmetropic population. *Journal of Modern Optics* 2008; 55(4-5):759-72.
11. Coppens JE, van den Berg TJ. A new source of variance in visual acuity. *Vision Res* 2004; 44(9):951-8.
12. Elliott DB, Yang KC, Whitaker D. Visual acuity changes throughout adulthood in normal, healthy eyes: seeing beyond 6/6. *Optom Vis Sci* 1995; 72(3):186-91.
13. Bach M, Schulze-Bonsel K, Feltgen N, Burau M, Hanses L. Author Response: Numerical Imputation for Low Vision States. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007; eLetter (August).

14. Lange C, Feltgen N, Junker B, Schulze-Bonsel K, Bach M. Resolving the clinical acuity categories "hand motion" and "counting fingers" using the Freiburg Visual Acuity Test (FrACT). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009; 247(1):137-42.
15. Schulze-Bonsel K, Feltgen N, Burau H, Hansen L, Bach M. Visual acuities "hand motion" and "counting fingers" can be quantified with the freiburg visual acuity test. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47(3):1236-40.
16. Bach M. The Freiburg Visual Acuity test--automatic measurement of visual acuity. *Optom Vis Sci* 1996; 73(1):49-53.
17. European Committee for Standardisation. Repertoire of characters used for writing the indigenous languages of Europe. Brussels, 1997.
18. Tsoka P, Plainis S, Giannakopoulou T, et al. Validation of a modified ETDRS chart for European-wide use in a population using the Cyrillic alphabet. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49:ARVO E-Abstract 3143.
19. Plainis S, Tzatzala P, Orphanos Y, Tsilimbaris MK. A modified ETDRS visual acuity chart for European-wide use. *Optometry and Vision Science* 2007; 84(7):647-53.
20. Sloan LL. Measurement of visual acuity; a critical review. *AMA Arch Ophthalmol* 1951; 45(6):704-25.
21. Plainis S, Tsilimbaris MK, Moschandrea I, Feloni E, Pallikaris IG. Comparison of log-MAR acuity in normals and diabetic retinopathy patients measured with Sloan-letter, illiterate-E and Landolt-C charts. *Optom Vis Sci* 2008; E-abstract 085070.
22. Wittich W, Overbury O, Kapusta MA, Watanabe DH. Differences between recognition and resolution acuity in patients undergoing macular hole surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47(8):3690-4.
23. Poulere E, Plainis S, Moschandrea J, Pallikaris IG. Effect of defocus blur and adaptation on visual acuity. Institute of Vision and Optics (IVO). Heraklion: University of Crete, 2009.
24. Ferris FL 3rd, Bailey I. Standardizing the measurement of visual acuity for clinical research studies: Guidelines from the Eye Care Technology Forum. *Ophthalmology* 1996; 103(1):181-2.
25. Haymes SA, Chen J. Reliability and validity of the Melbourne Edge Test and High/Low Contrast Visual Acuity chart. *Optom Vis Sci* 2004; 81(5):308-16.
26. Cho P, Woo GC. Repeatability of the Waterloo Four-Contrast LogMAR Visual Acuity chart and Near Vision Test card on a group of normal young adults. *Ophthalmic Physiol Opt* 2004; 24(5):427-35.
27. Pelli DG, Robson JG, Wilkins AJ. The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Sciences* 1988; 2:187-99.