

Βιομετρία

Σ. Καλαμπαλίκης, Η. Νάκος, Α. Διάφας, Β. Καραμπατάκης

Περίληψη

Η Βιομετρία στην Οφθαλμολογία είναι απαραίτητη κυρίως ως προεγχειρητικός έλεγχος σε καταρρακτικούς ασθενείς για τη μέτρηση του αξονικού μήκους του οφθαλμού και τον έλεγχο του ενδοφακού που θα αντικαταστήσει το φακό. Δίνει όμως και περαιτέρω πληροφορίες για τις διαστάσεις των δομών εντός του οφθαλμού. Στηρίζεται στις τεχνικές της μετάδοσης, ανάκλασης και απορρόφησης του ήχου ή του φωτός στα διάφορα μέσα. Η ανάπτυξη νέων τεχνικών συνεχίζεται με στόχο την απόλυτη ακρίβεια και την επίτευξη του διαθλαστικού στόχου που τίθεται.

Λέξεις κλειδιά: βιομετρία, αξονικό μήκος, IOL-Master, A-scan υπέρηχος, κερατομετρία.

Εισαγωγή

Ως βιομετρία ορίζεται η τεχνική υπολογισμού των σχετικών παραμέτρων του οφθαλμού με κύριο στόχο τον υπολογισμό της διοπτρικής ισχύος του ενδοφακού πριν την επέμβαση καταρράκτη.

Η συνολική διαθλαστική ισχύς του εμμετρικού οφθαλμού είναι περίπου 60 διοπτρίες. Ο κερατοειδής παρέχει περίπου 40 διοπτρίες, ενώ ο κρυσταλλοειδής φακός 20. Κατά την επέμβαση καταρράκτη ο καταρρακτικός φακός αντικαθίσταται από τον ενδοφακό. Με τη βιομετρία υπολογίζεται το αξονικό μήκος του οφθαλμού και συνυπολογίζοντας τα κερατομετρικά δεδομένα διενεργείται ο υπολογισμός της διοπτρικής ισχύος του ενδοφακού. (εικ.1)

IOL CALCULATIONS 11/17/14 12:23:18

Patient: [] Eye: OS/LEFT Setting: SA
Type: Phakic MAG.K: 43.13 D MAG.AL: 23.37 mm Operator: Oper1

1st IOL:3	P	2nd IOL:2	P	3rd IOL:1B	A
Formula: SRK-T		Formula: SRK-T		Formula: SRK-T	
A: 118.00		A: 118.40		A: 115.30	
Target Anisotopia: 0.00		Target Anisotopia: 0.00		Target Anisotopia: 0.00	
Emmetropia: 28.06		Emmetropia: 21.34		Emmetropia: 18.00	
IOL Power	Refraction	IOL Power	Refraction	IOL Power	Refraction
19.0	1.31	19.5	1.27	16.0	1.60
19.5	0.96	20.0	0.93	16.5	1.29
20.0	0.61	20.5	0.59	17.0	0.91
20.5	0.26	21.0	0.24	17.5	0.41
<< 21.0	-0.10 >>	<< 21.5	-0.12 >>	<< 18.0	0.00 >>
21.5	-0.47	22.0	-0.47	18.5	-0.41
22.0	-0.84	22.5	-0.84	19.0	-0.82
22.5	-1.21	23.0	-1.20	19.5	-1.24
23.0	-1.59	23.5	-1.57	20.0	-1.67

Trackball or arrow keys to select
Enter to confirm, Esc to exit

Εργαστήριο Πειραματικής Οφθαλμολογίας Α.Π.Θ.

Corresponding author: S. Kalampaliki
e-mail: kalampaliki@hotmail.com

Εικόνα 1: Αποτελέσματα βιομετρίας με την προτεινόμενη διοπτρική ισχύ του ενδοφακού ανάλογα με τη σταθερά.

Οι 2 βασικές κατηγορίες βιομετρίας είναι 1) η **ακουστική βιομετρία** (υπερηχογραφική, A-scan) και 2) η νεότερη **οπτική βιομετρία** (IOL Master, Biograph).¹ Η Α-υπερηχογραφία (A-scan) στηρίζεται στο προσδιορισμό των οπτικών αξονικών παραμέτρων μέσω του χρόνου ο οποίος απαιτείται, για να επιστρέψει ένα υπερηχητικό κύμα μετά από την ανάκλασή του σε κάποια οφθαλμική δομή. Η οπτική βιομετρία συνοχής βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν τη σχετική ταχύτητα με την οποία το φως ταξιδεύει διαμέσου των διαφορετικών οφθαλμικών δομών, προκειμένου να υπολογιστούν οι γεωμετρικές αποστάσεις.

Η δυνατότητα διερεύνησης των ανατομικών στοιχείων του βολβού και του κόγχου, ανεξάρτητα από τη διαφάνεια ή μη των επιμέρους ανατομικών δομών, και ο ανώδυνος χαρακτήρας της μεθόδου συνετέλεσε στην ανάπτυξη της υπερηχογραφίας στην οφθαλμολογία.

Εκτός αυτού του κύριου σκοπού, η βιομετρία ως μέθοδος μελέτης του αξονικού μήκους σχετίζεται και με άλλα συμπεράσματα. Καθίσταται σημαντική η διενέργειά της, σε περιπτώσεις όπως η υψηλή μυωπία, η φθίση του βολβού, το συγγενές γλαύκωμα, η μικροφθάλμια και η υπερπλασία του πρωτογενούς υαλοειδούς. Έπειτα από στατιστικές καταγραφές των μέσων όρων των αξονικών μηκών ανά ηλικία θα μπορεί να πιθανολογηθεί τυχόν μελλοντική ανάπτυξη διαθλαστικής διαταραχής.² Επίσης παρατηρείται συσχέτιση του αξονικού μήκους και του χρόνου δημιουργίας καταρράκτη, όπου σε μεγαλύτερα αξονικά μήκη οφθαλμών δημιουργούνται καταρράκτες σε μικρότερη ηλικία.³

A-υπερηχογραφία

Αναφορικά με την Α-υπερηχογραφία (A-scan), οι υπέρηχοι είναι ακουστικά κύματα που παράγονται από την ταλάντωση σωματιδίων μέσα σε ένα μέσο με τη μορφή κύματος. Έχουν συχνότητα μεγαλύτερη των 20 Khz (δηλαδή 20.000 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο), τα οποία και δε γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην Οφθαλμολογία είναι συνήθως της τάξης των 8-10 Mhz διότι έτσι επιτυγχάνεται συγκεκριμένο βάθος διείσδυσης στον οφθαλμό και ικανοποιητική ανάλυση των μικρών σε διαστάσεις οφθαλμικών δομών.⁴ Οι πολύ υψηλές αυτές συχνότητες παράγουν βραχέα μήκη κυμάτων μικρότερα των 2 mm. Η ταχύτητα μετάδοσης των υπερέχων (v) εξαρτάται από την ελαστικότητα και τη πυκνότητα του μέσου μέσα στο οποίο κινείται το κύμα. Στη βιομετρία υπερέχων ο ήχος διαδίδεται μέσω: α) του κερατοειδούς, β) του υδατοειδούς υγρού, γ) του φακού, δ) του υαλοειδούς, ε) του αμφιβληστρο-

ειδούς, στ) του χοριοειδούς και ζ) του σκληρού. Λόγω της διαφορετικής σύστασης των παραπάνω δομών, τα υπερηχητικά κύματα μεταβάλλουν συνεχώς την ταχύτητά τους κατά τη διάδοσή τους εντός του οφθαλμού. Η ταχύτητα μετάδοσης στο υδατοειδές είναι 1532 m/sec, στον κρυσταλλοειδή φακό 1640 m/sec ενώ στον καταρρακτικό 1629 m/sec.⁵ Γνωρίζοντας την ταχύτητα των υπερέχων σε κάθε μέσο και μετρώντας το χρόνο από τη στιγμή που ο υπέρηχος ξεκινά από τον κερατοειδή μέχρις ότου η ανάκλασή του επιστρέψει πίσω, η συσκευή A-scan είναι σε θέση να προσδιορίσει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια την απόσταση από το σημείο ανάκλασης μέσω της σχέσης: απόσταση = (ταχύτητα x χρόνος)/2, αφού αναφερόμαστε στη διπλάσια απόσταση.

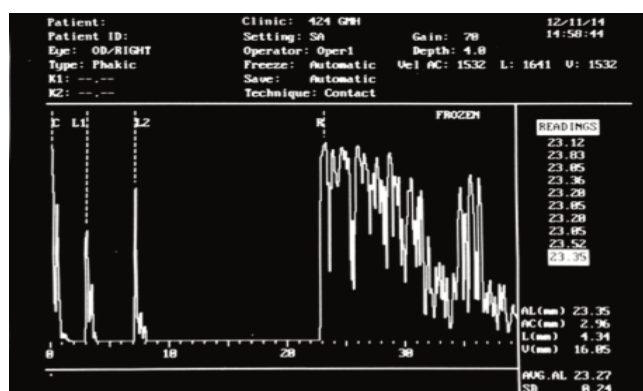
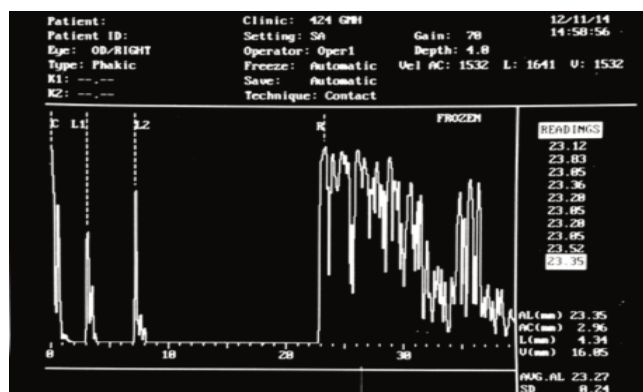
Η ένταση (I) του υπερέχου είναι το ποσό της ενέργειας που διέρχεται δια μέσου μιας επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου και μετριέται σε decibel (db). Το ηχητικό σήμα υφίσταται αλλοιώσεις κατά την πορεία του διαμέσω των οφθαλμικών ιστών. Η ελάττωση αυτή της ενέργειας, διαπιστώνεται μέσω της σχετικής μείωσης των επαρμάτων και οφείλεται τόσο στην ανάκλαση που υφίσταται το ηχητικό σήμα κατά την είσοδο και έξοδο σε διαφορετικό ηχητικό μέσο όσο και στην απορρόφηση του. Ο βαθμός της απορρόφησης είναι διαφορετικός σε κάθε πάθηση και αποτελεί ουσιαστικό διαφοροδιαγνωστικό στοιχείο.⁵

Οι βασικές υπερηχογραφικές εξεταστικές μέθοδοι είναι τρεις: η Α-υπερηχογραφία, η Β-υπερηχογραφία και η βιομετρία. Η Α αποτελεί μονοδιάστατη απεικόνιση επαρμάτων, η Β αποτελεί διδιάστατη απεικονιστική μέθοδο, ενώ η βιομετρία αποτελεί Α-υπερηχογραφία καταμέτρησης του αξονικού μήκους του βολβού και των ενδιάμεσων ενδοφθάλμιων μορφωμάτων.⁵

Η Α-υπερηχογραφία (amplitude modulation, διαμόρφωση ως προς το μέγεθος) είναι μονοδιάστατη μέθοδος (η δέσμη των υπερέχων εκπέμπεται σ' έναν άξονα). Οι υπέρηχοι που ανακλώνται από τα διάφορα μέσα του οφθαλμού εμφανίζονται ως κάθετα επάρματα στην ισοηλεκτρική γραμμή. Το ύψος των επαρμάτων είναι ανάλογο με την ένταση των ανακλώμενων υπερέχων. Η απόσταση μεταξύ των επαρμάτων αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζονται οι υπέρηχοι για να διανύσουν το διάστημα μεταξύ των διαχωριστικών επιφανειών του οφθαλμού. Επειδή η ταχύτητα μετάδοσης των υπερέχων στα διάφορα στοιχεία του οφθαλμού είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ των επαρμάτων, άρα και τα ενδοβολβικά ή ενδοκογχικά στοιχεία που μας ενδιαφέρουν. Για το λόγο αυτό η Α-μέθοδος έχει ένδειξη εφαρμογής στη βιομετρία και στην ποιοτική υπερηχογραφία.⁵ Αν και δίνει πληροφο-

ρίες σε μία διάσταση, υπερτερεί της Β σ' ό,τι αφορά την κίνηση, την αιματική ροή και την εκτίμηση της υψής (ποιοτική Α-υπερηχογραφία). Οι λήψεις είναι είτε διασκληρικές είτε διακερατοειδικές. Η διακερατοειδική μοιάζει με τη βιομετρία.

Η Α-υπερηχογραφία (Α-scan) με διακερατοειδική λήψη παρουσιάζει το ίδιο γράφημα που παρουσιάζεται στη βιομετρία. Ξεκινά από το αρχικό έπαρμα της εξόδου του υπερήχου από το στυλεό του που είναι μη αξιολογήσιμο. Έπειτα διαγράφεται το έπαρμα του κερατοειδούς ύψους ιδίον με το έπαρμα εξόδου (100%), η πρόσθια επιφάνεια του φακού, όπου παρατηρείται επίσης μεγάλο επάρμα και μετά η οπίσθια επιφάνεια του φακού, που και αυτή έχει επάρμα 100%. Το υαλοειδές που ακολουθεί, δεν έχει καθόλου ή ελάχιστο έπαρμα γιατί είναι ομοιογενές και δεν έχει ανακλαστικές επιφάνειες. Τέλος απεικονίζεται ο αμφιβληστροειδής, με περίπου 100% έπαρμα και ο σκληρός πάλι με πλήρες έπαρμα καταλήγοντας στο κόγχο με πολλαπλά επάρματα σε φθίνουσα πορεία που αντιστοιχούν σε λίκπος και στα αγγεία. (εικ.2)



Εικόνα 2: Γραφήματα ακουστικής βιομετρίας
C: κερατοειδής, L1: πρόσθια επιφάνεια φακού,
L2: οπίσθια επιφάνεια φακού, R: αμφιβληστροειδής.

Η Α-υπερηχογραφία έχει χαρακτηριστικά ποιοτικά και κινητικά. Η **ποιοτική** Α-υπερηχογραφία καθορίζει το μέγεθος και τα υπερηχητικά χαρακτηριστικά των ιστών του οφθαλμού, προκειμένου να καθοριστεί το είδος τους. Τα **κινητικά** χαρακτηριστικά περιγράφουν την αγγειοβρίθεια (χαμηλά επάρματα που τρεμοπαίζουν υποδηλώνουν αιματική ροή, όταν ο οφθαλμός είναι ακίνητος). Οι αυξομειώσεις των επαρμάτων σε κάθετο και οριζόντιο επίπεδο με κίνηση του οφθαλμού, δηλώνουν κινητικότητα της βλάβης.

Η Β-υπερηχογραφία (brightness modulation, διαμόρφωση ως προς τη φωτεινότητα), είναι διδιάστατη μέθοδος, δηλαδή η δέσμη των υπερήχων εκπέμπεται σε ένα επίπεδο του οφθαλμού. Οι υπέρηχοι που ανακλώνται απεικονίζονται με τη μορφή φωτεινών κηλίδων, των οποίων η φωτεινότητα, η πυκνότητα και η διάταξη εξαρτάται από την ένταση και τον τρόπο ανάκλασης των υπερήχων. Η διάταξη των φωτεινών κηλίδων κατά το επίπεδο εκπομπής επιτρέπει την ανατομική απεικόνιση του εξεταζόμενου οφθαλμού. Για το λόγο αυτό η Β-μέθοδος μπορεί να δώσει τοπογραφικές πληροφορίες.⁵ Άλλη εφαρμογή των υπερήχων στην Οφθαλμολογία αποτελούν οι συνεχείς υπέρηχοι, που βασίζονται στο φαινόμενο Doppler ελέγχουν την αιματική ροή. Οι συνεχώς εκπεμπόμενοι υπέρηχοι ανακλώνται από τα κινούμενα ερυθρά αιμοσφαίρια μέσα στα αγγεία με συχνότητα ανάλογη με τη ταχύτητα ροής του αίματος, η οποία γίνεται γνωστή με ακουστικό σήμα. Ωστόσο στη μέτρηση της αιματικής ροής με τη μέθοδο Doppler πλέον χρησιμοποιείται η ακτινοβολία laser αντί για τους υπέρηχους.¹



Εικόνα 3: Βιομετρία a-scan (επαφής)

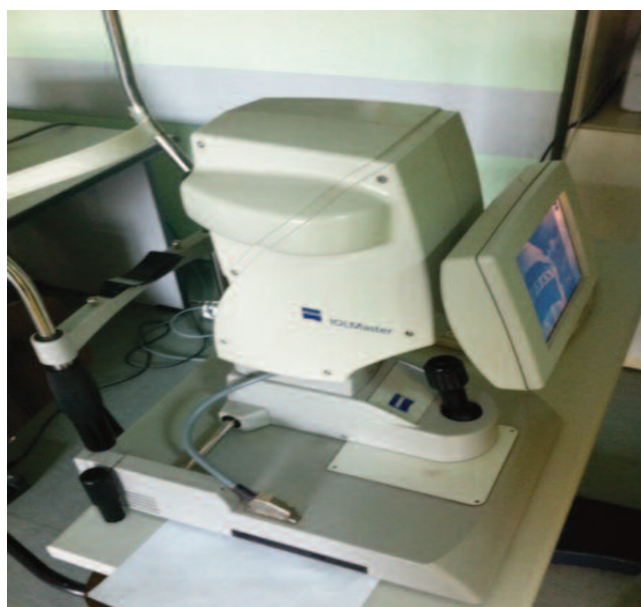
Η κύρια μορφή Α-scan απαιτεί την επαφή (contact) του οφθαλμού με το στυλεό, ο οποίος αποτελεί την πηγή των υπερήχων. Μετά την ενστάλλαξη σταγόνων τοπικού αναισθητικού τοποθετείται η κεφαλή του στυ-

λεού της βιομετρίας στο κέντρο του κερατοειδούς ενώ ο ασθενής προσηλώνει ευθεία εμπρός και μακριά (εικ.3). Μία ακόμα λειτουργία της βιομετρίας με υπερήχους είναι και ο προσδιορισμός του πάχους του κερατοειδούς, (παχυμετρία), ιδιαίτερα χρήσιμη παράμετρος στην διαθλαστική χειρουργική του κερατοειδούς.⁵

Μέχρι το πρόσφατο παρελθόν, η A-scan υπερηχογραφία επαφής αποτελούσε τη πλέον διαδεδομένη βιομετρία. Βέβαια η A-scan επαφής κρίνεται ίσως λιγότερο ακριβής σε σύγκριση με την ονομαζόμενη βιομετρία εμπύθισης στο να καθορίζει το αξονικό μήκος. Η βιομετρία εμπύθισης, αποτελεί επίσης A-υπερηχογραφία και γίνεται με λουτρό ύδατος, απαιτεί όμως τεχνική με μεγαλύτερη καμπύλη εκμάθησης.

Βιομετρία οπτικής συνοχής

Η βιομετρία οπτικής συνοχής με κύριο εκπρόσωπο το IOL Master, προσδιορίζει, το αξονικό μήκος του οφθαλμού με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας την τεχνική της συμβολομετρίας μερικής συνοχής (Partial Coherence Interferometry ή PCI). Η μεθόδος της συμβολομετρίας μερικής συνοχής, είναι βασισμένη στο συμβολόμετρο Michelson, επινόηση του ομώνυμου Αμερικανού φυσικού (1852 – 1931). Η εξέταση πραγματοποιείται χωρίς να έρθει σε επαφή με τον κερατοειδή του ασθενούς (non contact) (εικ. 4). Μετράει το αξονικό μήκος του οφθαλμού με ακρίβεια της τάξεως των ±0.01 mm σε κλίμακα μέτρησης 14-39 mm.



Εικόνα 4: Οπτική βιομετρία συνοχής

Αρχικά, το διοδικό laser (LD) της συσκευής παράγει μία δέσμη υπέρυθρου φωτός μήκους κύματος $\lambda = 780 \text{ nm}$, η οποία μέσω ενός ημιανακλαστικού κατόπτρου (διαρέτης δέσμης) αρχικά διαρείται στα δύο. Αφού χωριστεί σε δύο ομοαξονικές ακτίνες από το διαχωριστή δέσμης, το φως ανακλάται μέσα στον οφθαλμό από δύο κάτοπτρα. Και οι δύο ομοαξονικές ακτίνες εισέρχονται στον οφθαλμό, με αποτέλεσμα να έχουμε ανακλάσεις τόσο στην επιφάνεια του κερατοειδούς, όσο και στο μελάγχροον επιθήλιο του αμφιβληστροειδούς. Τα δύο μέρη ακολουθούν τη δική τους διαδρομή, ώσπου κάποια στιγμή ενώνονται. Έτσι παράγονται εικόνες συμβολής (συμβολομετρία μερικής συνοχής), οι οποίες ανιχνεύονται από κατάλληλη συσκευή (ανιχνευτής). Η διαφορά των συχνοτήτων μεταξύ των ομοαξονικών ακτίνων που εξέρχονται από τον οφθαλμό, με βάση το μήκος κύματος και τον αριθμό των κροσσών συμβολής που συλλέγονται από τον ανιχνευτή, καθιστούν εφικτό τον ακριβή υπολογισμό των βιομετρικών αποστάσεων.⁴

Η βιομετρία οπτικής συνοχής, εκτός από το αξονικό μήκος, χρησιμοποιείται επίσης για κερατομετρικές μετρήσεις και μετρήσεις του βάθους του πρόσθιου θαλάμου, χρησιμοποιώντας οπτική παχυμετρία, το μήκος του κερατοειδή και την περιγραφή ανώμαλων επιφανειών. Μπορεί να υπολογίσει τη δύναμη του ενδοφακού χρησιμοποιώντας διάφορες φόρμουλες. Οι μετρήσεις της έχουν μεγάλη επαναληψιμότητα και δεν απαιτούν παρόμοια δεξιάτητα με τη βιομετρία επαφής. Με αυτή τη μέθοδο είναι εφικτό να μετρηθούν εύκολα και βολβοί με σιλικόνη, αφού προσαρμοστούν οι αντίστοιχες ρυθμίσεις.

Για τον τελικό προσδιορισμό του αξονικού μήκους του οφθαλμού, χρειάζεται η λήψη πέντε έγκυρων μετρήσεων από τις οποίες υπολογίζεται η μέση τιμή, με την προϋπόθεση ότι δε διαφέρουν μεταξύ τους πάνω από 0.1 mm. Σε αντίθετη περίπτωση, οι αποκλίνουσες μετρήσεις θα πρέπει να επαναληφθούν, ώστε να υπολογιστεί ακριβέστερα το αξονικό μήκος.(εικ.5)

Name: _____			Eye Surgeon: GENIKI				
ID: _____			Formula: SRE08/T				
Date of Birth: 01/01/1935			Exam Date: 05/12/2014				
			n: 1.3375				
Preoperative Data:							
AL: 22.86 mm (*)			Target Ref: plano				
K1: 42.94 D / 7.86 mm @ 34°			opt. ACD:				
K2: 43.55 D / 7.75 mm @ 126°			OD right				
SE: 43.24 D							
Cyl: -0.61 D @ 34°			Visual Acuity:				
R: 7.90 mm (SD = 0.03 mm)			Refraction:				
			Eye Status: phakic				
ACRYSOF IQ		LENSTEC LA 591		ACRYSOF 3 PIECES		HANTIA B LENS	
A Const:	119	A Const:	115.3	A Const:	119.2	A Const:	118.54
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
25.0	-0.98	20.5	-1.08	25.5	-1.12	24.5	-1.09
24.5	-0.62	20.0	-0.65	25.0	-0.77	24.0	-0.73
24.0	-0.27	19.5	-0.23	24.5	-0.42	23.5	-0.36
23.5	0.08	19.0	0.18	24.0	-0.07	23.0	0.00
23.0	0.43	18.5	0.59	23.5	0.27	22.5	0.35
22.5	0.77	18.0	0.99	23.0	0.61	22.0	0.70
22.0	1.11	17.5	1.39	22.5	0.95	21.5	1.05

Εικόνα 5: Αποτελέσματα βιομετρίας οπτικής συνοχής για την εύρεση της διοπτρικής ισχύος του ενδοφακού.

Το βάθος του προσθίου θαλάμου, που προσδιορίζεται από την οπτική βιομετρία συνοχής, ορίζεται ως η απόσταση που μετράται παράλληλα προς τον οπτικό άξονα, με όρια την οπίσθια επιφάνεια του κερατοειδούς και την πρόσθια επιφάνεια του κρυσταλλοειδή φακού πίσω από την κόρη. Ο προσδιορισμός του βάθους του προσθίου θαλάμου συντελεί στην αύξηση της ακρίβειας του προσδιορισμού της δύναμης του ενδοφακού σε μια εγχείρηση καταρράκτη. Επιπλέον, έρευνες αποκαλύπτουν συσχέτιση βαθύτερου προσθίου θαλάμου με τον οπίσθιο υποκαμφικό καταρράκτη.⁶

Παρόν – Μέλλον

Κατά καιρούς παρουσιάζονται νέα μηχανήματα, που χρησιμοποιούν τις γνωστές τεχνικές και μετρούν νέες παραμέτρους όπως το πάχος του φακού, την κορική απόσταση και την εκκεντρότητα του οπτικού άξονα.⁷

Η οπτική τομογραφία συνοχής (OCT) είναι τεχνική που έχει εισβάλλει στην Οφθαλμολογία τα τελευταία 20 χρόνια γνωρίζοντας μεγάλη ανάπτυξη. Τα τελευταία μηχανήματα φέρουν υψηλότερη διακριτική ικανότητα και μπορούν να μετρήσουν αποστάσεις με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια. Μέχρι τώρα δεν έχουν διαδοθεί πρωτόκολλα ανάλυσης του αξονικού μήκους. Μετριοούνται όμως αναλυτικά αποστάσεις μικρότερες όπως το μήκος του προσθίου θαλάμου, το πάχος του κερατοειδούς χωρίς ακόμα αυτόματο τρόπο, οπότε είναι εξαρτώμενες από τον ερευνητή. Οι μετρώμενες αποστάσεις ελέγχονται ελάχιστα μεγαλύτερες, συγκρίσιμες με τις γνωστές υπάρχουσες μεθόδους.⁷

Φόρμουλες Βιομετρίας

Πολυάριθμες φόρμουλες έχουν αναπτυχθεί που χρησιμοποιούν την κερατομετρία και το αξονικό μήκος για να υπολογίσουν την διοπτρική ισχύ του ενδοφακού (IOL). Πολλές φορές η επιλογή τους εξαρτάται από την αμετροπία του ασθενούς. Ορισμένοι τύποι ενσωματώνουν πρόσθετες παραμέτρους όπως το βάθος προσθίου θαλάμου για να βελτιστοποιήσουν την ακρίβεια της πρόβλεψης. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη φόρμουλα βιομετρίας είναι η SRK-T. Η SRK-T και η Holladay 1 χρησιμοποιούνται συνήθως για οφθαλμούς με αξονικό μήκος μεγαλύτερο από 22,0 mm και έως 26,0 mm. Σε μεγάλες μυωπίες με αυξημένα αξονικά μήκη συνιστώνται η Holladay 2, Haigis και η SRK-T.^{3,8} Σε υπερμετροπικούς οφθαλμούς αξονικού μήκους κάτω του 21,5mm ειδικοί τύποι όπως ο Hoffer Q θεωρούνται ανώτεροι.^{8,9,10}

Τί πρέπει να προσέχουμε κατά τη βιομετρία

Λάθος στη μέτρηση του αξονικού μήκους κατά 100μm ή 0,1mm οδηγεί σε διαφορά 0,28 διοπτριών, και λάθος 330μm ή 0,33mm σε απόκλιση 1 διοπτρίας. Τα λάθη μπορούν να γίνουν σε πολλές φάσεις της διαδικασίας της βιομετρίας. Τέτοιες είναι η εκτέλεση της κερατομετρίας και της βιομετρίας, η επιλογή του τρόπου βιομετρίας, του τύπου της φόρμουλας, ο προσδιορισμός και η αναγνώριση των δεδομένων και τα διεγχειρητικά συμβάματα.¹¹

Σ' ότι αφορά την κερατομετρία, στο κερατόμετρο Javal, πολλές φορές είναι δύσκολη η μέτρηση λόγω ανεπαρκούς ρύθμισης (καλιμπράρισμα) και αστάθειας της δακρυϊκής στοιβάδας. Το αυτόματο διαθλασίμετρο από την άλλη απαιτεί συνεργασία του ασθενή. Η κερατοτοπογραφία, ενώ είναι η καλύτερη μέθοδος, απαιτεί περισσότερο χρόνο και είναι περισσότερο δαπανηρή.

Η εκτέλεση της βιομετρίας έχει χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν το αποτέλεσμα. Ο άξονας του υπερήχου πρέπει να συμβαδίζει με τον οπτικό άξονα προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια. Η κακή θέση του εξεταστή σε σχέση με τον εξεταζόμενο, η ελλιπής αναισθησία, η ανεπαρκής ενυδάτωση του κερατοειδή, η αυξημένη πίεση που ασκεί ο στυλεός στον κερατοειδή επηρεάζουν τη τελική έκβαση. Επίσης πολλές φορές δεν γίνονται 10 ανεξάρτητες μετρήσεις, ενώ και ο στυλεός δεν απομακρύνεται από τον κερατοειδή μετά από κάθε μέτρηση όπως πρέπει να γίνεται κανονικά. Έτσι επηρεάζεται η ανεξαρτησία των μετρήσεων.¹¹ Οι ασθενείς που φορούν φακούς επαφής δε θα έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα αν δε τους αφαιρούν τουλάχιστον 1 εβδομάδα πριν τη βιομετρία, αν είναι μαλακοί, και 3 εβδομάδες πριν, αν είναι σκληροί.⁹

Στα βιομετρικά δεδομένα και τα επιμέρους επάρματα, έχει σημασία η τυπική απόκλιση (standard deviation, SD). Επιβάλλεται η πλήρης ανάγνωση και των 10 μετρήσεων, έτσι ώστε να διαγράψουμε μετρήσεις με επάρματα σε μη σωστή θέση, ιδιαίτερα όταν αυτό είναι το έπαρμα του αμφιβληστροειδή. Η τυπική απόκλιση μπορεί να επισημάνει λάθη στις επιμέρους μετρήσεις όταν οι τιμές SD είναι μεγαλύτερες από 0.15mm και δηλώνει πιθανότητα λάθους >0.50 διοπτρίας. Αν λοιπόν η SD είναι μεγαλύτερη του 0.15, τότε ελέγχουμε όλες τις μετρήσεις που απέχουν πλέον του μέσου εύρους και τις επαναλαμβάνουμε. Πρέπει να ελέγχουμε όλες τις μετρήσεις ξεχωριστά και να κοιτάμε εάν τα 4 επάρματα έχουν ύψος περίπου 100%. Ελέγχουμε το απόκομμα του υπολογισμού του ενδοφακού και θέτουμε σωστές παραμέτρους σε ότι αφορά το ποιος οφθαλμός, ποια φόρμουλα βιομετρίας, ποιο είδος φακού, ποια σταθερά ενδοφακού και ποιο το επιδιωκόμενο βιομετρικό απο-

τέλεσμα. Κάνουμε διεξοδική συζήτηση με τον ασθενή προεγχειρητικά και ρύθμιζουμε τα αποτελέσματα στον επιθυμητό στόχο δηλαδή στο επιδιωκόμενο σφαιρικό ισοδύναμο. Μερικές φορές κάποιος βαθμός αμετροπίας είναι επιθυμητός και αυτό εξαρτάται από τον τρόπο ζωής του ασθενή και την κατάσταση του άλλου οφθαλμού.

Διεγχειρητικά, λάθος ένθεση του ενδοφακού είναι καιρίας σημασίας για το αποτέλεσμα. Η προσθιοπίστια απόσταση του σάκου είναι 0,50mm. Ενδεχόμενη τοποθέτηση του ενδοφακού στην ακτινωτή αύλακα (sulcus) υποδηλώνει ένθεση του κατά 0.25mm μακρύτερα από τον αμφιβληστροειδή. Αν τοποθετηθεί εκεί ο προεπιλεγμένος ενδοφακός θα παρατηρηθεί μυωπική απόκλιση 0.75 διοπτριών. Ανάστροφη ένθεση του ενδοφακού με κλίση 10° προκαλεί πρόσθια μετατόπιση κατά 0.50mm σε σχέση με τον αμφιβληστροειδή και μυωπική απόκλιση 1.5 διοπτριών.¹¹ Κάποιοι ενδοφακοί είναι επίπεδοι, δηλαδή έχουν γωνία μηδέν μοιρών μεταξύ σώματος (optic) και ποδιών (haptics) και δε μεταβάλλεται η διοπτρική τους ισχύς αν τοποθετηθούν ανάποδα. Άρα η σωστή βιομετρία είναι πολυπαραγοντική διαδικασία. Οποιοδήποτε λάθος και μη σωστή εκτέλεση των παραμέτρων που χρειάζονται, οδηγούν σε αποκλίσεις αμετροπίας οι οποίες αλλοιώνουν το χειρουργικό αποτέλεσμα του ιατρού.⁶

Σύγκριση βιομετριών

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βιομετρία συνοχής εξαρτάται λιγότερο στην εφαρμογή της από το χρήστη σε αντίθεση με τη βιομετρία υπερήχων. Η βιομετρία συνοχής χαρακτηρίζεται από ευκολία, ταχύτητα χρήσης και ασφαλή αποτελέσματα σε πυκνούς καταρράκτες ή σε ύπαρξη ελαίου σιλκόννης. Από την άλλη, η βιομετρία υπερήχων ενδείκνυται όταν ο ασθενής δεν μπορεί να καθηλώσει το βλέμμα του σωστά και συνεπακόλουθα δε μπορεί να μετρηθεί σε βιομετρία συνοχής και σε έντονους οπίσθιους υποκαψικούς καταρράκτες.⁷ Σε μια έρευνα σύγκρισης της επαναληψιμότητας των μετρήσεων του αξονικού μήκους με οπτική βιομετρία συνοχής σε σχέση με βιομετρία υπερήχων σε παιδιά, βρέθηκε ότι οι μετρήσεις με το IOL Master είχαν καλύτερη επαναληψιμότητα (95% όρια συμφωνίας από -0.047 έως 0.038 mm) σε σύγκριση με τη βιομετρία υπερήχων (95% όρια συμφωνίας από -0.850 έως 0.670 mm), όπως και για τις μετρήσεις βάθους πρόσθιου θαλάμου (-0.053 έως 0.073 mm βιομετρία συνοχής, -0.570 έως 0.490 mm A-Scan).¹² Το εκτεταμένο εύρος τιμών στη βιομετρία υπερήχων μπορεί να αντιμετωπιστεί με σωστή χρήση της τυπικής απόκλισης

(SD). Μία σύγκριση της βιομετρίας επαφής και της βιομετρίας εμφύθισης, δείχνει ότι οι διαφορές των μετρήσεων μεταξύ τους κυμαίνονται από 0,14 έως και 0,36 mm (0,25 - 1 διοπτρία). Συγκριτικά με τη βιομετρία εμφύθισης και την οπτική βιομετρία συνοχής, η βιομετρία εμφύθισης είναι ιδανική σε πολύ σκληρούς πυρήνες. Από την άλλη, η οπτική βιομετρία συνοχής πλεονεκτεί σε υποψία οπίσθιου κολοβώματος, γιατί προσδιορίζει σίγουρα την ωχρά κηλίδα. Γενικά κρίνεται ακριβέστερο το αποτέλεσμα με τη βιομετρία εμφύθισης, με υποστήριξη και από την οπτική βιομετρία συνοχής. Επειδή η βιομετρία οπτικής συνοχής είναι όργανο μη επαφής, το IOL Master χρησιμοποιεί για τη μέτρηση του αξονικού μήκους σε νεαρά άτομα, κυρίως παιδιά.⁴ Ο λόγος που οι δύο μέθοδοι δίνουν διαφορετικές μέσες τιμές και έχουν διαφορετική επαναληψιμότητα, οφείλεται στο ότι οι δύο συσκευές λειτουργούν βάσει διαφορετικών αρχών. Οι μετρήσεις με την οπτική βιομετρία συνοχής βασίζονται σε υποθέσεις που αφορούν τη σχετική ταχύτητα με την οποία το φως ταξιδεύει διαμέσου διαφορετικών οφθαλμικών μέσων (π.χ. οι δείκτες διάθλασης για διαφορετικά οπτικά μέσα), προκειμένου να υπολογιστούν γεωμετρικές αποστάσεις. Ενώ για τις μετρήσεις με το A-Scan το όργανο υπολογίζει αποστάσεις βάσει του χρόνου επιστροφής της ηχούς του υπερηχητικού κύματος και άρα στηρίζεται σε υποθέσεις σχετικά με την ταχύτητα των υπερήχων σε διαφορετικά μέσα. Επίσης, η τεχνική υπερήχων μετρά το αξονικό μήκος από τον κερατοειδή μέχρι την έσω αφοριστική μεμβράνη, ενώ το συμβολομετρικό σήμα από τη βιομετρία συνοχής ανακλάται από το μελάγχρον επιθήλιο του αμφιβληστροειδούς. Αναμένεται λοιπόν η βιομετρία συνοχής να μετρά μεγαλύτερο αξονικό μήκος σε σχέση με την ακουστική μέθοδο.¹³ Ο κατασκευαστής έχει ενσωματώσει μια αυτόματη ρύθμιση για την απόσταση μεταξύ της έσω αφοριστικής μεμβράνης και του μελαγχρόου επιθηλίου. Τέλος, στη βιομετρία A-scan, η επιπέδωση του κερατοειδούς που λαμβάνει χώρα, όταν ο στυλεός αγγίζει την επιφάνειά του, θα μπορούσε να οδηγήσει πιθανώς σε μικρότερα αξονικά μήκη σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις μέσω του IOL Master. Έλεγχος μετρήσεων του IOL Master σε σχέση με το A-Scan σε ενήλικες εξεταζόμενους, έδειξε μικρές μέσες διαφορές μεταξύ των δύο τεχνικών όσον αφορά τον προσδιορισμό του αξονικού μήκους (απόκλιση 0,02 mm) και το βάθος του πρόσθιου θαλάμου (0,06 mm)¹⁴ μεγαλύτερο για τη βιομετρία συνοχής, ενώ σε άλλη έρευνα η βιομετρία συνοχής είχε τιμές κατά μέσο όρο μεγαλύτερες σε σχέση με το A-scan κατά 0.14 mm για το αξονικό μήκος και 0.09 mm για το βάθος του πρόσθιου θαλάμου.¹² Το γεγονός αυτό είναι πολύ πιθανόν να οφεί-

λέται, στη δύναμη που ασκείται στον κερατοειδή κατά την εφαρμογή επαφής του ακουστικού υπερήχου. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων θεωρούνται κλινικά μη σημαντικές, αν αναλογιστούμε τον πρακτικό κανόνα που αναφέρει πως μια αλλαγή στο αξονικό μήκος κατά 1 mm επιφέρει μια αλλαγή 3D περίπου στη διαθλαστική δύναμη του ενδοφακού.

BIOMETRY

S. Kalampalikis, E. Nakos, A. Diafas, V. Karampatakis

Laboratory of Experimental Ophthalmology, Aristotle University of Thessaloniki

Abstract

Biometry in Ophthalmology is required primarily as a pre-operative control of cataract patients for measuring the axial length of the eye and of the intraocular lens. In addition it provides further information on the dimensions of the structures within the eye. Biometry is based on fundamentals of transmission, reflection and absorption of sound or of light in different media. The development of new techniques aims to absolute accuracy and achievement of optimal postoperative refraction.

Key words: Biometry, axial length, IOL-Master, A-scan ultrasound, keratometry.

Βιβλιογραφία

1. Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238(9):765-773.
2. Cegarra MJ, Casanova Izquierdo J, Hernández Gil de Tejada T, Sanchis-Gimeno JA, Alonso L. Consolidating the anatomical relationship between ocular axial length and spherical equivalent refraction. *European Journal of anatomy* 2001; 5(3):145-150
3. Tuft SJ, Bunce C. Axial length and age at cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30(5):1045-1048.
4. Τσερεβελάκης Γ. Οφθαλμο-βιομετρικός έλεγχος σε παιδιά-μέλη αθλητικών ομάδων ποδοσφαίρου. 2008
5. Στάγκος Ν. *Κλινική Οφθαλμολογία* 2002; 4:143.
6. Wong TY, Foster PJ, Johnson GJ, Seah SK. Refractive errors, axial ocular dimensions, and age-related cataracts: the Tanjong Pagar survey. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003; 44(4):1479-1485.
7. Mylonas G, Sacu S, Buehl W, Ritter M, Georgopoulos M, Schmidt-Erfurth U. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. *Acta Ophthalmol* 2011; 89(3):e237-241.
8. Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(1):63-71.
9. Kanski JJ, Bowling B. *Clinical Ophthalmology a systematic approach*, 2011.
10. El-Nafees R, Moawad A, Kishk H, Gaafar W. Intraocular lens power calculation in patients with high axial myopia before cataract surgery. *Saudi J Ophthalmol* 2010; 24(3):77-80.
11. Astbury N. Balasubramanya Ramamurthy. How to avoid mistakes in biometry. *Community Eye Health* 2006; 19(60):70-71.
12. Carkeet A, Saw SM, Gazzard G, Tang W, Tan DT. Repeatability of IOLMaster biometry in children. *Optom Vis Sci* 2004; 81(11):829-834.
13. Goyal R, North RV, Morgan JE. Comparison of laser interferometry and ultrasound A-scan in the measurement of axial length. *Acta Ophthalmol Scand* 2003; 81(4):331-335.
14. Santodomingo-Rubido J, Mallen EAH, Gilmartin B, Wolffsohn JS. A new non-contact optical device for ocular biometry. *Br J Ophthalmol* 2002; 86(4):458-462.