

Νεότερες εξελίξεις στη διερεύνηση του αιθουσαίου συστήματος

Ι. ΓΚΟΥΝΤΑΚΟΣ, Κ. ΜΑΡΚΟΥ, Β. ΒΙΤΑΛ, Μ. ΤΣΑΛΙΓΟΠΟΥΛΟΣ

Α΄ Πανεπιστημιακή Ωτορινολαρυγγολογική κλινική Α.Π.Θ., Γ.Π.Ν. ΑΧΕΠΑ, Θεσσαλονίκη

Οι νεότερες εξελίξεις στην εργαστηριακή διερεύνηση του αιθουσαίου συστήματος αφορούν κυρίως την κατανόηση της φυσιολογίας των ωτολιθοφόρων οργάνων και την εφαρμογή νέων εργαλείων αξιολόγησης της λειτουργίας τους.

Στη μελέτη αυτή παρουσιάζονται οι νεότερες διαγνωστικές μέθοδοι, αναλύοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και συνοψίζοντας τις κλινικές τους εφαρμογές. Η σύγχρονη διαγνωστική μεθοδολογία του αιθουσαίου συστήματος περιλαμβάνει τα αιθουσαία μυογενή προκλητά δυναμικά, τη γραμμική επιτάχυνση, την έκκεντρη περιστροφή, την υποκειμενική αντίληψη του κάθετου και οριζοντίου προσανατολισμού και τη δοκιμασία «ωθήσεων της κεφαλής».

Στις κλινικές εφαρμογές των αιθουσαίων προκλητών μυογενών δυναμικών περιλαμβάνονται η διάγνωση και η παρακολούθηση των ασθενών με νόσο Meniere, η επικουρική συμβολή τους στη διάγνωση των ακουστικών νευρινωμάτων, η ταυτοποίηση της αιθουσαίας νευρίτιδας του κάτω αιθουσαίου νεύρου και η αξιολόγηση των διαταραχών αιθουσαίας υπερευαισθησίας. Η γραμμική επιτάχυνση εφαρμόζεται κυρίως στη διάγνωση οξείας απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας, αποτελώντας μέθοδο αξιολόγησης της κατάστασης του σφαιρικού και ελλειπτικού κυστιδίου.

Η συμβολή της έκκεντρης περιστροφής στη διαγνωστική του αιθουσαίου συστήματος αφορά την εκτίμηση της οξείας μονόπλευρης απώλειας της λειτουργίας του ελλειπτικού κυστιδίου, όπως κατά τη νόσο Meniere.

Σύμφωνα με τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, ο ρόλος της υποκειμενικής αντίληψης του οριζοντίου και κάθετου προσανατολισμού εστιάζεται τόσο στη διάγνωση της οξείας απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας όσο και στην παρακολούθηση της πορείας αποκατάστασής της. Πρόσφατα, η δοκιμασία «ωθήσεων της κεφαλής» προτάθηκε ως ένα νέο διαγνωστικό εργαλείο της οξείας αιθουσαίας απώλειας, αξιολογώντας τη λειτουργία του ελλειπτικού κυστιδίου.

Παρά τις υψηλές τεχνικές απαιτήσεις των αναφερόμενων δοκιμασιών, τα αιθουσαία προκλητά μυογενή δυναμικά και η υποκειμενική αντίληψη του κάθετου και οριζοντίου προσανατολισμού αναμένονται να αποτελέσουν τα επόμενα χρόνια βασικά εργαλεία διάγνωσης της παθολογίας του αιθουσαίου συστήματος όσο και της αξιολόγησης της κλινικής έκβασης και πορείας των ασθενών.

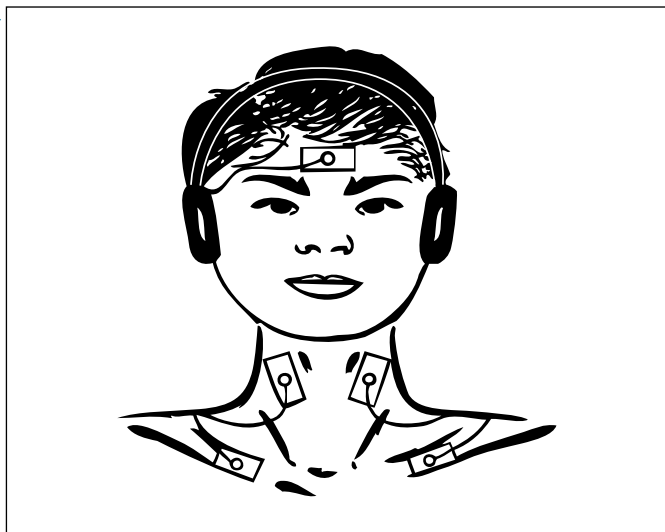
Λέξεις κλειδιά: ωτολιθοφόρα όργανα, αιθουσαία μυογενή προκλητά δυναμικά, γραμμική επιτάχυνση, έκκεντρη περιστροφή, υποκειμενική αντίληψη του κάθετου προσανατολισμού.

Εισαγωγή

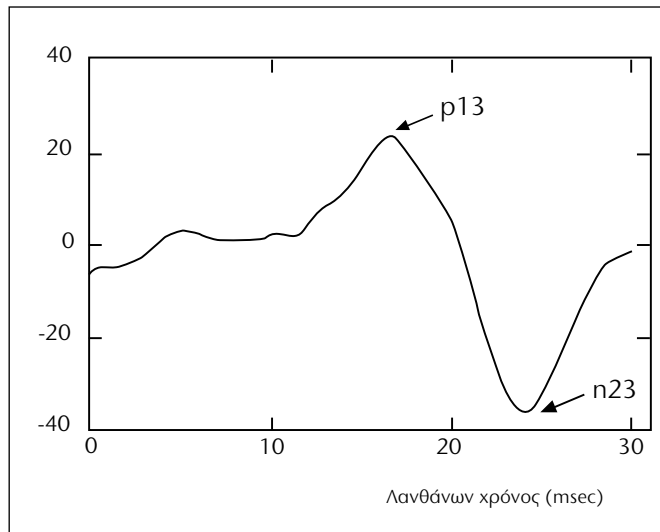
Οι δοκιμασίες ελέγχου της αιθουσαίας λειτουργίας έχουν ως στόχο την αντικειμενική εκτίμηση της κατάστασης και τη διαγνωστική διερεύνηση του αιθουσαίου συστήματος. Μέχρι πρόσφατα, οι διαγνωστικές μας δυνατότητες περιοριζόταν στην εξέταση του οριζοντίου ημικύκλιου σωλήνα, στηριζόμενοι κυρίως στο θερμικό διακλυσμό και στην

τεχνική της περιστροφής. Ωστόσο την τελευταία δεκαετία, νέες τεχνολογικές εφαρμογές προστέθηκαν στη διαγνωστική μας προσέγγιση, προσδίδοντας νέα κλινικά εργαλεία εκτίμησης της λειτουργίας τόσο των κάθετων ημικύκλιων σωλήνων, όσο και των ωτολιθοφόρων οργάνων της αίθουσας (σφαιρικό και ελλειπτικό κυστίδιο).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να παρουσιάσει τα



Εικόνα 1. Τρόπος τοποθέτησης των ηλεκτροδίων για λήψη αιθουσαίων μυογενών αντανακλαστικών.



Σχήμα 1. Τυπική καταγραφή στην οποία σημειώνονται με βέλη οι κυματομορφές p13 και n23 (σύμπλεγμα p13-n23).

νεότερα διαγνωστικά δεδομένα αξιολόγησης της λειτουργίας των ωτολιθοφόρων οργάνων, να αναλύσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και να συνοψίσει τις κλινικές τους εφαρμογές.

Δοκιμασίες ελέγχου ωτολιθοφόρων οργάνων

1. Αιθουσαία Μυογενή Προκλητά Δυναμικά

Τα αιθουσαία μυογενή προκλητά δυναμικά (vestibular evoked myogenic potentials, VEMPs) αποτελούν μία σχετικά νέα εφαρμογή στη διαγνωστική προσέγγιση των ασθενών με διαταραχές του αιθουσαίου συστήματος. Συγκεκριμένα, θεωρούνται ως ένας αξιόπιστος δείκτης με τον οποίο μπορούμε να εκτιμήσουμε τη λειτουργία, ξεχωριστά για το σφαιρικό κυστίδιο της κάθε πλευράς και το αντίστοιχο κατώτερο αιθουσαίο νεύρο. Τα αιθουσαία μυογενή προκλητά δυναμικά (VEMPs) αποτελούν σύντομες ηλεκτρομυογραφικές καταγραφές του στερνοκλειδομαστοειδούς μυός, κατόπιν ηχητικής διέγερσης του σύστοιχου αυτιού.

Ιστορικά στοιχεία

Η εισαγωγή των VEMPs, ως μεθόδου εκτίμησης του αιθουσαίου συστήματος, βασίστηκε στις αναφορές ότι, σε ορισμένα θηλαστικά, τα αιθουσαία ωτολιθοφόρα όργανα και ιδιαίτερα το σφαιρικό κυστίδιο λειτουργούν, εκτός από όργανα ισορροπίας, και ως αισθητηριακοί υποδοχείς ηχητικών ερεθισμάτων¹. Επιβεβαίωση της παραπάνω παρατήρησης αποτελεί η παραγωγή των VEMPs σε ασθενείς με κώφωση². Το 1964 οι Bickford et al² διατύπωσαν τη θεωρία ότι η ηχητική διέγερση φυσιολογικών ατόμων ή ασθενών με αιθουσαίες διαταραχές προκαλεί μυϊκές αντιδράσεις στην ινιακή χώρα που πιθανότατα προέρχονται από την επίδραση του ηχητικού ερεθίσματος στην αί-

θουσα και όχι στον κοχλία². Ωστόσο οι Colebatch et al το 1994³, ήταν αυτοί που τελειοποίησαν τη μέθοδο και συνέβαλαν κυρίως στην αποδοχή των καταγραφόμενων μυϊκών αντιδράσεων στην κλινική διαγνωστική των ασθενών με διαταραχές του αιθουσαίου συστήματος. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές διαφοροποίησαν τη μέθοδο, τοποθετώντας τα ηλεκτρόδια καταγραφής στους στερνοκλειδομαστοειδείς μύες³.

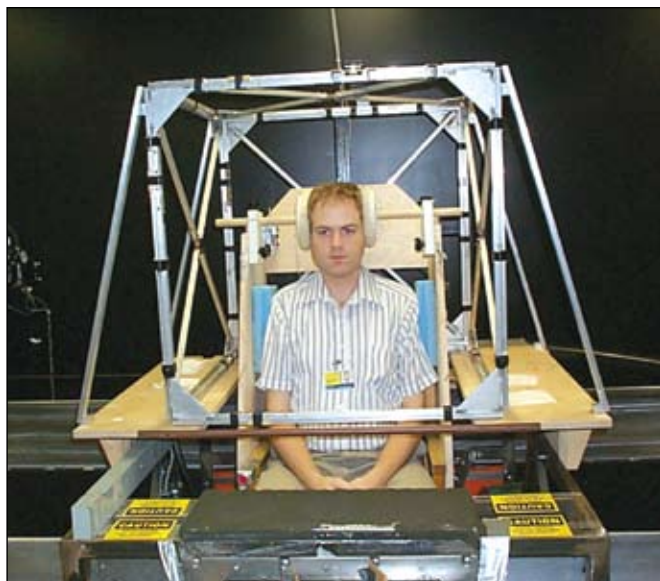
Τεχνική

Η τεχνική της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων για τη λήψη των VEMPs είναι μία απλή διαδικασία. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται αμφοτερόπλευρα στο μέσο ή στο ανώτερο τμήμα των στερνοκλειδομαστοειδών μυών. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς εφαρμόζεται στο μέσο της ομόπλευρης κλείδας και αυτό της γείωσης στο μέσο της μετωπιαίας χώρας (εικόνα 1). Ο ασθενής, κατά τη διάρκεια της εξέτασης, παραμένει ξαπλωμένος κρατώντας μόνος του το κεφάλι του ελαφρά ανασπκωμένο, ώστε να επιτευχθεί σύσπαση του στερνοκλειδομαστοειδούς μυός.

Η συνεχής σύσπαση των στερνοκλειδομαστοειδών μυών (η οποία μπορεί να παραχθεί και με άλλους, πλην του προαναφερόμενου, τρόπους) αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ακριβή διάκριση των μυϊκών συσπάσεων που έχουν αιθουσαία προέλευση και για τη διαπίστωση τυχόν διαφορών στη λειτουργία μεταξύ των δύο σφαιρικών κυστιδίων⁴. Τα ηχητικά ερεθίσματα, συνήθως σύντομοι ήχοι (clicks) έντασης 95-105 dB πάνω από την ουδό ακοής, παρέχονται δια μέσω ακουστικών (εικόνα 1).

Χαρακτηριστικά καταγραφόμενων αποτελεσμάτων

Παράδειγμα καταγραφής της ηλεκτρικής δραστηριότη-



Εικόνα 2. Έλκνητρο γραμμικής επιτάχυνσης.

τας του στερνοκλειδομαστοειδούς μυός σε υγιή άτομα, ηλικίας μικρότερης των 60 ετών και χωρίς σημαντικού βαθμού βαρηκοΐα αγωγιμότητας, παρουσιάζεται στο σχήμα 1⁵. Πρόσφατα δεδομένα υποστηρίζουν ότι, μετά την ηλικία των 60 ετών, οι καταγραφόμενες τιμές των VEMPs κρίνονται αναξιόπιστες, λόγω εκφύλισης του αιθουσαίου συστήματος και αδυναμίας επίτευξης ικανοποιητικού βαθμού σύσπασης των μυών του τραχήλου⁶.

Στο σχήμα 1, απεικονίζεται το σύμπλεγμα p13-n23, στα χαρακτηριστικά του οποίου βασίζεται κυρίως η διαγνωστική αξία των VEMPs. Το σύμπλεγμα συνίσταται από δύο επιμέρους κυματομορφές: την p13 (positive: θετικό έπαρμα με λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης τα 13 ms) και την n23 (negative: αρνητικό έπαρμα με λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης τα 23 ms). Ένα δεύτερο σύμπλεγμα που συχνά καταγράφεται είναι το p34-n44, το οποίο θεωρείται αναξιόπιστο λόγω του ότι απουσιάζει από ένα σημαντικό ποσοστό φυσιολογικών ατόμων³.

Η αξιολόγηση του συμπλέγματος p13-n23 αφορά:

- α) το απόλυτο ύψος του θετικού και του αρνητικού δυναμικού σε mV καθώς και
- β) το λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης σε ms μετά το ηχητικό ερέθισμα.

Το μέγεθος του δυναμικού έχει άμεση εξάρτηση από την τάση των μυών του τραχήλου και την ένταση του ηχητικού ερεθίσματος, ενώ ο λανθάνων χρόνος παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση και θεωρείται πιο αξιόπιστος δείκτης της λειτουργίας του σφαιρικού κυστιδίου.

Αντανακλαστικό τόξο

Κλινικές και πειραματικές μελέτες έχουν προσδιορίσει, σε μεγάλο βαθμό, τις νευρικές οδούς που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του αντανακλαστικού τόξου για την παρα-



Εικόνα 3. Ειδική καρέκλα για εκτέλεση έκκεντρης περιστροφής.

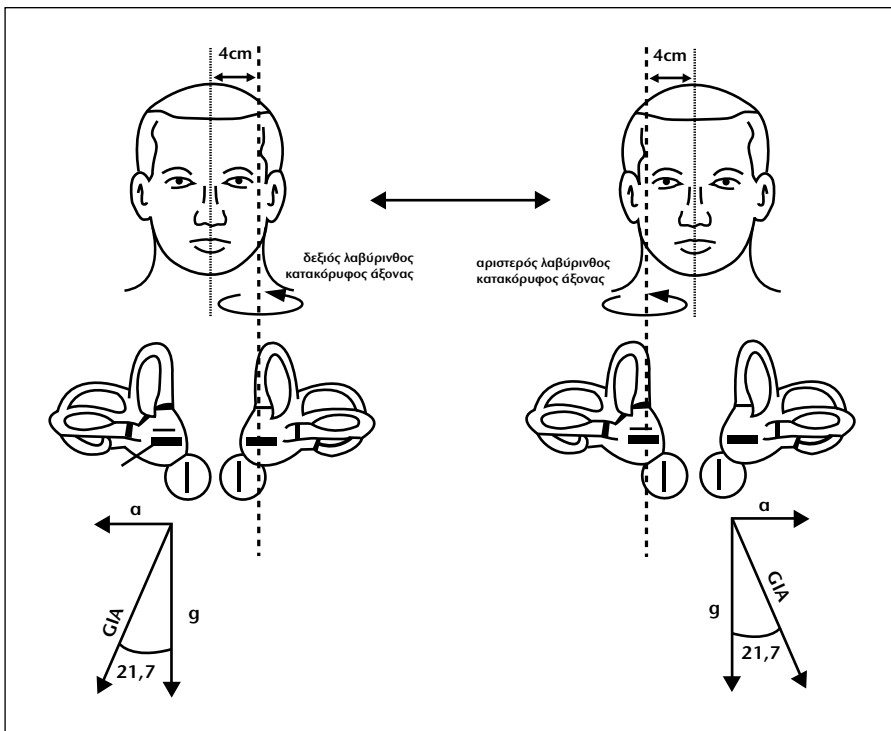
γωγή των VEMPs. Ο υποδοχέας των ηχητικών ερεθισμάτων είναι το σφαιρικό κυστίδιο, το οποίο μεταβιβάζει τα ηχητικά ερεθίσματα δια μέσω του κατώτερου αιθουσαίου νεύρου (προσαγωγός οδός) προς τους αιθουσαίους πυρήνες. Η απαγωγός οδός προς τους μύες του τραχήλου, και ιδιαίτερα τους στερνοκλειδομαστοειδείς μύες, επιτυγχάνεται μέσω του αιθουσονωτιαίου δερματίου, το οποίο συνδέει τους αιθουσαίους πυρήνες με τα πρόσθια κέρατα του νωτιαίου μυελού (κινητικοί νευρώνες).

Κλινικές εφαρμογές

Τα VEMPs διεκδικούν πλέον ένα σημαντικό ρόλο στη διαγνωστική διαδικασία μίας σειράς διαταραχών του αιθουσαίου συστήματος:

α) Νόσος Meniere. Τα VEMPs μπορούν να αποτελέσουν ένα επιπρόσθετο διαγνωστικό εργαλείο για τον ιδιοπαθή ύδρωπα του λαβυρίνθου. Σειρά μελετών υποδεικνύει την απουσία ή τη μεταβολή των κυματομορφών των VEMPs στο 50% περίπου των ασθενών κατά την αρχική διάγνωση της νόσου Meniere⁷. Η μεταβολή των κυματομορφών συνίσταται στην αυξομείωση του ύψους του δυναμικού του συμπλέγματος p13-n23, ενώ ο λανθάνων χρόνος δεν επηρεάζεται⁸. Παράλληλα, ο ρόλος των VEMPs φαίνεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμος και στην παρακολούθηση των ασθενών με μονόπλευρη νόσο Meniere. Απουσία ή διαταραχή της κυματομορφής των VEMPs, κατά τον έλεγχο του ασυμπτωματικού αυτιού ασθενούς με μονόπλευρη νόσο, συνδυάζεται με αυξημένη πιθανότητα ύπαρξης αμφοτερόπλευρου ύδρωπα του λαβυρίνθου⁹.

β) Ακουστικά νευρινώματα. Είναι γνωστό ότι η οριστική διάγνωση των ακουστικών νευρινωμάτων και γενικά των όγκων της γεφυροπαραεγκεφαλιδικής γωνίας απαιτεί την εκτέλεση μαγνητικής τομογραφίας. Ωστόσο, τα



Σχήμα 2. Κατά την έκκεντρη περιστροφή, όταν ο αριστερός λαβύρινθος ευθυγραμμίζεται με τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής, ο δεξιός δέχεται τη συνισταμένη (gravito-inertial acceleration, GIA) της κεντρομόλου επιτάχυνσης (a) και της βαρύτητας (g). Ανάλογα, ο αριστερός λαβύρινθος διεγείρεται όταν ο δεξιός ευθυγραμμιστεί με τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής.

VEMPs μπορούν να επιτελέσουν ένα επικουρικό διαγνωστικό ρόλο, καθώς μπορούν να εκτιμήσουν τη λειτουργία τόσο του σφαιρικού κυστιδίου όσο και του αιθουσαίου νεύρου. Στην πλειοψηφία των ασθενών με ακουστικό νευρίωμα, είτε δεν παράγονται VEMPs είτε καταγράφονται μειωμένα δυναμικά¹⁰.

γ) Αιθουσαία νευρίτιδα. Σημαντικά υποσχόμενος θεωρείται ο ρόλος των VEMPs κατά τη διαφοροδιάγνωση των αιτιών οξείας απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας, ιδιαίτερα όταν οι ασθενείς εμφανίζουν άτυπη συμπτωματολογία. Κλινικές μελέτες επισημαίνουν ότι τα VEMPs καταγράφονται φυσιολογικά σε ασθενείς με καλοήγη παροξυσμικό ίλιγγο θέσης, ενώ είναι δυνατόν να απουσιάζουν σε κάποιους ασθενείς με αιθουσαία νευρίτιδα^{11,12}. Στη νευρίτιδα του αιθουσαίου νεύρου, ο ρόλος των VEMPs εστιάζεται κυρίως στη διαγνωστική εντόπιση των ασθενών στους οποίους η νόσος εντοπίζεται στο κατώτερο αιθουσαίο νεύρο, οι οποίοι αποτελούν περίπου το 30% των περιπτώσεων. Επισημαίνεται ότι οι ασθενείς με αιθουσαία νευρίτιδα του κατώτερου αιθουσαίου νεύρου παρουσιάζουν άτυπη κλινική εικόνα, εμφανίζοντας και διαταραχές ακοής.

δ) Διαταραχές του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες βιβλιογραφικές αναφορές, η συμβολή των VEMPs στη διάγνωση κεντρικών βλαβών κρίνεται προς το παρόν ανεπαρκής¹³. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η διάγνωση της σκλήρυνσης κατά πλάκας, κατά την οποία παρατηρείται μία παράταση του λανθάνοντα χρόνου εμφάνισης των VEMPs ενώ το ύψος των δυναμικών τους παραμένει ανεπηρέαστο⁸.

ε) Αιθουσαία υπερευαισθησία. Οι ασθενείς με αιθουσαία υπερευαισθησία εμφανίζουν αιθουσαία συμπτω-

ματολογία (ζάλη, ίλιγγο, έλλειψη ισορροπίας) κατά την έκθεση σε ηχητικά ερεθίσματα υψηλής έντασης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι ασθενείς που πάσχουν από το «φαινόμενο Tullio» και αυτοί με οστικό έλλειμμα του ανώτερου ημικύκλιου σωλήνα (superior canal dehiscence). Ο ρόλος των VEMPs στη διάγνωση της αιθουσαίας υπερευαισθησίας είναι σημαντικός, δεδομένου ότι στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται μία σταθερή αύξηση των δυναμικών του συμπλέγματος p13-n23 και μειωμένη ουδός των ηχητικών ερεθισμάτων που απαιτούνται για την καταγραφή τους^{14,15}.

II. Γραμμική Επιτάχυνση

Οι τελικοί αισθητηριακοί υποδοχείς των ωτολιθοφόρων οργάνων της αίθουσας (σφαιρικό και ελλειπτικό κυστίδιο) δέχονται συνεχώς το φυσιολογικό ερέθισμα της βαρύτητας, αλλά και την επίδραση των διαφόρων γραμμικών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων.

Με τη μέθοδο της γραμμικής επιτάχυνσης αξιολογείται η λειτουργία των ωτολιθοφόρων οργάνων, τόσο του σφαιρικού όσο και του ελλειπτικού κυστιδίου. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνει ερεθισμός των ωτολιθοφόρων οργάνων με την εφαρμογή γραμμικής επιτάχυνσης, με σκοπό την ταυτόχρονη καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων (καταγραφή του αιθουσο-οφθαλμικού αντανακλαστικού με ήλεκτρο-ή βίντεο-νυσταγμογραφία) αλλά και της υποκειμενικής αντίληψης της αίσθησης της κίνησης^{16,17}.

Τεχνική

Σε ερευνητικό επίπεδο, η επίδραση γραμμικής επιτά-

χυνσης στα υπό μελέτη άτομα επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών οριζοντίων ελκίθρων ή αμαξιδίων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.

Χαρακτηριστικά καταγραφόμενων αποτελεσμάτων

Ο άξονας κίνησης του έλκθρου-ατόμου σε συνδυασμό με τη θέση της κεφαλής-ωτολιθοφόρων οργάνων του εξεταζόμενου, καθορίζουν το τμήμα της αίθουσας που διεγείρεται περισσότερο, καθώς και τις αναμενόμενες οφθαλμικές αντιδράσεις με βάση το αιθουσο-οφθαλμικό αντανακλαστικό. Σημαντική ανατομική υπενθύμιση αποτελεί το γεγονός ότι η ακουστική κηλίδα του ελλειπτικού κυστιδίου διατάσσεται σε οριζόντιο επίπεδο, ενώ του σφαιρικού σε κάθετο.

Όταν ο ασθενής βρίσκεται σε καθιστή θέση και εφαρμόζεται γραμμική επιτάχυνση κατά μήκος του οριζόντιου άξονα που διέρχεται από τα αυτιά του (διαωτικός άξονας: interaural axis), διεγείρεται το ελλειπτικό κυστίδιο (εικόνα 2). Η διέγερση του ελλειπτικού κυστιδίου με αυτόν τον τρόπο, προκαλεί οριζόντιες οφθαλμικές κινήσεις. Σε φυσιολογικά άτομα, η ταχύτητα της βραδείας φάσης (αντίθετης φοράς από τη φορά της επιτάχυνσης) των οφθαλμικών κινήσεων δεν ξεπερνά τις $10^\circ/\text{sec}$, ενώ η διαφορά των οφθαλμικών κινήσεων κατά την επιτάχυνση προς τα αριστερά και προς τα δεξιά δεν ξεπερνά το 13%^{18,19}.

Όταν ασθενής είναι σε ύπτια θέση και η επιτάχυνση εφαρμόζεται κατά τη φορά του σωματικού του άξονα (κεφαλο-ουραϊός άξονας: rostral-caudal axis), τότε διεγείρεται το σφαιρικό κυστίδιο και οι οφθαλμοί κινούνται σε κάθετο επίπεδο.

Κλινικές εφαρμογές

Η τεχνική της γραμμικής επιτάχυνσης έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση των διαφόρων διαταραχών του αιθουσαίου συστήματος στο αιθουσο-οφθαλμικό αντανακλαστικό^{18,20-24}.

α) Χρόνια μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας. Κλινικές μελέτες υποδεικνύουν ότι, σε χρόνια μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας, το αιθουσο-οφθαλμικό αντανακλαστικό παραμένει ανεπηρέαστο, καθώς ο φυσιολογικός λαβύρινθος αναπληρώνει τον υπολειπόμενον και παράγει τις φυσιολογικά αναμενόμενες οφθαλμικές αντιδράσεις κατά τη γραμμική επιτάχυνση.

β) Οξεία μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας. Κατά την οξεία μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας, η οποία οφείλεται σε περιφερικά αίτια, παρατηρείται σημαντική ασυμμετρία των οφθαλμικών αντιδράσεων (περισσότερο του 13%) μετά την εφαρμογή γραμμικής επιτάχυνσης.

γ) Αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας. Ασθενείς με αμφοτερόπλευρη απώλεια της λειτουργίας του αιθουσαίου συστήματος παρουσιάζουν σημαντικά μειωμένες οφθαλμικές αντιδράσεις (όσον αφορά την ταχύτητα και το εύρος της βραδείας φάσης των καταγραφόμενων οφθαλμικών κινήσεων). Παρόμοια απο-

τελέσματα εμφανίζουν όμως και ασθενείς με παρεγκεφαλιδικές διαταραχές.

III. Έκκεντρη Περιστροφή

Ως έκκεντρη περιστροφή εννοούμε τη διαγνωστική διαδικασία κατά την οποία ο ασθενής τίθεται σε περιστροφή γύρω από κατακόρυφο άξονα, ο οποίος βρίσκεται επί τα εκτός του κατακόρυφου άξονα που διέρχεται από το κέντρο της κεφαλής του. Ονομάζεται και «μονόπλευρη φυγοκέντρηση» και αποτελεί μέθοδο εκτίμησης της λειτουργίας του ελλειπτικού κυστιδίου της αίθουσας.

Τεχνική

Η τεχνική που εφαρμόζεται στην έκκεντρη περιστροφή είναι ανάλογη αυτή της φυγόκεντρου (εικόνα 3) και πρωτοπαρουσιάστηκε από τους Clarke και Engelhorn²⁵. Η εφαρμογή στον ασθενή μπορεί να γίνει με τους εξής δύο τρόπους:

1. Διέγερση ενός ελλειπτικού κυστιδίου κάθε φορά. Ο ασθενής περιστρέφεται και εκτοπίζεται δεξιά ή αριστερά σε οριζόντιο επίπεδο (κατά 3,5-4,5 cm), έτσι ώστε ο κατακόρυφος άξονας περιστροφής να διέρχεται κάθε φορά από το αριστερό ή το δεξιό ελλειπτικό κυστίδιο αντίστοιχα. Ο οριζόντιος άξονας περιστροφής διέρχεται από τα αυτιά του (διαωτικός άξονας: interaural axis).

Έτσι, κάθε φορά ο ένας λαβύρινθος ευθυγραμμίζεται με τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής, ενώ ο άλλος δέχεται τις εξής δυνάμεις:

- μία κεντρομόλο επιτάχυνση με κατεύθυνση τον οριζόντιο άξονα περιστροφής και
- τη δύναμη της βαρύτητας (σχήμα 2).

Με αυτόν τον τρόπο, διεγείρεται κάθε φορά ο ένας από τους δύο λαβυρίνθους και το ένα ελλειπτικό κυστίδιο.

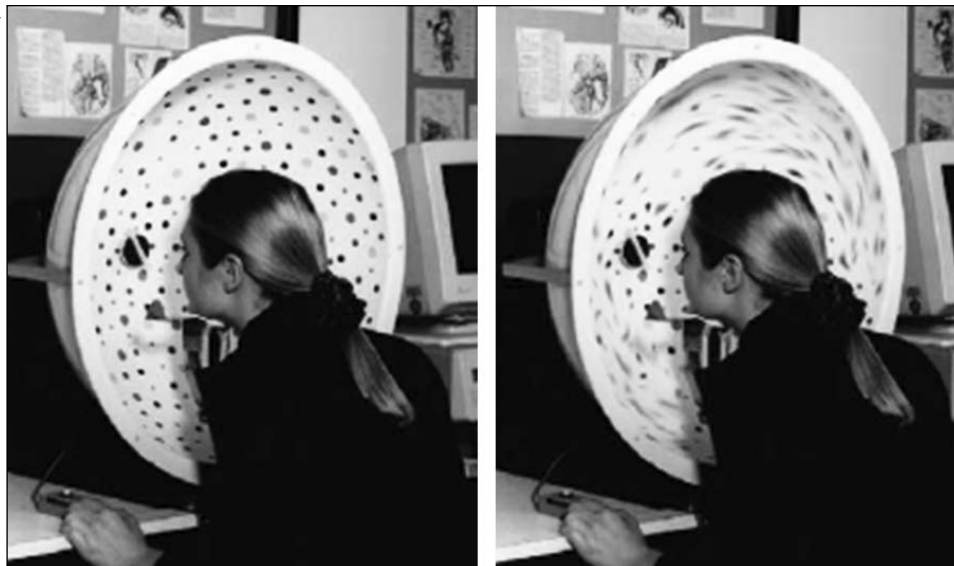
2. Ταυτόχρονη διέγερση και των δύο ελλειπτικών κυστιδίων. Ο ασθενής περιστρέφεται έκκεντρα, με τον οριζόντιο άξονα περιστροφής αυτή τη φορά να διέρχεται από τη μύτη και την ινιακή του χώρα (ρινο-ινιακός άξονας: nasal-occipital axis). Με αυτόν τον τρόπο, διεγείρονται ταυτόχρονα και τα δύο ελλειπτικά κυστίδια.

Ο ασθενής, κατά την έκκεντρη περιστροφή, τίθεται υπό σταθερή γωνιακή ταχύτητα κίνησης, η οποία είναι συνήθως $200-400^\circ/\text{sec}$. Οι οφθαλμικές του αντιδράσεις λόγω του αιθουσο-οφθαλμικού αντανακλαστικού καταγράφονται με την τοποθέτηση βίντεο-νυσταγμογράφου.

Χαρακτηριστικά καταγραφόμενων αποτελεσμάτων

Κατά την εφαρμογή της έκκεντρης περιστροφής, καταγράφονται οι οφθαλμικές αντιδράσεις του δεξιού και αριστερού οφθαλμού κατά τη «φυγοκέντρηση» τόσο του δεξιού όσο και του αριστερού ελλειπτικού κυστιδίου. Οι οφθαλμικές αυτές αντιδράσεις ονομάζονται «ελλειπτικό-οφθαλμικές» (utrículo-ocular responses) και αποτελούν τμήμα του αιθουσο-οφθαλμικού αντανακλαστικού. Σε φυσιολογικά άτομα, κατά την έκκεντρη περιστροφή, αναμένονται κυρίως κυκλικές οφθαλμικές κινήσεις και σε μικρό-

Εικόνα 4. Συσσκευή υποκειμενικής οπτικής αντίληψης της οριζοντίου και της καθέτου.



τερο βαθμό οριζόντιες και κάθετες.

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε να χαρακτηριστεί ως φυσιολογική ή παθολογική η λειτουργία του ελλειπτικού κυστιδίου, είναι η σύγκριση του παράγοντα συμμετρίας μεταξύ του δεξιού και αριστερού οφθαλμού, όπως αυτός καθορίζεται από τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$SF_R = L - \frac{|R_+ - R_-|}{|R_+ + R_-|}, \quad SF_L = L - \frac{|L_+ - L_-|}{|L_+ + L_-|}$$

όπου SFR=παράγοντας συμμετρίας του δεξιού οφθαλμού (symmetric factor right), SFL=παράγοντας συμμετρίας του αριστερού οφθαλμού (symmetric factor left), R+ και R- ο μέσος όρος των κυκλικών οφθαλμικών κινήσεων του δεξιού οφθαλμού κατά τη διέγερση του δεξιού και αριστερού ελλειπτικού κυστιδίου αντίστοιχα, L+ και L- ο μέσος όρος των κυκλικών οφθαλμικών κινήσεων του αριστερού οφθαλμού κατά τη διέγερση του αριστερού και δεξιού ελλειπτικού κυστιδίου αντίστοιχα²⁵.

Κλινικές εφαρμογές

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η έκκεντρη περιστροφή αποτελεί μία ιδιαίτερα υποσχόμενη διαγνωστική διαδικασία για την εκτίμηση των διαταραχών του ελλειπτικού κυστιδίου. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα απομόνωσης και αξιολόγησης της λειτουργίας ξεχωριστά του ελλειπτικού κυστιδίου της κάθε πλευράς.

Οι υπάρχουσες βιβλιογραφικές αναφορές αναδεικνύουν τη συμβολή της έκκεντρης περιστροφής στη διάγνωση κυρίως της μονόπλευρης απώλειας της λειτουργίας του ελλειπτικού κυστιδίου, όπως σε περιπτώσεις νόσου του Meniere²⁶. Ωστόσο, από τα μέχρι σήμερα εργαστηριακά δεδομένα δε φαίνεται να προκύπτει η χρησιμότητα της μεθόδου στη διάγνωση της χρόνιας ασυμμετρίας της λαβυρινθικής λειτουργίας^{27,28}.

IV. Υποκειμενική Αντίληψη του Κάθετου και Οριζόντιου Προσανατολισμού

Ως προσανατολισμός του ατόμου στο χώρο έχει οριστεί «η ικανότητα για σωστή τοποθέτηση ενός αντικειμένου στο πλαίσιο που ορίζεται από τον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα»²⁹. Η ακριβής αντίληψη του οριζόντιου και του κατακόρυφου άξονα είναι μία πολύπλοκη διαδικασία, στην οποία συμμετέχουν διάφορα νευροαισθητηριακά όργανα και οδοί, όπως η όραση, η οφθαλμοκίνηση, ο μηχανισμός της ιδιοδεκτικότητας, τα ωτολιθοφόρα όργανα του αιθουσαίου συστήματος και οι κεντρικοί νευρικοί μηχανισμοί αντίληψης της βαρύτητας. Παρότι η υποκειμενική οπτική αντίληψη της καθέτου (subjective visual vertical, SVV) και η υποκειμενική οπτική αντίληψη της οριζοντίου (subjective visual horizontal, SVH) περιγράφηκαν για πρώτη φορά το 1929 από τους Fischer et al, τα τελευταία χρόνια έχει αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον αναφορικά με το ρόλο τους στην κλινική διαγνωστική, αποτελώντας ένα πολύτιμο εργαλείο αξιολόγησης της λειτουργίας των ωτολιθοφόρων οργάνων²⁹.

Τεχνική

Μία από τις υπάρχουσες συσκευές αντίληψης της SVV και SVH παρουσιάζεται στην εικόνα 4. Ο ασθενής κάθεται μπροστά από έναν ημισφαιρικό θόλο (διαμέτρου 60 cm), ο οποίος περιστρέφεται. Η επιφάνεια του θόλου καλύπτει το οπτικό πεδίο του ατόμου και φέρει τρύπες σε τυχαία διάταξη, ώστε να αποτρέπεται η επίδραση εξωτερικών στοιχείων. Ακριβώς μπροστά στα μάτια του ασθενούς είναι τοποθετημένος ένας περιστρεφόμενος δίσκος, στον οποίο υπάρχει μία ευθεία γραμμή. Ζητείται από τον ασθενή να προσαρμόσει τη γραμμή αυτή σε κάθετη θέση (υποκειμενική αντίληψη της καθέτου). Ο μέσος όρος της απόκλισης (σε μοίρες) της υποκειμενικής θέσης της καθέτου από την αντικειμενικά κάθετη θέση μετά από 10

επαναλαμβανόμενες μετρήσεις καθορίζουν τη SVV. Σε φυσιολογικά άτομα, κατά την εφαρμογή της SVV, η υποκειμενική συμπίπτει με την αντικειμενική αντίληψη, με φυσιολογικά όρια να θεωρούνται οι $0^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί και διάφορες παραλλαγές της παραπάνω τεχνικής με σκοπό την αύξηση των διαγνωστικών δυνατοτήτων της μεθόδου. Δύο από τις πιο συνηθισμένες παραλλαγές είναι:

- α) η χρήση περιστρεφόμενης καρέκλας και
- β) η δυνατότητα κλίσης τους σώματος του ασθενούς κατά την εφαρμογή της δοκιμασίας.

Κλινικές εφαρμογές

Η απλότητα της τεχνικής έχει καθιερώσει την τεχνική της SVV και SVH ως ένα σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο με πολλές κλινικές εφαρμογές:

α) Μονόπλευρη κεντρική βλάβη. Μονόπλευρες βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος (στις οποίες προσβάλλονται περιοχές του νευρικού συστήματος που επηρεάζουν τους μηχανισμούς αντίληψης της βαρύτητας) προκαλούν διαταραχές των καταγραφόμενων τιμών κατά την εφαρμογή της SVV και SVH. Η κατεύθυνση της απόκλισης της υποκειμενικής καθέτου και οριζοντίου, στις περιπτώσεις αυτές, έχει φανεί ότι καθορίζεται από τη θέση της βλάβης³⁰⁻³⁴.

β) Οξεία πτώση της λειτουργίας του περιφερικού αιθουσαίου συστήματος. Κατά τη μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας, όπως για παράδειγμα μετά από αιθουσαία νευροτομή ή λαβυρινθηκτομή, παρατηρείται απόκλιση της SVV προς τη χειρουργηθείσα πλευρά³⁵⁻³⁷.

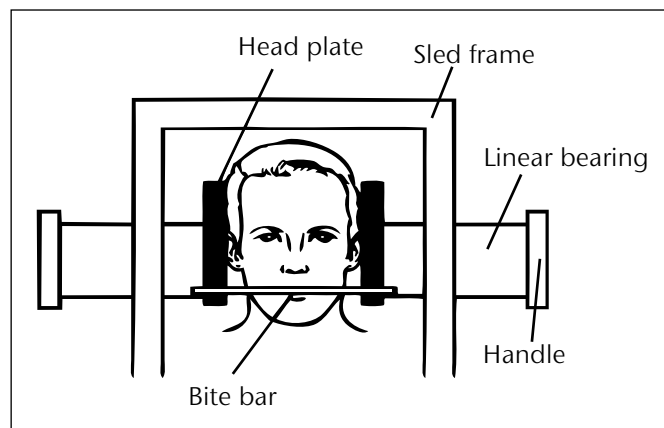
Επιπλέον, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκύπτει ότι σε ασθενείς με αιθουσαία νευρίτιδα, που είναι μία από τις συχνότερες αιτίες οξείας απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας, καταγράφονται σημαντικές αποκλίσεις κατά την εφαρμογή της SVV σε σχέση με τις φυσιολογικά καταγραφόμενες τιμές.

Οι αποκλίσεις αυτές, που κυμαίνονται από $8.94^{\circ} \pm 3.71^{\circ}$ έως $6.8^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$, παρουσιάζουν την τάση να επανέλθουν στα φυσιολογικά όρια κατά τη φάση της αποκατάστασης της αιθουσαίας λειτουργίας. Το γεγονός αυτό καθιστά την τεχνική της SVV ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της πορείας των ασθενών που πάσχουν από αιθουσαία νευρίτιδα^{38,39,40}.

γ) Χρόνια υπολειτουργία του περιφερικού αιθουσαίου συστήματος. Ο διαγνωστικός ρόλος της SVV και της SVH είναι μάλλον περιορισμένος σε χρόνιες διαταραχές της αιθουσαίας λειτουργίας, καθώς αδυνατεί να αναδείξει διαφορές σε σύγκριση με τα φυσιολογικά άτομα. Πιθανολογείται ότι η παραπάνω παρατήρηση οφείλεται στους μηχανισμούς κεντρικής αντιρρόπησης του κεντρικού νευρικού συστήματος^{39,41}.

V. Η Δοκιμασία Ωθήσεων της Κεφαλής (“Head-Heave” Test)

Πρόσφατα, μία νέα δοκιμασία έχει προστεθεί στις ήδη



Εικόνα 5. Συσκευή και τοποθέτηση του ασθενούς για την εκτέλεση του Head-heave Test.

υπάρχουσες διαγνωστικές μεθόδους εκτίμησης της λειτουργίας του αιθουσαίου συστήματος και ειδικότερα του ελλειπτικού κυστιδίου. Πρόκειται για τη δοκιμασία «ωθήσεων» της κεφαλής (head-heave test, HHT) που εισήχθη για πρώτη φορά από τους Ramat et al, το 2001⁴².

Τεχνική

Κατά την εφαρμογή της δοκιμασίας ζητείται από τον ασθενή να επικεντρώσει το βλέμμα του σε συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται 15 cm μπροστά από τα μάτια του. Το ερέθισμα, με το οποίο διεγείρουμε το ελλειπτικό κυστιδίο και καταγράφουμε τις οφθαλμικές αντιδράσεις, είναι η εφαρμογή έντονων ωθήσεων της κεφαλής οι οποίες εφαρμόζονται κατά τον οριζόντιο διαωτικό άξονα. Για το σκοπό αυτό έχει σχεδιαστεί ειδική κατασκευή (εικόνα 5), με την οποία το κεφάλι του ασθενή τίθεται υπό οριζόντια επιτάχυνση μετά από ωθήσεις του εξεταστή. Ο ασθενής δε θα πρέπει να γνωρίζει ή να προβλέπει την κατεύθυνση και τη χρονική στιγμή κατά την οποία θα εφαρμοστεί το ερέθισμα. Η εξέταση περιλαμβάνει συνήθως 30 ωθήσεις της κεφαλής κατά τον διαωτικό άξονα (15 δεξιά και 15 αριστερά).

Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων, που παράγονται λόγω του αιθουσο-οφθαλμικού αντανακλαστικού, επιτυγχάνεται με τη χρήση μαγνητικού διαφράγματος (magnetic search coil)⁴³. Το συγκεκριμένο ειδικό διάφραγμα τοποθετείται στον κερατοειδή του ασθενή και έχει την ιδιότητα να καταγράφει τις οφθαλμικές κινήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η τοποθέτηση του ασθενούς σε κατάλληλο μαγνητικό πεδίο.

Χαρακτηριστικά των καταγραφόμενων αποτελεσμάτων

Από τις καταγραφόμενες αντανακλαστικές οφθαλμικές κινήσεις, υπολογίζονται οι εξής δύο παράμετροι:

- α) η ευαισθησία (η αναλογία της μέγιστης οφθαλμικής ταχύτητας προς τη μέγιστη ταχύτητα της κεφαλής μετά την ώθηση) και

► β) η αύξηση της ταχύτητας (η αναλογία της μέγιστης καταγραφόμενης οφθαλμικής ταχύτητας προς τη μέγιστη ιδανική οφθαλμική ταχύτητα).

Οι υπάρχουσες κλινικές αλλά και πειραματικές μελέτες υποστηρίζουν ότι, σε φυσιολογικά άτομα, παρατηρείται μία συμμετρία των καταγραφόμενων τιμών για τις δύο παραπάνω παραμέτρους μεταξύ δεξιού και αριστερού οφθαλμού^{44,45}.

Κλινικές εφαρμογές

Οι κλινικές εφαρμογές του ΗΗΤ περιορίζονται κυρίως στις περιπτώσεις οξείας μονόπλευρης ή αμφοτερόπλευρης απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας, όπως για παράδειγμα στην οξεία φάση της αιθουσαίας νευρίτιδας και την αιθουσαία υπολειτουργία μετά από χορήγηση ωτοτοξικών φαρμάκων^{42,46}. Αντίθετα, δεν έχει αποδειχθεί έως σήμερα ότι η μέθοδος αυτή είναι δυνατόν να συμβάλει διαγνωστικά στην ανίχνευση χρόνιων διαταραχών των αιθουσαίων ωτολιθοφόρων οργάνων⁴⁷.

Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια, η διαγνωστική του αιθουσαίου συστήματος προσανατολίζεται κυρίως στην εφαρμογή δοκιμασιών εκτίμησης της λειτουργίας των ωτολιθοφόρων οργάνων, η φυσιοπαθολογία των οποίων είναι λιγότερη κατανοητή. Πρέπει να τονιστεί ότι ορισμένες από τις δοκιμασίες που αναλύθηκαν παραπάνω, όπως η γραμμική επιτάχυνση και η έκκεντρη περιστροφή, απαιτούν ειδικό εξοπλισμό και εφαρμόζονται μόνο σε εξειδικευμένα κέντρα, γεγονός που εμποδίζει την ευρεία εφαρμογή τους στην κλινική πρακτική. Ωστόσο, δοκιμασίες, όπως τα αιθουσαία μυογενή αντανάκλαστικά και η αντίληψη της υποκειμενικής καθέτου και οριζοντίου, αναμένονται να αποτελέσουν τα επόμενα χρόνια κύρια εργαλεία για τη διάγνωση των παθήσεων του αιθουσαίου συστήματος αλλά και την αξιολόγηση της κλινικής πορείας των ασθενών.

Summary

New Evolutions in the Evaluation of the Vestibular System

Goudakos J, Markou K, Vital V, Tsalighopoulos M.
1st Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, AHEPA University Hospital, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

The new evolutions in the diagnostic procedure of vestibular system focus, mainly, on the understanding of the function of otolith organs and the establishment of new tools for the evaluation of them.

In the present study, the new diagnostic tests of assessment of otolith organs are presented, their technical characteristics are analyzed and their clinical applications are reviewed. The vestibular evoked myogenic potentials, the linear acceleration, the eccentric rotation, the subjective visual vertical and horizontal and the "Head-Heave" test are mainly included in the modern diagnostic methodology.

The major clinical applications of vestibular evoked myogenic potentials are the diagnosis and the follow-up of patients with Meniere syndrome, the accessory contribution in the detection of acoustic neuromas, the identification of patients with vestibular neuritis of inferior vestibular nerve and the evaluation of cases with vestibular hypersensitivity.

The linear acceleration is mainly applied in the diagnosis of acute vestibular loss, being a method of assessment of the function of saccular and utricle.

The contribution of eccentric rotation in the diagnostic evaluation of vestibular system is placed in the assessment of acute unilateral loss of utricle's function, as in Meniere disease.

Based on the current literature, the role of subjective visual vertical and horizontal is not limited only in the diagnosis of patients with acute vestibular loss, but also aids in the follow up of their rehabilitation.

Recently, the "Head-Heave" test has been proposed as a new alternative diagnostic tool of acute peripheral vestibular loss, assessing the physiology of the utricle.

Regardless the high technical demands of these tests, the vestibular evoked myogenic potentials and the subjective visual vertical and horizontal are expected in the near future to become essential diagnostic tools for the pathology of vestibular system and the evaluation of the clinical outcome in vertiginous patients.

Key words: *otolith organs, vestibular evoked myogenic potentials, linear acceleration, eccentric rotation, subjective visual vertical.*

Βιβλιογραφία - References

1. Todd NP, Cody FW, Banks JR. A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials?: implications for human responses to loud sounds. *Hear Res* 2000; 141: 180-188.
2. Bickford RG, Jacobson JL, Cody DT. Nature of Average Evoked Potentials to Sound and Other Stimuli in Man. *Ann N Y Acad Sci* 1964; 112: 204-223.
3. Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994; 57: 190-197.
4. Ochi K, Ohashi T, Nishino H. Variance of vestibular-evoked myogenic potentials. *Laryngoscope* 2001; 111: 522-527.
5. Colebatch JG. Vestibular evoked potentials. *Curr Opin Neurol* 2001; 14: 21-26.
6. Brantberg K, Granath K, Scharf N. Age-related changes in vestibular evoked myogenic potentials. *Audiol Neurootol* 2007; 12: 247-253.
7. de Waele C, Huy PT, Diard JP, Freyss G, Vidal PP. Saccular dysfunction in Meniere's disease. *Am J Otol* 1999; 20: 223-232.
8. Murofushi T, Shimizu K, Takegoshi H, Cheng PW. Diagnostic value of prolonged latencies in the vestibular evoked myogenic potential. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2001; 127: 1069-1072.
9. Lin MY, Timmer FC, Oriol BSet al. Vestibular evoked myogenic potentials (VEMP) can detect asymptomatic saccular hydrops. *Laryngoscope* 2006; 116: 987-992.
10. Murofushi T, Matsuzaki M, Mizuno M. Vestibular evoked myogenic potentials in patients with acoustic neuromas. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1998; 124: 509-512.
11. Halmagyi GM, Colebatch JG. Vestibular evoked myogenic potentials in the sternomastoid muscle are not of lateral canal origin. *Acta Otolaryngol Suppl* 1995; 520 Pt 1: 1-3.
12. Murofushi T, Halmagyi GM, Yavor RA, Colebatch JG. Absent vestibular evoked myogenic potentials in vestibular neurolabyrinthitis. An indicator of inferior vestibular nerve involvement? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1996; 122: 845-848.
13. Pollak L, Kushnir M, Stryjer R. Diagnostic value of vestibular evoked myogenic potentials in cerebellar and lower-brainstem strokes. *Neurophysiol Clin* 2006; 36: 227-233.
14. Colebatch JG, Rothwell JC, Bronstein A, Ludman H. Click-evoked vestibular activation in the Tullio phenomenon. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994; 57: 1538-1540.
15. Streubel SO, Cremer PD, Carey JP, Weg N, Minor LB. Vestibular-evoked myogenic potentials in the diagnosis of superior canal dehiscence syndrome. *Acta Otolaryngol Suppl* 2001; 545: 41-49.
16. Bronstein AM, Gresty MA. Short latency compensatory eye movement responses to transient linear head acceleration: a specific function of the otolith-ocular reflex. *Exp Brain Res* 1988; 71: 406-410.

-
17. Seidman SH, Telford L, Paige GD. Tilt perception during dynamic linear acceleration. *Exp Brain Res* 1998; 119: 307-314.
 18. Lempert T, Gianna C, Brookes G, Bronstein A, Gresty M. Horizontal otolith-ocular responses in humans after unilateral vestibular deafferentation. *Exp Brain Res* 1998; 118: 533-540.
 19. Lempert T, Gianna CC, Gresty MA, Bronstein AM. Effect of otolith dysfunction. Impairment of visual acuity during linear head motion in labyrinthine defective subjects. *Brain* 1997; 120 (Pt 6): 1005-1013.
 20. Fujino A, Tokumasu K, Yosio S, Naganuma H. Sinusoidal linear accelerations test on peripheral vestibular disturbances. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991; 481: 67-68.
 21. Gresty MA, Bronstein AM. Testing otolith function. *Br J Audiol* 1992; 26: 125-136.
 22. Zee DS, Hain TC. Clinical implications of otolith-ocular reflexes. *Am J Otol* 1992; 13: 152-157.
 23. Baloh RW, Yue Q, Demer JL. The linear vestibulo-ocular reflex in normal subjects and patients with vestibular and cerebellar lesions. *J Vestib Res* 1995; 5: 349-361.
 24. Anastasopoulos D, Lempert T, Gianna C, Gresty MA, Bronstein AM. Horizontal otolith-ocular responses to lateral translation in benign paroxysmal positional vertigo. *Acta Otolaryngol* 1997; 117: 468-471.
 25. Clarke AH, Engelhorn A. Unilateral testing of utricular function. *Exp Brain Res* 1998; 121: 457-464.
 26. Koizuka I, Takeda N, Sato S, Sakagami M, Matsunaga T. Centric and eccentric VOR tests in patients with Meniere's disease and vestibular Meniere's disease. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991; 481: 55-58.
 27. Takemori S, Tanaka M, Moriyama H. An analysis of ocular counter-rolling measured with search coils. *Acta Otolaryngol Suppl* 1989; 468: 271-276.
 28. Curthoys IS, Dai MJ, Halmagyi GM. Human ocular torsional position before and after unilateral vestibular neurectomy. *Exp Brain Res* 1991; 85: 218-225.
 29. Vibert D, Hausler R, Safran AB. Subjective visual vertical in peripheral unilateral vestibular diseases. *J Vestib Res* 1999; 9: 145-152.
 30. Brandt T, Dieterich M. Pathological eye-head coordination in roll: tonic ocular tilt reaction in mesencephalic and medullary lesions. *Brain* 1987; 110 (Pt 3): 649-666.
 31. Brandt TH, Dieterich M. Different types of skew deviation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1991; 54: 549-550.
 32. Dieterich M, Brandt T. Wallenberg's syndrome: lateropulsion, cyclorotation, and subjective visual vertical in thirty-six patients. *Ann Neurol* 1992; 31: 399-408.
 33. Halmagyi GM, Brandt T, Dieterich M, Curthoys IS, Stark RJ, Hoyt WF. Tonic contraversive ocular tilt reaction due to unilateral meso-diencephalic lesion. *Neurology* 1990; 40: 1503-1509.
 34. Halmagyi GM, Curthoys IS, Brandt T, Dieterich M. Ocular tilt reaction: clinical sign of vestibular lesion. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991; 481: 47-50.
 35. Curthoys IS, Halmagyi GM, Dai MJ. The acute effects of unilateral vestibular neurectomy on sensory and motor tests of human otolithic function. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991; 481: 5-10.
 36. Curthoys IS, Smith PF, Darlington CL. Postural compensation in the guinea pig following unilateral labyrinthectomy. *Prog Brain Res* 1988; 76: 375-384.
 37. Friedmann G. The influence of unilateral labyrinthectomy on orientation in space. *Acta Otolaryngol* 1971; 71: 289-298.
 38. Bergenius J, Tribukait A, Brantberg K. The subjective horizontal at different angles of roll-tilt in patients with unilateral vestibular impairment. *Brain Res Bull* 1996; 40: 385-390; discussion 390-381.
 39. Bohmer A, Rickenmann J. The subjective visual vertical as a clinical parameter of vestibular function in peripheral vestibular diseases. *J Vestib Res* 1995; 5: 35-45.
 40. Min KK, Ha JS, Kim MJ, Cho CH, Cha HE, Lee JH. Clinical use of subjective visual horizontal and vertical in patients of unilateral vestibular neuritis. *Otol Neurotol* 2007; 28: 520-525.
 41. Tabak S, Collewijn H, Boumans LJ. Deviation of the subjective vertical in long-standing unilateral vestibular loss. *Acta Otolaryngol* 1997; 117: 1-6.
 42. Ramat S, Zee DS, Minor LB. Translational vestibulo-ocular reflex evoked by a "head heave" stimulus. *Ann N Y Acad Sci* 2001; 942: 95-113.
 43. Bartl K, Siebold C, Glasauer S, Helmchen C, Buttner U. A simplified calibration method for three-dimensional eye movement recordings using search-coils. *Vision Res* 1996; 36: 997-1006.
 44. Ramat S, Zee DS. Ocular motor responses to abrupt interaural head translation in normal humans. *J Neurophysiol* 2003; 90: 887-902.
 45. Ramat S, Straumann D, Zee DS. Interaural translational VOR: suppression, enhancement, and cognitive control. *J Neurophysiol* 2005; 94: 2391-2402.
 46. Nuti D, Mandala M, Broman AT, Zee DS. Acute vestibular neuritis: prognosis based upon bedside clinical tests (thrusts and heaves). *Ann N Y Acad Sci* 2005; 1039: 359-367.
 47. Kessler P, Tomlinson D, Blakeman A, Rutka J, Ranalli P, Wong A. The high-frequency/acceleration head heave test in detecting otolith diseases. *Otol Neurotol* 2007; 28: 896-904. 