

ΠΜΣ ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΝΩΣΙΑΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ, ΙΣΤΟΡΙΑΣ & ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ, ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ & ΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**ΕΛΙΣΑΒΕΤ ΑΝΔΡΕΟΥ**

Α.Μ. 08Μ01

Συνέργεια οφθαλμών, κεφαλής, κορμού και κάτω άκρων σε εκούσιες στροφές ασθενών με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας.

ΑΘΗΝΑ, 2012

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη

ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΝΩΣΙΑΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

που απονέμει το Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας & Θεωρίας της Επιστήμης, το Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, το Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής & Ψυχολογίας και το Τμήμα Νοσηλευτικής του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και το Τμήμα Πληροφορικής του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε την από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΒΑΘΜΙΔΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

Δ. ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

(Επιβλέπων)

Α. ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ

ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Τονίζεται ιδιαίτερος ότι ελήφθησαν υπόψη οι παρατηρήσεις της υπεύθυνης του προγράμματος κας Σ. Βοσνιάδου και ότι αναδεικνύονται εμφανέστερα οι γνωσιακές παράμετροι της παρούσας μελέτης.

Περιεχόμενα:

Εισαγωγή.....	σελ.5
Μηχανισμοί ελέγχου του βλέμματος.....	σελ.7
Αιθουσαία δυσλειτουργία.....	σελ.9
Γνωσιακές συνιστώσες μετατόπισης του βλέμματος	σελ.12
Γνωσιακά ελλείματα σε ασθενείς με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας.....	σελ.14
Κριτήρια επιλογής του πειραματικού σχεδιασμού.....	σελ.16
Μεθοδολογία.....	σελ.17
Ασθενείς και ομάδα ελέγχου φυσιολογικών ατόμων (control).....	σελ.17
Πρωτόκολλο και απόκτηση των δεδομένων.....	σελ.17
Στατιστική.....	σελ.19
Αποτελέσματα.....	σελ.20
Πρότυπο των εκουσίων περιστροφών.....	σελ.20
Καταγραφές από ασθενείς.....	σελ.23
Λανθάνοντες χρόνοι (latencies).....	σελ.26
Εύρος οφθαλμικής σακκάδας.....	σελ.27
Εύρος, χρονική διάρκεια και μέγιστη ταχύτητα της αρχικής μετατόπισης του βλέμματος.....	σελ.27
Μετατόπιση της κεφαλής επί του κορμού.....	σελ.28
Μέγιστες ταχύτητες της κεφαλής στο χώρο και του κορμού.....	σελ.28
Χρόνος επίτευξης του στόχου.....	σελ.29
Ποσοστά μετατοπίσεων βλέμματος «διαμιάς» και «πολλαπλών βημάτων» στις δοκιμές επιστροφής.....	σελ.29
Συζήτηση.....	σελ.30
Προτεινόμενο γνωσιακό μοντέλο.....	σελ.32
Βιβλιογραφία.....	σελ.35
Παράρτημα.....	σελ.39

Συνέργεια οφθαλμών, κεφαλής, κορμού και κάτω άκρων σε εκούσιες στροφές ασθενών με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

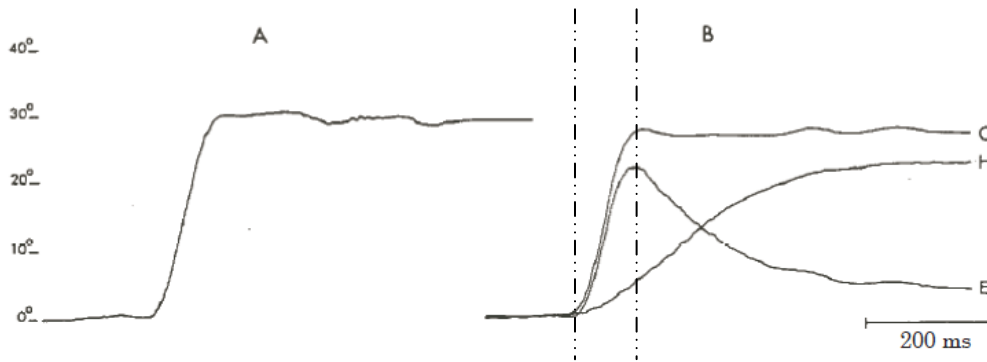
Η μετατόπιση της κατεύθυνσης του βλέμματος, όταν το άτομο είναι όρθιο, περιλαμβάνει συχνά περιστροφικές κινήσεις, όχι μόνο των οφθαλμών και της κεφαλής, αλλά επίσης και του κορμού. Οι αισουσαίες πληροφορίες είναι απαραίτητες για αυτήν. Παρόλο που οι εκούσιες στροφικές κινήσεις σε όρθια στάση, για παράδειγμα όπως η αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη βάδιση, η αναζήτηση αντικειμένων στο χώρο κατοικίας ή εργασίας, αποτελούν συνηθισμένη συμπεριφορά στην καθημερινότητα, τόσο το νευροφυσιολογικό τους υπόστρωμα όσο και το σχέδιο οργάνωσης της γνώσης για την παραγωγή δράσης παραμένουν σε μεγάλο βαθμό άγνωστα. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο γνωσιακό έργο που περιλαμβάνει την οπτικοχωρική αντίληψη (spatial orientation), την προσοχή-συγκέντρωση, την πρόσφατη μνήμη και την εκτελεστική λειτουργία της εθελούσιας περιστροφικής κίνησης (Hanes and McCollum, 2006).

Ασθενείς με αισουσαίες διαταραχές αναφέρουν ιδιαίτερη δυσκολία ή αστάθεια όταν προσπαθούν να αλλάξουν την κατεύθυνση της βάδισης (navigation deficit). Η αισουσαία δυσλειτουργία, ως αιτία ανισορροπίας, αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπλοκη πρόκληση λόγω της αλληλεπίδρασης του αισουσαίου συστήματος με γνωσιακή λειτουργικότητα και λόγω του βαθμού επιρροής του πάνω στον έλεγχο των κινήσεων των οφθαλμών, στην στάση και στην μετακίνηση του ανθρώπινου σώματος. Στην παρούσα μελέτη εξετάσαμε πώς οι ασθενείς με χρόνια αμφοτερόπλευρη απώλεια της αισουσαίας λειτουργίας (Bilateral Vestibular Loss ή BVL) προσαρμόζονται σε αυτήν την κατάσταση κατά την διάρκεια κινήσεων επαναπροσανατολισμού, με συμμετοχή ολόκληρου του σώματος.

Η συνέργεια οφθαλμών-κεφαλής στο οριζόντιο επίπεδο, όταν το άτομο προσπαθεί να προσανατολίσει την κατεύθυνση του βλέμματος προς ένα νέο, έκκεντρο στόχο, έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων μελετών στα τελευταία

τριανταπέντε χρόνια. Η συνδυασμένη αυτή κίνηση είναι συχνότατη. Η κίνηση της κεφαλής μπορεί να προκαλέσει σημαντική αμφιβληστροειδική απόκλιση από την ευκρινή όραση. Όταν η τελευταία υπερβεί τις 2 μοίρες, η οπτική οξύτητα μειώνεται (Grossman et al, 1989). Οι αιθουσαίοι μηχανισμοί παίζουν έναν κεντρικό ρόλο στον συντονισμό της σχετικής συμμετοχής των δύο αυτών συστημάτων στις σακκιάδες (υποφλοιώδεις, αντανακλαστικές διαδικασίες). Πολύ μικρό μόνο ποσοστό (κάτω από το 5%) των οφθαλμικών σακκαδικών κινήσεων της καθημερινότητας (φέρνουν τις εικόνες των αντικειμένων στο κεντρικό βοθρίο), δεν συνοδεύεται από ταυτόχρονη κίνηση της κεφαλής προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό συμβαίνει ακόμα και εάν η γωνιακή απόσταση του αντικειμένου ενδιαφέροντος είναι μικρή, π.χ. 15 μοίρες και θα μπορούσε να καλυφθεί με κίνηση μόνο των οφθαλμών (Collewijn 1977). Όταν η κεφαλή κινείται παθητικά, για παράδειγμα προς τα δεξιά, το αίθουσο-οφθαλμικό αντανακλαστικό (Vestibular Ocular reflex ή VOR) κινεί τους οφθαλμούς προς τα αριστερά για να διατηρήσει σταθερή την κατεύθυνση του βλέμματος στο χώρο και την ευκρίνεια της όρασης. Στην περίπτωση όμως εκούσιας στροφής οφθαλμών-κεφαλής, η δράση αυτή του VOR είναι στην ουσία ανεπιθύμητη, διότι τώρα το βλέμμα (οφθαλμοί στον κόγχο + κεφαλή στο χώρο) πρέπει να προσανατολιστεί προς την κατεύθυνση που βρίσκεται το αντικείμενο ενδιαφέροντος, ώστε να συλλάβει τον νέο στόχο. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα συμμετέχοντα σε μία τέτοια κίνηση τμήματα του σώματος (οφθαλμοί, κεφαλή και κατ' επέκταση κορμός και κάτω άκρα) έχουν πολύ διαφορετική μάζα και λοιπές φυσικές ιδιότητες, γεγονός που δυσχεραίνει το συντονισμό τέτοιων συνδυασμένων κινήσεων από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα.

Οι οφθαλμοί ξεκινούν συνήθως πρώτα, όταν η εμφάνιση του στόχου δεν είναι προβλέψιμη, ενώ συχνότερα προηγείται η κεφαλή στην περίπτωση που το άτομο γνωρίζει τη θέση ή τη χρονική στιγμή εμφάνισης του στόχου (Moschner and Zangemeister, 1993). Η συνδυασμένη κίνηση έχει δύο φάσεις: α) το άθροισμα της μετατόπισης οφθαλμού και κεφαλής ('βλέμμα') φθάνει ταχέως και προσηλώνει στο στόχο, β) από τη στιγμή αυτή και έπειτα η βλεμματική κατεύθυνση παραμένει σταθερή, ενώ η κεφαλή συνεχίζει να κινείται προς το στόχο και ο οφθαλμός γυρίζει προς τα πίσω, προς τη μεσαία θέση στον κόγχο με μια βραδεία αντισταθμιστική κίνηση (Σχήμα 1). Η δεύτερη φάση επιτελείται με τη βοήθεια του αιθουσαίο-οφθαλμικού αντανακλαστικού.



Σχήμα 1. Οριζόντιες μετατοπίσεις βλέμματος ενός πιθήκου προς έναν οπτικό στόχο που εμφανίζεται στις 30 μοίρες δεξιά του αρχικού σημείου προσήλωσης. Α: σακκαδική μόνο κίνηση οφθαλμών (E) με ακίνητη κεφαλή. Β: μετατόπιση του βλέμματος (G) προς τον ίδιο στόχο με την κεφαλή (H) ελεύθερη κίνησης. Δεύτερη κάθετος γραμμή: επίτευξη στόχου. Το σχήμα έχει παρθεί από τον E. Bizzi (1981), Eye-head coordination, in V. B. Brooks (ed.), *Handbook of Physiology*, Vol. 3, American Physiological Society, Bethesda, MD, pp. 1321-1336.

Μηχανισμοί ελέγχου του βλέμματος

Αρχικά, είχε προταθεί από τους Bizzi et al (1972) και Morasso et al (1973), ότι σε μικρές βλεμματικές μετατοπίσεις, το VOR διαμεσολαβεί μια εντολή γραμμικής κίνησης για οφθαλμική σακκάδα με μια αρνητική αντιστοιχία (replica)-αφαίρεση της ταυτόχρονης κίνησης της κεφαλής. Έτσι το VOR εξασφαλίζει την μετασακκαδική σταθεροποίηση του βλέμματος (οφθαλμοκεντρική υπόθεση ή υπόθεση της γραμμικής άθροισης). Ωστόσο, η επίδραση του αιθουσαίου συστήματος κατά την διάρκεια της σακκάδας, καθώς και ο βαθμός συμμετοχής του ως προς την ακρίβεια του εντοπισμού του στόχου δεν είχε πλήρως αποσαφηνιστεί.

Έχει διαπιστωθεί και θεωρείται πλέον ως δεδομένο, ότι κατά την διάρκεια μεγάλης σακκαδικής βλεμματικής κίνησης, το VOR εξασθενεί ή καταστέλλεται κεντρικά μέχρι το τέλος της σακκάδας (αλλιώς θα μείωνε την ταχύτητα της σακκάδας και θα επιμήκυνε την διάρκειά της), οπότε και επανενεργοποιείται απότομα για την σταθεροποίηση του μετασακκαδικού βλέμματος (Laurutis and Robinson, 1986, Pelisson et al, 1998, Guitton and Volle, 1987 και Tabak et al. 1996). Έχει αναγνωριστεί και ως νευρωνικό ισοδύναμο της καταστολής του VOR στην μετατόπιση βλέμματος, η εξασθένηση της ευαισθησίας στην ταχύτητα κεφαλής των νευρώνων των κεντρικών

αιθουσαίων πυρήνων (position vestibular pause neurons). Ενώ, στην σταθεροποίηση του βλέμματος μετά από εκούσιες περιστροφές της κεφαλής, οι αποκρίσεις αυτών των νευρώνων δεν μειώνονται (Roy and Cullen, 1998,2002). Η ακρίβεια βλέμματος, δηλαδή η σύλληψη του στόχου στο τέλος της πρώτης φάσης – με βάση την παραπάνω άποψη για την καταστολή του VOR και σύμφωνα με νεώτερες απόψεις- θεωρείται ότι διατηρείται με τη βοήθεια ενός μηχανισμού ανάδρασης (gaze feedback). Με αυτόν, η στιγμιαία μετατόπιση βλέμματος, η διανυθείσα απόσταση βλέμματος όπως προκύπτει από την πληροφορία αθροίσματος των ταχυτήτων οφθαλμού και κεφαλής, αφαιρείται συνεχώς από την αρχική επιθυμητή μετατόπιση βλέμματος και το τελικό σήμα λαθεμένης βλεμματικής κίνησης (gaze motor error signal) οδηγεί τα κινητικά συστήματα οφθαλμών και κεφαλής μέχρι την άφιξη της βλεμματικής κατεύθυνσης στο στόχο (Laurutis and Robinson, 1986, Guitton and Volle, 1987).

Εναλλακτικά στην παραπάνω υπόθεση, μια αιθουσαίως προερχόμενη εικόνα της μετατόπισης της κεφαλής τροφοδοτεί το τοπικό αναδραστικό κύκλωμα για την παραγωγή σακκάδας. Αυτό θα ενεργοποιούσε το αιθουσαίο-σακκαδικό αντανακλαστικό (Vestibulo-saccadic reflex ή VSR), το οποίο μειώνει την εντολή μετατόπισης και ταχύτητας της σακκαδικής κίνησης του οφθαλμού σε βαθμό αντίστοιχο της τρέχουσας μετατόπισης της κεφαλής, ενώ το αιθουσαίο-οφθαλμικό αντανακλαστικό σταθεροποιεί την κατεύθυνση του βλέμματος μετά την άφιξη στο στόχο παρά το γεγονός ότι η κίνηση της κεφαλής ακόμη συνεχίζεται (Laurutis and Robinson,1986). Ανεξαρτήτως από το ποιος μηχανισμός (VOR ή VSR) εφαρμόζεται, οι συνέπειες μιας οξείας απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας είναι ίδιες για την ακρίβεια των βλεμματικών σακκάδων (Maurer et al,1998).Ακόμα, έχει προταθεί χωριστός έλεγχος για τα κινητικά συστήματα οφθαλμών και κεφαλής με βάση την επίδραση της αρχικής θέσης οφθαλμού στον οφθαλμικό κόγχο στην σχετική συνεισφορά οφθαλμών-κεφαλής στην επιθυμητή μετατόπιση του βλέμματος (Freedman and Sparks,1997).

Γενικά, η εμφάνιση ενός έκκεντρου οπτικού στόχου προκαλεί μια οφθαλμική σακκαδική κίνηση επαναπροσήλωσης και μια κίνηση της κεφαλής προς την ίδια κατεύθυνση(Collewijn, 1977), δηλαδή μια μετατόπιση του βλέμματος μέχρι την σύλληψη του στόχου (Το Βλέμμα εδώ είναι το άθροισμα της θέσης του οφθαλμού στον οφθαλμικό κόγχο και της θέσης της κεφαλής στον χώρο, δηλαδή της θέσης του οφθαλμού στον χώρο). Η συνιστώσα της κίνησης της κεφαλής στην βλεμματική μετατόπιση είναι ως έναν βαθμό υποκείμενη σε βουλητικό έλεγχο, με τον περιορισμό

ότι η οφθαλμός- ως προς- κεφαλή εκκεντρικότητα δεν πρέπει να ξεπεράσει τα όρια της κινητικότητας του οφθαλμού στον κόγχο (50-60 μοίρες, Guitton and Volle, 1987). Σε φυσιολογικά υποκείμενα με φυσιολογική κίνηση, το παραπάνω όριο δεν αγγίζεται σχεδόν ποτέ. Έτσι σε βλεμματική μετατόπιση 10-30 μοιρών, με την ολοκληρωμένη κίνηση της κεφαλής, η τελική εκκεντρικότητα της οφθαλμικής τροχιάς περιορίζεται στις 5-20 μοίρες (Roucoux et al, 1988).

Στην καθημερινή ζωή, οι μεγάλες μετατοπίσεις βλέμματος απαιτούν όχι μόνο κινήσεις των οφθαλμών και της κεφαλής, αλλά και του κορμού, όπως επίσης και των ποδιών (Land M,2004). Έχει δειχθεί ότι σε μετατοπίσεις του βλέμματος μεγαλύτερες των 40 μοιρών στα πρωτεύοντα ζώα, οι κινήσεις του σώματος συνεισφέρουν σημαντικά (McCluskey and Cullen, 2007). Προστίθενται έτσι περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας και η δυσανάλογα μεγάλη μάζα του κορμού στον προγραμματισμό και έλεγχο της κίνησης από το νευρικό σύστημα. Η στροφή προς ένα νέο στόχο απαιτεί τη συντονισμένη κίνηση οφθαλμών, κεφαλής, κορμού και κάτω άκρων, ο προγραμματισμός της οποίας από τον προκινητικό φλοιό θα πρέπει να συνυπολογίσει και τη δράση στελεχιαίων και νωτιαίων αντανακλαστικών. Η μελέτη τέτοιων συνδυασμένων κινήσεων σε ανθρώπους απεκάλυψε πρόσφατα, ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η προώθηση της βλεμματικής κατεύθυνσης γίνεται με τη συμμετοχή ταχέων φάσεων του αιθουσαίου νυσταγμού. Σε φυσιολογικά άτομα που στρέφονται για τη σύλληψη ενός στόχου μη αρχικά ορατού, έχει βρεθεί, ότι οι κινήσεις κεφαλής μεγάλης διάρκειας παράγουν νυσταγμικά στοιχεία, ιδιαιτέρως σε μεγάλες μετατοπίσεις βλέμματος πέρα από το οφθαλμοκινητικό εύρος, πιθανόν ως βαθμιδωτή στρατηγική οφθαλμικής ανίχνευσης του στόχου με την ταυτόχρονη μετατόπιση του βλέμματος (Anastasopoulos et al, 2009). Επιπλέον, λιγότερες φορές η σύλληψη του στόχου γίνεται διαμιάς (single-step gaze shifts). Παρατηρήθηκε ότι στις περιπτώσεις αυτές η βλεμματική ταχύτητα διατηρείται για αρκετό διάστημα (π.χ. 0.5 s) σχετικά σταθερή, δηλαδή ρυθμίζεται μέσω μεταβολής των επιμέρους ταχυτήτων (οφθαλμού-κεφαλής-κορμού), των οποίων σε κάθε χρονική στιγμή αποτελεί το άθροισμα. Ακόμα βρέθηκε ότι οι κινήσεις των κάτω άκρων είναι στερεότυπες (spinal locomotor pattern generator). Για την πραγματοποίηση της στροφής απαρτιώνονται ιδιοδεκτικά σήματα από τα κάτω άκρα με τοπικές και υπερνωτιαίες επιδράσεις (Anastasopoulos et al. 2009, Sklavos et al. 2008).

Αιθουσαία δυσλειτουργία

Το αιθουσαίο σύστημα λειτουργεί ουσιαστικά ως ένα κεντρομόλο αντανακλαστικό τόξο του κινητικού συστήματος. Οι πληροφορίες από τα αιθουσαία όργανα μαζί με οπτικές και ιδιοδεκτικές πληροφορίες από εξειδικευμένες αισθητηριακές δομές στο δέρμα, τις αρθρώσεις και τους μύες, επεξεργάζονται στο επίπεδο του εγκεφαλικού στελέχους και της παρεγκεφαλίδας μαζί με σημαντικές αλληλεπιδράσεις από τον μετωπιαίο, τον ινιακό και τον βρεγματικό φλοιό. Η επεξεργασία και η ενοποίηση των πληροφοριών αυτών οδηγεί σε αλληλεπιδράσεις με ανώτερα νοητικά κέντρα, αλλά και με κινητικούς νευρώνες στην περιφέρεια για την διενέργεια οφθαλμικών κινήσεων και κινήσεων ισορροπίας της κεφαλής, του κορμού και των άκρων. Αυτό το εκτεταμένο δίκτυο νευρικών οδών αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα ισορροπίας, η καλή λειτουργία του οποίου προϋποθέτει συνεχή ανατροφοδότηση από την περιφέρεια. Το αιθουσαίο σύστημα συμμετέχει στον έλεγχο των οφθαλμικών κινήσεων (κινητικό output) και πιο συγκεκριμένα, στην λειτουργία του ομαλά κινούμενου στόχου (μέσω αιθουσο-παρεγκεφαλιδικών συνδέσεων, δεν περιλαμβάνεται στο παρόν πρωτόκολλο), στην σακκαδική λειτουργία (επίσης μέσω αιθουσο-παρεγκεφαλιδικών συνδέσεων) και με το VOR. Η αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας προκαλεί λειτουργικό πρόβλημα ισορροπίας μόνο κάτω από δύσκολες συνθήκες διατήρησης της ισορροπίας ή όταν η λειτουργία του οπτικού ή του ιδιοδεκτικού-σωματοαισθητικού συστήματος διαταράσσεται. Αντίθετα η οξεία μονόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας δημιουργεί σοβαρά λειτουργικά ελλείμματα που απορρέουν από τα θορυβώδη συμπτώματα του ίλιγγου, δηλαδή της ψευδούς αίσθησης κίνησης και περιστροφής, προβλήματα ακοής και όρασης, προσανατολισμού στο χώρο και δυσκολίες συγκέντρωσης και μνήμης.

Η οξεία αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας προκαλεί ως γνωστόν υπερμετρία (overshoot) της βλεμματικής μετατόπισης με σημαντικές συνέπειες στον εντοπισμό του στόχου και μια αστάθεια του βλέμματος μετά το τέλος της σύλληψης του στόχου. Πειραματικά έχει βρεθεί, ήδη από το 1972, σε πιθήκους, ότι μετά από αμφίπλευρη λαβυρινθεκτομή, οι βλεμματικές σακκαδικές κινήσεις (κίνηση του οφθαλμού ως προς την κεφαλή ή σακκάδα και σύγχρονη κίνηση της κεφαλής) εκτείνονται πέραν του στόχου, όταν τα ζώα εντοπίζουν οπτικούς στόχους με την κεφαλή ελεύθερη για κίνηση (Bizzi et al, 1972). Η υπερμετρία του βλέμματος

μπορεί να αποδοθεί σε μια μεγέθυνση της πραγματικής βλεμματικής σακκάδας λόγω της προσθήκης της σύγχρονης περιστροφής της κεφαλής, καθώς και σε μια έλλειψη μιας μετασακκαδικής οφθαλμικής κίνησης που θα αντιστάθμιζε την συνεχιζόμενη κίνηση της κεφαλής (η κίνηση της κεφαλής συνεχίζει για αρκετά ακόμη msec μετά το τέλος της σακκάδας και φέρει το μάτι πέρα από τον στόχο). Η κίνηση της κεφαλής είναι μία δυνητική αιτία για την ανακρίβεια εντοπισμού του στόχου και την έλλειψη σταθεροποίησης του βλέμματος (κατά την μετασακκαδική κίνηση της κεφαλής).

Οι ασθενείς με χρόνια αιθουσαία απώλεια, δηλαδή με απώλεια της λειτουργίας του VOR, επαναποκτούν προσαρμοστικά την ικανότητα να εντοπίζουν στόχο με λειτουργικά κατάλληλες προς τούτο βλεμματικές σακκάδες. Είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν κινήσεις της κεφαλής (πιο αργές και πιο μικρές) για μεγάλες βλεμματικές κινήσεις. Η χρονική σύζευξη των κινήσεων οφθαλμών και κεφαλής είναι παρόμοια με εκείνη των υγιών. Έχουν γίνει υποθέσεις ότι αναπτύσσονται τρεις κυρίως αντισταθμιστικοί μηχανισμοί από άλλες πηγές πληροφορίας, που αντιρροπούν την απώλεια της λειτουργίας του VOR: ένα απαγωγό-εξερχόμενο αντίγραφο κίνησης της κεφαλής στο χώρο (efference copy), ένα ενεργό αυχενικο-οφθαλμικό αντανακλαστικό (Cervico-Ocular Reflex ή COR) που εκλύεται από ιδιοδεκτικά σήματα του αυχένα και ένα από πριν προγραμματισμένο μετασακκαδικό οπισθογύρισμα των ματιών (εάν η συνεισφορά κεφαλής –οφθαλμών στην βλεμματική σακκάδα είναι ήδη γνωστή στην αρχή της κίνησης, τότε το σήμα της επιθυμητής οφθαλμικής σακκαδικής μετατόπισης θα μπορούσε να προσαρμοστεί εκ των προτέρων - είναι ένας μηχανισμός που μπορεί να τροποποιηθεί από την προσπάθεια του ασθενούς και την γνώση της επικείμενης αλλαγής στόχου εντοπισμού), ένα σχέδιο μαθημένης κίνησης (Kasei & Zee, 1978 και Maurer et al, 1998).

Οι ασθενείς ακολουθούν μια στρατηγική χρήσης μεγαλύτερων οφθαλμικών εκκεντρικοτήτων (προκειμένου να αποφύγουν ή να μειώσουν την αυξημένη μετακίνηση της κεφαλής). Αν ακόμα εξαναγκαστούν να κάνουν μεγάλες κινήσεις κεφαλής, παρουσιάζουν αξιοσημείωτα μικρή υποβάθμιση της ακρίβειας ως προς στόχο ή της μετασακκαδικής βλεμματικής σταθερότητας. Οι χρόνιοι ασθενείς εξακολουθούν να κάνουν πολλές υπερμετρίες βλέμματος, σε αρκετές περιπτώσεις ακατάλληλες μετασακκαδικές αργές οφθαλμικές κινήσεις (ακόμη και σε έλλειψη σύγχρονης κίνησης της κεφαλής), καθώς και διορθωτικές σακκάδες (παρά το ότι το βλέμμα βρίσκεται ήδη στον στόχο σύμφωνα με τους Maurer et al, 1998). Συμπερασματικά, το σύστημα βλεμματικών σακκάδων των ασθενών δεν επανακτά

την υψηλή ακρίβεια των υγιών ατόμων, λόγω της έλλειψης του απαραίτητου αιθουσαίου κεφαλή-στο- χώρο σήματος (ακόμα και σε συνθήκες έλλειψης κίνησης της κεφαλής).

Όταν έχει προκύψει αιθουσαία δυσλειτουργία και τα ιδιοδεκτικά σήματα από τον αυχένα στην περίπτωση αυτή αποτελούν ανεπαρκή πηγή πληροφοριών για την κίνηση της κεφαλής στο χώρο (Bronstein and Hood, 1986), τότε μπαίνει το ερώτημα εάν οι ασθενείς αυτοί είναι σε θέση να πραγματοποιούν ‘διαμιάς’ μετατοπίσεις του βλέμματος όταν α) λείπουν πληροφορίες από την όραση για τη θέση του στόχου και β) όταν στην προσήλωση στον στόχο περιλαμβάνεται και περιστροφή του κορμού. Επίσης μπαίνει το ερώτημα εάν οι ασθενείς μπορούν να σταθεροποιήσουν το βλέμμα στο χώρο μετά το πέρας της σακκαδικής κίνησης.

Γνωσιακές συνιστώσες μετατόπισης του βλέμματος

Ο προσανατολισμός στον χώρο για την ευδόωση των αντιληπτικών λειτουργιών (αντίληψη του χώρου) χρειάζεται πληροφορίες τόσο από το οπτικό σύστημα, όσο και από το αιθουσαίο. Οι οπτικές πληροφορίες δίνουν στοιχεία πώς το υποκείμενο είναι προσανατολισμένο σε σχέση με άλλα αντικείμενα.. Οι ημικύκλιοι σωλήνες του αιθουσαίου οργάνου μετρούν την γωνιακή επιτάχυνση της κεφαλής, επιτρέποντας την κωδικοποίηση και την αναπαράσταση της περιστροφικής κίνησης της κεφαλής στο χώρο (οι ωτόλιθοι ενημερώνουν για την γραμμική κίνηση). Τέλος, οι ιδιοδεκτικοί υποδοχείς ανιχνεύουν τάση ή πίεση, ειδικά εκείνοι του αυχένα δίνουν στοιχεία για την κατεύθυνση περιστροφής της κεφαλής και εκείνοι των αστραγάλων στα κάτω άκρα για την κίνηση του σώματος. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του αιθουσαίου συστήματος είναι η πολυτροπική (multimodal) σύγκλιση των σωματοαισθητικών και αισθητηριακών πληροφοριών (Cullen και Roy, 2004)..

Η αλληλεπίδραση μεταξύ του οπτικού και του αιθουσαίου συστήματος είναι απαραίτητη για επαρκή αντίληψη της κίνησης αλλά και για την διάκριση μεταξύ αυτο-κίνησης (self movement) και κίνησης του περιβάλλοντος. Η οπτική αντίληψη της κίνησης είναι δυνατή όταν οι οφθαλμοί κινούνται σε κινούμενο στόχο, στον οπτοκινητικό νυσταγμό ή όταν δεν κινούνται (προσήλωση σε στατικό στόχο) και η επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε ανώτερο γνωσιακό επίπεδο ενέχεται στον δυναμικό χωρικό προσανατολισμό (Brandt et al, 2002). Τα αιθουσαία σήματα δεν

προκαλούν μεμονωμένες συνειδητές αισθήσεις όπως κάνουν τα άλλα αισθητήρια συστήματα, αλλά παίρνουν μέρος σε ποικίλες ανώτερες γνωσιακές λειτουργίες. Η αιθουσαία πληροφορία ενεργοποιεί ανιόντως τον «αιθουσαίο» φλοιό και αναστέλλει τον οπτικό φλοιό. Αντιστρόφως, το οπτικό ερέθισμα κίνησης ενεργοποιεί τον οπτικό φλοιό και αναστέλλει τον αιθουσαίο φλοιό. Αυτή η αμοιβαία ανασταλτική αλληλεπίδραση μπορεί να επιλύει αιθουσαίο-οπτικές αισθητηριακές συγκρούσεις – με την αποτελεσματική σίγαση του ασθενέστερου σήματος- για τον χωρικό προσανατολισμό και την αντίληψη της κίνησης (Brandt et al, 2002).

Τα αιθουσαία σήματα ενέχονται στην ενδο(εαυτό)προσωπική αντίληψη -με την αισθητηριακή πληροφορία της θέσης και της κίνησης του σώματος στο χώρο- καθώς και στην εξω-προσωπική αντίληψη με την αίσθηση της μετατόπισης του περιβάλλοντος ως προς το άτομο (Borel et al, 2008). Η αιθουσαία πληροφορία συμμετέχει στην χωρική αντίληψη (spatial perception) σε ένα ανώτερο επίπεδο αισθητηριακής ενσωμάτωσης. Η εσωτερική χωρική αναπαράσταση (internal spatial representation) ενσωματώνει την αισθητικό-κινητική πληροφορία παρελθόντων εμπειριών, η οποία συνεχώς ανανεώνεται από νέα αισθητικό –κινητική γνώση από τις τρέχουσες εμπειρίες(Borel et al, 2008).

Η επιστροφή σε έναν επιθυμητό οπτικό στόχο περιλαμβάνει την μετατροπή της οπτικής πληροφορίας σε ένα κατάλληλο κινητικό output, με ένα ενδιάμεσο πέρασμα στην βραχύχρονη μνήμη(short term memory). Το τελικό σημείο της ηθελημένης αυτής κίνησης διαχωρίζεται σε δύο παραμέτρους και αποθηκεύεται ξεχωριστά η πληροφορία της απόστασης από το αρχικό σημείο και της κατεύθυνσης του βλέμματος (Georgopoulos, 1991 και Flanders, 1992.) Η αναπαράσταση των παραμέτρων αυτών της κίνησης αποθηκεύεται βραχύχρονα σε ένα πλαίσιο αναφοράς με κέντρο το βλέμμα (gaze –centered) για την πρόθεση επιστροφής σε έναν ενθυμούμενο μη ορατό στόχο (McIntyre, 1998).

Η περιστροφική κίνηση, με ενεργοποίηση της αιθουσαίας λειτουργίας σε συνθήκες σκοταδιού, δεν δείχνει να απαιτεί ιδιαίτερα την γνωσιακή λειτουργία της προσοχής. Γενικά όμως, στην αντίληψη χωρικού προσανατολισμού, η προσοχή είναι απαραίτητη για την κωδικοποίηση, την ανανέωση ή την διατήρηση της χωρικής αναπαράστασης στην μνήμη. Δηλαδή εμπλέκονται διεργασίες σε ανώτερα γνωσιακά επίπεδα (Yardley and Higgins, 1998 και Yardley et al, 2002) .

Η χωρική μάθηση (spatial learning) και περιήγηση(navigation) στηρίζονται στην αισθητηριακή αιθουσαία πληροφορία ακόμα και όταν τα υποκείμενα είναι ακίνητα,

δηλαδή, χωρίς αιθουσαίο ή σωματοαισθητικό ερεθισμό (Brandt et al, 2005). Το αιθουσαίο σύστημα συνδέεται με την χωρική μνήμη (Smith, 1997). Η χωρική μνήμη για τον εντοπισμό στόχου όπως και η λειτουργία της ανάκλησης μπορεί να φέρεται μέσα σε ένα σχετικό πλαίσιο που μοιάζει με αυτό του φυσικού χώρου και αυτή η χωρική αναπαράσταση να κατασκευάζεται περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως η αναπαράσταση του περιβάλλοντος φυσικού χώρου (Hanes, 2006).

Σύμφωνα με τους Buneo και Andersen (2006), σε ένα επίπεδο υψηλότερης τάξης επεξεργασίας της αισθητικής πληροφορίας γίνεται μια ολοκλήρωση, μια μετατροπή (transformation) των αισθητικών πληροφοριών- μέσω της λειτουργίας της προσοχής- σε κινητικές εντολές για οπτικά υποκινούμενες κινήσεις. Αυτή η ολοκλήρωση (interface) συντονίζει τις μετατροπές αυτές και τον σχηματισμό αναπαραστάσεων εσωτερικής κίνησης (intrinsic movement) με την ενσωμάτωση αισθητηρίων (οπτικών, αιθουσαίων) και σωματοαισθητικών πληροφοριών με προηγούμενες και τρέχουσες κινητικές εντολές, ώστε να υπάρχει μια συνεχόμενη εκτίμηση της κατάστασης του σώματος στο χώρο. Αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τα παρόντα, αλλά και τα μελλοντικά σχέδια-προγραμματισμό της κίνησης. Οι χωρικές αναπαραστάσεις του στόχου μπορεί να είναι με επίκεντρο το βλέμμα (gaze-centered) ή το σώμα (body-centered). Εξάλλου, και τα δύο είδη καταλήγουν στο ίδιο κινητικό λάθος (motor error, η διαφορά μεταξύ της θέσης του στόχου και της θέσης του κινούμενου τμήματος του σώματος). Για να κινηθεί κάποιος προς ένα οπτικό στόχο θα πρέπει να συνδυαστεί η οπτική χωρική πληροφορία με εκείνην του σώματος στο χώρο. Επιτελούνται έτσι άμεσα μετατροπές μεταξύ βλέμμα-κεντραρισμένων και σώμα – κεντραρισμένων αναπαραστάσεων, που καταλήγουν στην ενοποίηση των συντεταγμένων των οφθαλμών και του σώματος για την χαρτογράφηση των συντεταγμένων του στόχου στο χώρο και την αποστολή κατάλληλων κινητικών εντολών στους μυς της περιφέρειας.

Γνωσιακά ελλείμματα σε ασθενείς με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας

Οι ασθενείς με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας υποφέρουν συχνά από γνωσιακά ελλείμματα, όπως δυσκολίες συγκέντρωσης. Οι μέχρι σήμερα υπάρχουσες μελέτες έχουν αναδείξει πρωταρχικά διαταραγμένες γνωσιακές

λειτουργίες στην χωρική μάθηση και χωρική μνήμη και έμμεσα διαταραχές επίδοσης σε δοκιμασίες διπλού γνωσιακού έργου (dual tasks).

Οι ασθενείς με BVL αναφέρουν δυσκολίες στον χωρικό προσανατολισμό. Αυτό μπορεί να έχει σχέση με έλλειμμα στο επίπεδο της ενσωμάτωσης των χωρικών πληροφοριών και με αλλαγές επεξεργασίας της πληροφορίας σε υψηλότερο επίπεδο (αδυναμία ανανέωσης της χωρικής αναπαράστασης του εξωτερικού χώρου και της κίνησης του σώματος, Hanes and McCollum, 2006). Οι ασθενείς έχουν επίσης διαταραγμένη χωρική μάθηση και ελλείμματα χωρικής μνήμης. Στην μελέτη των Schautzer et al (2003), είχαν μειωμένη επίδοση στην εικονική (σε ηλεκτρονικό υπολογιστή) προσομοίωση του Morris water task (συμπεριφορική διαδικασία, με υποκείμενα τα τρωκτικά), η οποία ελέγχει την χωρική μάθηση και μνήμη σε απουσία σωματοαισθητικών ή αιθουσαίων αισθητικών πληροφοριών. Σύμφωνα με τους Brandt et al (2005), οι BVL ασθενείς έχουν προβλήματα χωρικής μνήμης και μειωμένη ικανότητα περιήγησης, ακόμα και όταν δεν είναι απαραίτητος ο αιθουσαίος ερεθισμός στο γνωσιακό έργο, ενώ η γενική μνήμη είναι άθικτη. Τα παραπάνω ελλείμματα έχουν συνδεθεί με εγκεφαλική ατροφία και μειωμένη δραστηριότητα στην περιοχή του ιπποκάμπου, μια περιοχή που θεωρείται ότι εμπλέκεται στην χωρική μάθηση και μνήμη.

Οι ασθενείς με BVL δείχνουν να έχουν δυσκολίες στην επίδοση σε διπλά γνωσιακά έργα, όπως είναι η σύγχρονη επίδοση αριθμητικού έργου συγχρόνως με έργο προσανατολισμού ή ισορροπίας (Yardley et al, 2001, 2002). Ωστόσο, έχουν γίνει λίγες μελέτες που να στηρίζουν συγκεκριμένες υποθέσεις, λόγω δυσκολίας σχεδιασμού κατάλληλων διπλών tasks, ειδικά για αυτούς τους ασθενείς (McCall and Yates, 2011).

Τέλος, να αναφερθεί ότι, επειδή τα αιθουσαία σήματα συνεισφέρουν στην ικανότητα χωρικής οργάνωσης της πληροφορίας, οι ασθενείς με διαταραγμένη αιθουσαία λειτουργία έχουν ένα έλλειμμα στην αριθμητική ικανότητα, στην χωρική αναπαράσταση της αλληλουχίας αριθμών σε φθίνουσα σειρά (Η σειρά της πληροφορίας σε αύξουσα και φθίνουσα μορφή μέτρησης –mental number line– αναπαριστά μια βασική μορφή χωρικής οργάνωσης, που απαιτεί χωρική στρατηγική), όπως ελέγχθηκε σε γνωσιακό έργο από τους Risey και Brisner (1990). Επίσης, η αιθουσαία χωρητικότητα ενέχεται φυσιολογικά στην ανάγνωση. Αυτή περιλαμβάνει μια αργή σταθερή κίνηση της κεφαλής από την μια άκρη στην άλλη και μια σύγχρονη αλληλουχία οφθαλμικών σακκάδων (Lee, 1999). Κατά την διάρκεια της προσήλωσης

σε μια μεμονωμένη λέξη, το ενεργοποιούμενο VOR διατηρεί το βλέμμα σταθερό σε αυτήν. Οι BVL ασθενείς αντισταθμίζουν το έλλειμμα στο σύνθετο έργο της ανάγνωσης, με το να κρατάνε ακίνητη την κεφαλή και να μετακινούν το βλέμμα με οφθαλμικές σακκάδες μόνο (Pozzo et al, 1991).

Κριτήρια επιλογής του πειραματικού σχεδιασμού

Με το παρόν πρωτόκολλο, τέθηκε ως συμπεριφορικό παράδειγμα το αίτημα προς τα υποκείμενα να εντοπίσουν απρόβλεπτα εμφανιζόμενους ορατούς και μη ορατούς, στο οριζόντιο επίπεδο, στόχους και να επιστρέψουν στην αρχική κεντρική θέση κάτω από προβλεπόμενες χωρικά συνθήκες μέχρι 180 μοίρες. Η πρόβλεψη αναφέρεται εδώ στη θέση στο χώρο. Το πρωτόκολλο υλοποιήθηκε σε συνθήκες σκότους ώστε τα υποκείμενα να είναι στερημένα από μια αναφορά οπτικού χώρου (αναμενόμενη χειροτέρευση της αίσθησης του σώματος στο χώρο και των αντικειμένων στο εξωτερικό περιβάλλον). Με αυτόν τον τρόπο κινητοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετατοπίσεων αυτών του βλέμματος και ο κορμός(θώρακας-κοιλιακή χώρα) και τα πόδια, δηλαδή τμήματα του σώματος με αυξημένη αδράνεια και αναδείχθηκε το πρότυπο της κινητικής συνέργειας των τμημάτων του σώματος, δηλαδή των οφθαλμών, της κεφαλής, του κορμού και των κάτω άκρων. Αναδείχθηκαν τα πρότυπα κίνησης των οφθαλμών. Επίσης το συγκεκριμένο συμπεριφορικό παράδειγμα επέτρεψε να δούμε αν οι πρόσθετες κινήσεις του κορμού και των κάτω άκρων επηρεάζουν τις παραμέτρους του βλέμματος (ως bottom-up διαδικασία) ή αν αντίθετα ο έλεγχος του βλέμματος είναι σχετικά ανεξάρτητος από τις μεμονωμένες κινήσεις των συμμετεχόντων τμημάτων του σώματος.(δηλαδή ως top-down μηχανισμός).

Στην παρούσα μελέτη επανεξετάζεται -εν τη απουσία του- ο «αντισταθμιστικός» ρόλος του VOR στις μεγάλες μετατοπίσεις βλέμματος, όπου φυσιολογικά οι γρήγορες νυσταγμικές φάσεις συνεισφέρουν στην μετατόπιση βλέμματος και στην επίτευξη του στόχου (Barnes 1979, Collewijn, 1977).

Ακόμα, αποσυνδέθηκε η κίνηση της κεφαλής-ως προς-τον κορμό από την κίνηση της κεφαλής-στο-χώρο για να αναδειχθεί η σχετική συνεισφορά του αυχενικό-

οφθαλμικού αντανακλαστικού στις βραδείες αντισταθμιστικές κινήσεις των οφθαλμών κατά την διάρκεια της μετασακκαδικής σταθεροποίησης του βλέμματος. Στις παλαιότερες μελέτες που δεν περιελάμβαναν την κίνηση του κορμού, δεν μπορούσε να γίνει γνωστό αν παίζει κάποιο ρόλο η εισερχόμενη πληροφορία από τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς των μυών και των αρθρώσεων του αυχένα. Στη παρούσα μελέτη διερευνάται αν τα σήματα ελέγχου των αυχενικών μυών μπορούν να επηρεάσουν την δυναμική της βλεμματικής μετατόπισης(Freedman, 2001).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ασθενείς και ομάδα ελέγχου φυσιολογικών ατόμων (control)

Επτά ασθενείς, πέντε άνδρες και δύο γυναίκες, ηλικίας 52,7 +/- 10,7 χρόνων, (μέσος όρος ηλικίας +/- σταθερή απόκλιση σε έτη) με διαπιστωμένη απώλεια αιθουσαίας λειτουργίας αμφοτερόπλευρα (πίνακες 1 και 2, βλ. παράρτημα) συγκρίθηκαν με 10 υγιείς ενήλικες από μια προηγούμενη έρευνα (ηλικίας 52 +/- 2,6 χρόνια, επτά άνδρες, τρεις γυναίκες, Anastasopoulos et al., 2009). Οι ασθενείς επιλέχθηκαν προσεχτικά, μετά από πλήρη κλινικό και εργαστηριακό έλεγχο που επιβεβαίωσε την πάθηση. Κανένας δεν φορούσε γυαλιά και όλοι βρίσκονταν σε καλή φυσική κατάσταση. Σε όλους επικρατούσε το δεξί χέρι και πόδι.

Πρωτόκολλο και απόκτηση των δεδομένων

Ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να σταθούν στο σκοτάδι (για να μην βλέπουν άλλα οπτικά ερεθίσματα και βγάζουν συμπεράσματα ως προς την θέση τους στο χώρο), όρθιοι, στο κέντρο δέσμης διόδων (LEDs, Σχήμα 2). Οι δίοδοι σχημάτιζαν κύκλο διαμέτρου 1,2μέτρα και απείχαν μεταξύ τους 45 μοίρες, δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν συνολικά οκτώ φωτεινοί στόχοι. Αρχικά σε κάθε δοκιμή, ο εξεταζόμενος ήταν στραμμένος -με ευθυγραμμισμένα οφθαλμούς, κεφαλή, κορμό και πόδια- προς τον αναμμένο κεντρικό στόχο (0 μοίρες), ο οποίος στη συνέχεια (μετά

από 10 δευτερόλεπτα) έσβηνε και τότε άναβε τυχαιοποιημένα ένας από τους άλλους επτά (στις 45, 90, 135 μοίρες δεξιά ή αριστερά και στις 180 μοίρες). Ο εξεταζόμενος έπρεπε να στραφεί προς το νέο αυτό έκκεντρο στόχο και να ευθυγραμμίσει στη νέα κατεύθυνση οφθαλμούς-κεφαλή-κορμό και κάτω άκρα (απρόβλεπτη δοκιμή). Ακολούθως (μετά από 15 δευτερόλεπτα) έσβηνε και αυτός ο στόχος και ο εξεταζόμενος έπρεπε τώρα να στραφεί εκ μνήμης(στην περίπτωση γωνιακής απόστασης 90, 135 και 180 μοιρών) προς τον προηγούμενο, στην περίπτωση αυτή, μη ορατό, κεντρικό στόχο (προβλεπόμενη δοκιμή), (Σχήματα 2-6, βλ. Παράρτημα). Τα υποκείμενα έκαναν τέσσερις δοκιμές σε κάθε LED στόχο, τυχαιοποιημένα χωρικά, ελεύθερα ως προς την ταχύτητα (δεν μας ενδιέφεραν οι κατά το δυνατό γρήγορες κινήσεις, ζητήσαμε από τα υποκείμενα να εστιάζουν στον στόχο με μια σχετικά «χαλαρή» οδηγία, γιατί μας ενδιέφερε πιο πολύ να αναλύσουμε την ποικιλία των οφθαλμικών και βλεμματικών προτύπων κίνησης στα πλαίσια της μεγάλης μετατόπισης βλέμματος, παρά να πιέσουμε τα υποκείμενα να επιταχύνουν όσο πιο πολύ μπορούν). Οι δοκιμές σε στόχους 45 μοιρών είναι εφικτές με οδηγό την όραση, ενώ στις δοκιμές των 90, 135, και 180 μοιρών ο στόχος δεν είναι αρχικά ορατός και δεν δίδεται στους ασθενείς κανένα στοιχείο ούτε για την θέση του στις απρόβλεπτες δοκιμές, ούτε για την κατεύθυνση στροφής. Στις προβλεπόμενες στροφές γνώριζαν πάντως την θέση του κεντρικού στόχου.

Η κίνηση στο οριζόντιο επίπεδο της κεφαλής (στον χώρο), του κορμού (άνωτερο τμήμα) και του δεξιού και αριστερού κάτω άκρου έχει καταγραφεί με σύστημα μαγνητικής επαγωγής ανάλυσης της κίνησης (Polhemus Fastrak, 30Hz, latency 4ms, accuracy 0.15 RMS), με δείκτες (markers) πάνω σε ένα ελαφρύ κράνος, στην ακανθώδη απόφυση του έβδομου αυχενικού σπονδύλου και ραχιαία σε κάθε άκρο πόδα. Η οριζόντια κίνηση των οφθαλμών (οφθαλμός στην κεφαλή) καταγράφηκε με ηλεκτροοφθαλμογραφία (HOG, τοποθετήθηκαν ηλεκτρόδια στους δύο κροτάφους). Κάναμε συχνά βαθμονόμηση (calibrations) οφθαλμών και οφθαλμών-κεφαλής ζητώντας από τα υποκείμενα να στρέφουν οριζόντια την κεφαλή τους προς ορατούς στόχους των 45 μοιρών (Συσχέτιση της HOG με το σήμα από τον δείκτη της κεφαλής και επιβεβαίωση ότι η HOG μεταβάλλεται γραμμικά με την μετατόπιση του οφθαλμού σε τροχιά ως τις 45 μοίρες).

Τα σήματα από το ανοιγοκλείσιμο των LEDs, το HOG και τους δείκτες της θέσης σώματος λήφθηκαν στα 240 Hz, εισήχθησαν -αφού πρώτα έγινε ψηφιοποίησή τους(AD conversion)- σε ηλεκτρονικό υπολογιστή προς αποθήκευση για off-line

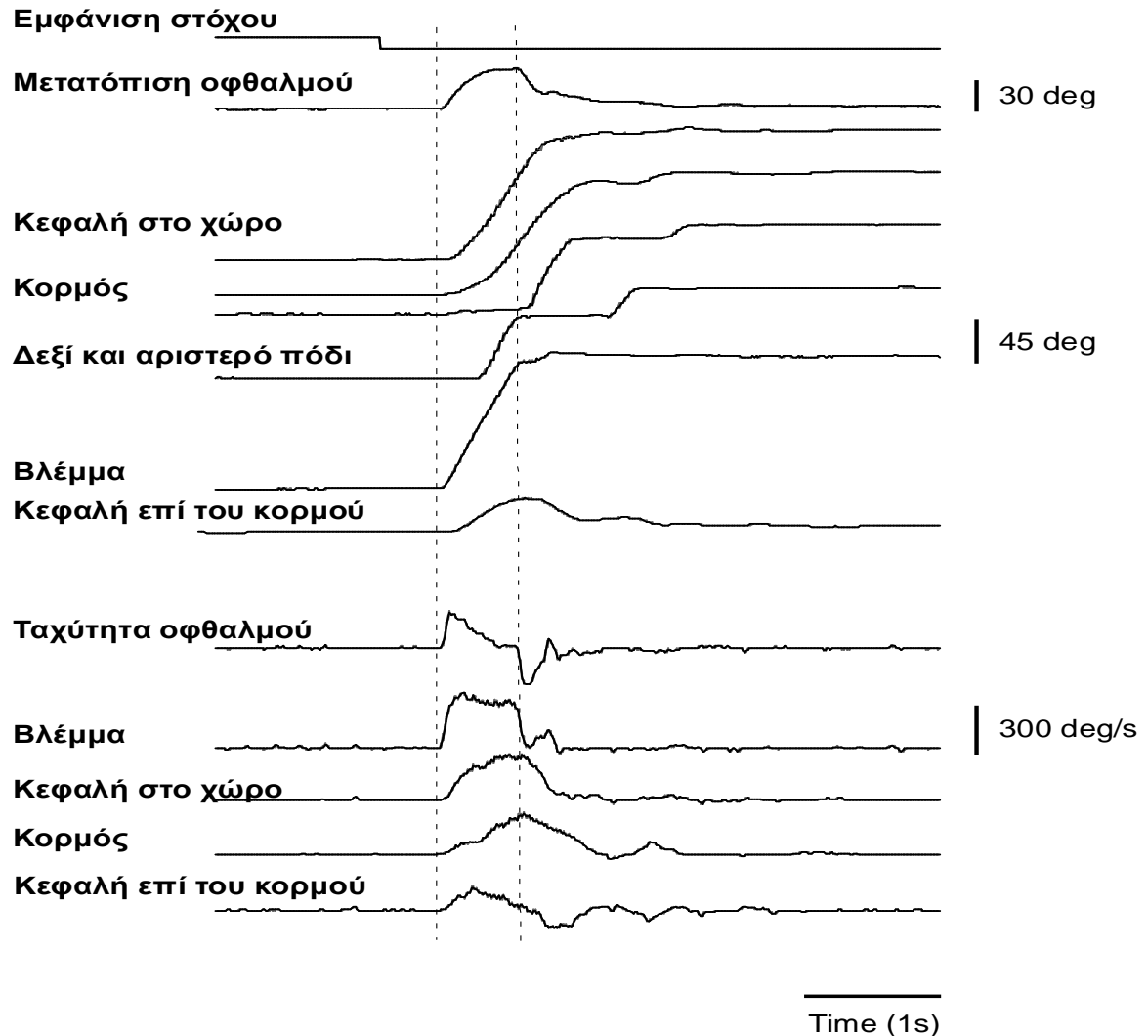
ανάλυση. Με κατάλληλο λογισμικό μελετήθηκαν οι λανθάνοντες χρόνοι έναρξης της κίνησης οφθαλμών, κεφαλής, κορμού και κάτω άκρων. Επίσης μελετήθηκε η μετατόπιση (μεταβολή της θέσης στο χρόνο) στο οριζόντιο επίπεδο του κάθε τμήματος του σώματος ξεχωριστά.. Η μετατόπιση βλέμματος αποκτήθηκε από την πρόσθεση των σημάτων της ΗΟΓ και της κεφαλής μετά από κατάλληλο scaling. Το σήμα για την κίνηση της κεφαλής -ως προς- κορμό υπολογίστηκε από την αφαίρεση του σήματος του κορμού από το σήμα της κεφαλής (στο χώρο). Η ταχύτητα της κίνησης για τα ποικίλα τμήματα του σώματος υπολογίστηκε από την πρώτη παράγωγο της μετατόπισης. Εφαρμόστηκε ένα Savitzky- Golay φίλτρο για εξομάλυνση μετρήσεων των off-line ταχυτήτων από όλα τα ίχνη θέσης έτσι ώστε να μην εξαιρεθούν συστατικά στοιχεία σήματος υψηλής συχνότητας (ως 25 Hz).

Στατιστική

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με Repeated Measures ANOVA, με την προβλεψιμότητα στόχου (απρόβλεπτη-προβλεπόμενη ή επιστροφής), το εύρος του στόχου(45-90-135-180 μοίρες), την ορατότητα του στόχου(45 έναντι 90-135-180 μοίρες) και τα τμήματα του σώματος (οφθαλμός-κεφαλή-κορμός-πόδια) ως within subject repeated measures παράγοντες. Οι απαντήσεις στους στόχους των 270 και 225 μοιρών ενσωματώθηκαν με εκείνες των 90 και 135 μοιρών αντίστοιχα. Οι ασθενείς ομαδοποιήθηκαν έναντι των φυσιολογικών ως between subjects repeated measures παράγοντας. Η σύγκριση των παραμέτρων με φυσιολογικά άτομα ποσοτικοποιεί τις αποκλίσεις και έτσι ελπίζεται να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τους υποκείμενους μηχανισμούς. Να προστεθεί ακόμα ότι έχουν εξαιρεθεί από την στατιστική επεξεργασία αρκετές δοκιμές (απρόβλεπτες) όπου τα υποκείμενα στρέφονταν-αναζητώντας τον μη ορατό στόχο- πρώτα στην λάθος κατεύθυνση και αφού συνειδητοποιούσαν το λάθος τους, κινούνταν απότομα προς τα πίσω, προς την αντίθετη κατεύθυνση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

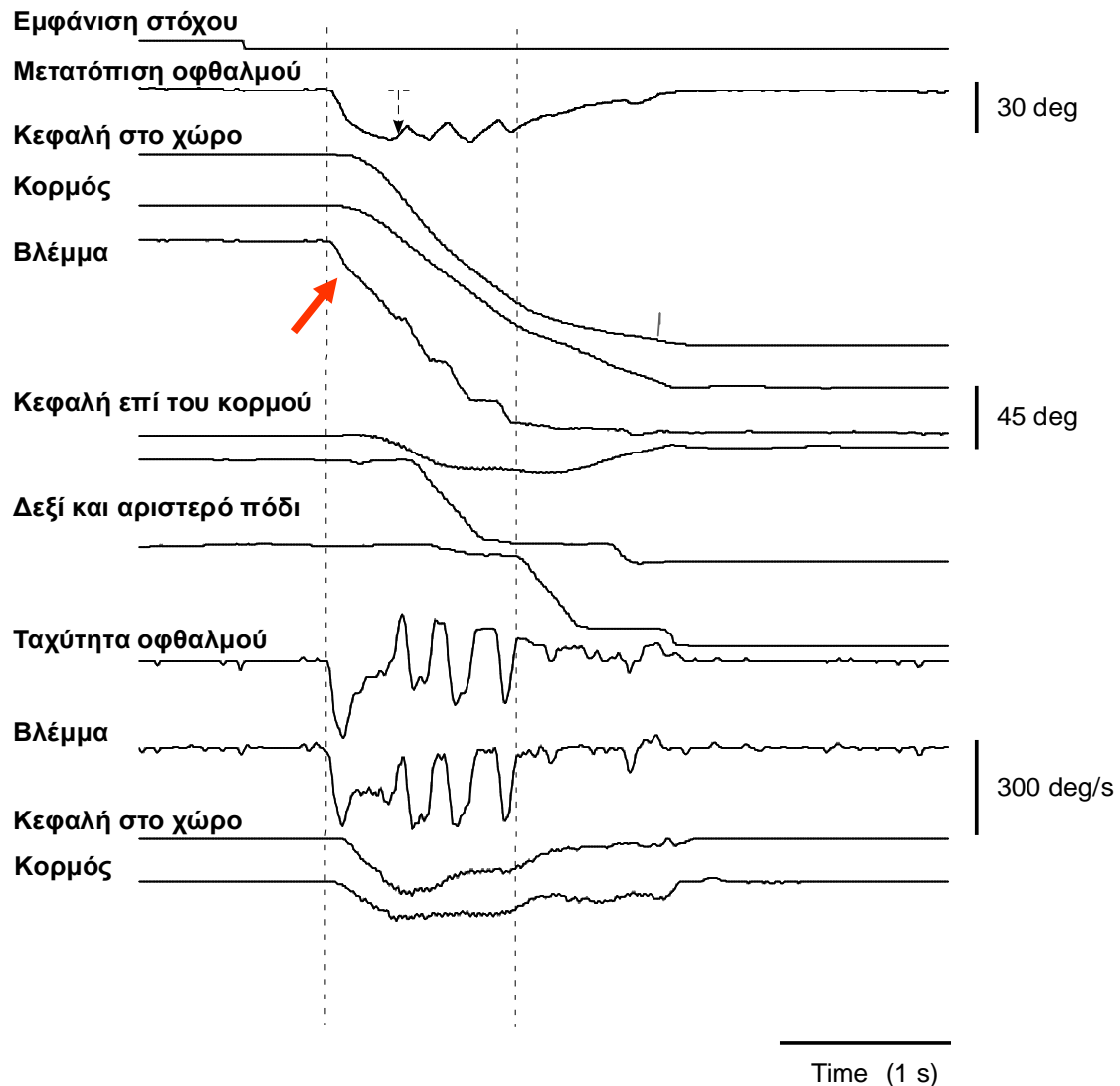
Πρότυπο των εκουσίων περιστροφών



Σχήμα 7: Επιστροφή(προς τα δεξιά) σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών «διαμιάς»(single step) υγιούς ατόμου (προβλέψιμη δοκιμή).

Το πρώτο ίχνος δείχνει πότε εμφανίζεται ο στόχος, τα επόμενα έξι αναπαριστούν τις καταγραφές των μετατοπίσεων του οφθαλμού στον κόγχο, της κεφαλής στο χώρο, της κεφαλής στον κορμό, του κορμού, του ποδιού που κινήθηκε πρώτο (δεξιό ή αριστερό) και του βλέμματος. Τα κατώτερα πέντε ίχνη αναπαριστούν τις καταγραφές των ταχυτήτων του οφθαλμού, της κεφαλής στο χώρο, της κεφαλής στον κορμό και του κορμού. Η πρώτη και η δεύτερη κάθετος διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχούν στην έναρξη και τον τερματισμό της αρχικής βλεμματικής μετατόπισης.

Όλες οι δοκιμές υγιών και ασθενών καταγράφηκαν και μελετήθηκαν τα ίχνη των μετατοπίσεων και των ταχυτήτων των μερών του σώματος που συνεργάστηκαν στον εντοπισμό του στόχου με περιστροφική κίνηση του σώματος. Οι δοκιμές ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο αν ο εντοπισμός του στόχου γίνεται από το υποκείμενο «διαμιάς» (single step) ή μετά από «πολλαπλά βήματα»(multiple step). Η ομαδοποίηση αυτή ανέδειξε δύο χαρακτηριστικά σχέδια (patterns) της μετατόπισης και της ταχύτητας του βλέμματος. Έτσι σε καταγραφές επιστροφής σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών «διαμιάς»(single step) υγιούς ατόμου (σχήμα 7) φαίνεται ότι ο οφθαλμός κινήθηκε πρώτος περίπου στις 38 μοίρες, με μια σακκαδική ταχύτητα που γρήγορα έφτασε στην κορυφαία της τιμή, ενώ η ταχύτητα κεφαλής ήταν ακόμα χαμηλή. Την γρήγορη κίνηση των οφθαλμών ακολουθούν με καθυστέρηση η κεφαλή, ο κορμός και τα κάτω άκρα. Καθώς ο οφθαλμός προσέγγιζε την έκκεντρη θέση των 38 μοιρών στον κόγχο, η αρχική βλεμματική μετατόπιση, που είχε διαγράψει πάνω από το 85% του στόχου, τερματίστηκε (ταχύτητα βλέμματος κατά προσέγγιση μηδενική) από μια αντισταθμιστική περιστροφική κίνηση των οφθαλμών με κατεύθυνση προς την αρχική κεντρική θέση. Η επίτευξη του στόχου ολοκληρώθηκε και διατηρήθηκε με την συνεχιζόμενη κίνηση της κεφαλής(στον χώρο) και του κορμού προς τον στόχο, που αντισταθμίστηκε από την δεύτερη αυτή διορθωτική σακκαδική κίνηση (θεωρείται ότι επάγεται από την επανενεργοποίηση του κατεσταλμένου VOR). Η μείωση στην ταχύτητα της κεφαλής επί του κορμού αντισταθμίστηκε επίσης από μια αύξηση της ταχύτητας του κορμού, ώστε η ταχύτητα του βλέμματος να παραμένει περίπου σταθερή από αυτές των άλλων συμμετεχόντων τμημάτων για χρονικό διάστημα περισσότερο από 500ms. Από τα ίχνη της μετατόπισης της κεφαλής στον χώρο, της κεφαλής επί του κορμού και του κορμού προκύπτει ότι η μετακίνηση της κεφαλής με τον αυχένα καλύπτει μικρό μόνο μέρος της μετατόπισης, περίπου 30 μοίρες.

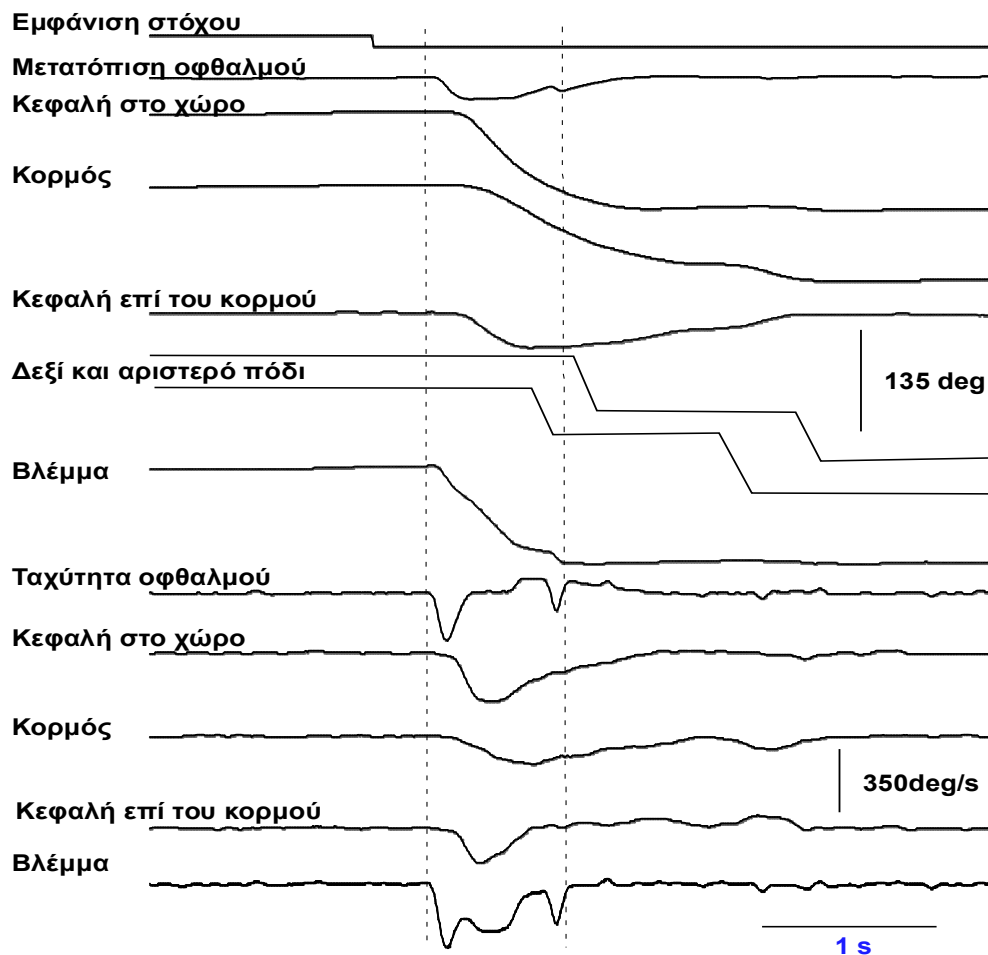


Σχήμα 8: Επιστροφή(προς τα αριστερά) σε στόχο μη ορατό στις 135 μοίρες με «πολλαπλά βήματα»(multiple step) υγιούς ατόμου(προβλέψιμη δοκιμή). Πρώτη και δεύτερη κάθετος διακεκομμένη γραμμή η έναρξη και ο τερματισμός της βλεμματικής μετατόπισης.

Σε καταγραφές επιστροφής σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών με «πολλαπλά βήματα»(multiple step) υγιούς ατόμου (Σχήμα 8) φαίνεται ότι, αφού ο οφθαλμός προσέγγισε γρήγορα την έκκεντρη θέση των 30 μοιρών στον κόγχο και η κεφαλή μετατοπίστηκε κατά περίπου 25 μοίρες, η αρχική βλεμματική μετατόπιση –μικρότερη του 50% της συνολικής μετατόπισης-τερματίστηκε από μια αντίθετης κατεύθυνσης περιστροφική κίνηση των οφθαλμών, πιθανώς ενεργοποιούμενη από το VOR. Στη συνέχεια το βλέμμα συνέχισε να μετακινείται με διαδοχικά βήματα προς τον στόχο από το άθροισμα της μετατόπισης της κεφαλής (στο χώρο) και επαναλαμβανόμενων γρήγορων κινήσεων του οφθαλμών. Οι τελευταίες ήταν διαχωριζόμενες από

παρεμβαλλόμενες, αντίθετης κατεύθυνσης, αργές φάσεις παρομοίου εύρους. Η ταχύτητα των αργών οφθαλμικών φάσεων ήταν περίπου ίση και αντίθετη με την ταχύτητα της κεφαλής (στον χώρο), έτσι ώστε το βλέμμα να σταθεροποιείται σε ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα για λίγο στον χώρο. Τα υποκείμενα συνέχισαν να περιστρέφουν την κεφαλή επί του κορμού, μέχρι την επίτευξη του στόχου, έτσι ώστε η μέγιστη μετατόπιση της κεφαλής επί του κορμού να συμπίπτει με τον χρόνο επίτευξης του στόχου. Η χαρακτηριστική αυτή μετατόπιση του βλέματος προς τον μη ορατό στόχο, με τις επαναλαμβανόμενες ταχείες φάσεις των οφθαλμών και την παράλληλη μετατόπιση της κεφαλής στον χώρο, υποθέτουμε ότι διαμεσολαβείται από το VOR (αιθουσαίος νυσταγμός).

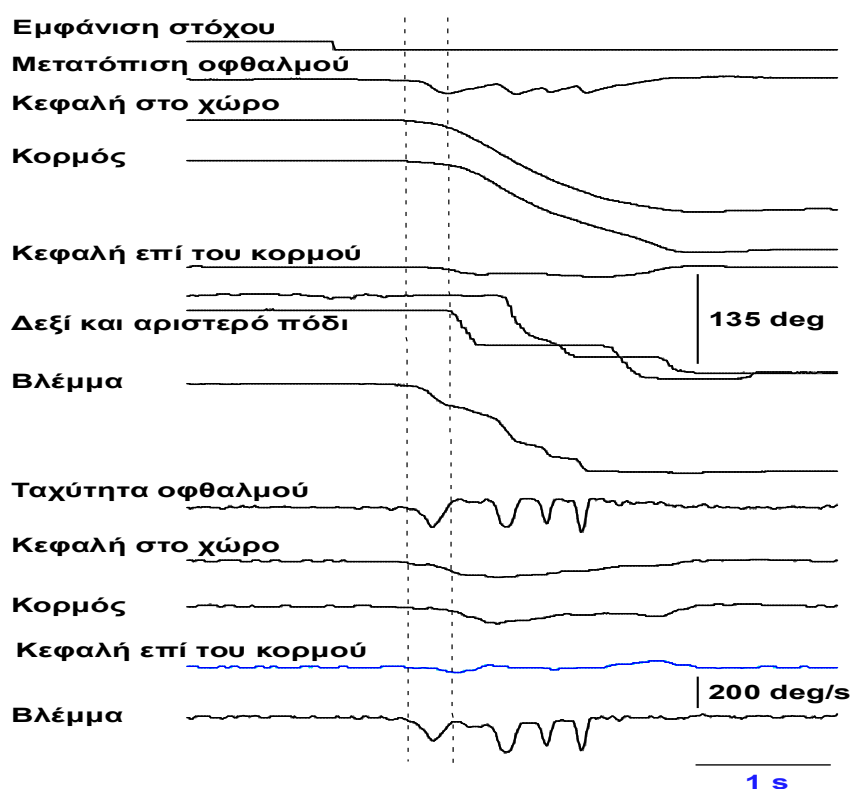
Καταγραφές από ασθενείς



Σχήμα 9: Επιστροφή(προς τα αριστερά) σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών «διαιάς»(single step) ασθενούς (προβλέψιμη δοκιμή). Η πρώτη και η δεύτερη κάθετος διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχούν στην έναρξη και τον τερματισμό της βλεμματικής μετατόπισης.

Καταγράφηκαν δοκιμές επιστροφής σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών «διαμιάς»(single step) και σε ασθενείς με αμφοτερόπλευρη απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας (σχήμα 9). Ο οφθαλμός κινήθηκε και πάλι πρώτος προς τα εμπρός, με μια σακκαδική ταχύτητα που γρήγορα έφτασε στην κορυφαία της τιμή, ενώ η ταχύτητα κεφαλής ήταν ακόμα χαμηλή. Την γρήγορη κίνηση των οφθαλμών ακολουθούν με καθυστέρηση η κεφαλή, ο κορμός και τα κάτω άκρα. Καθώς ο οφθαλμός προσέγγισε την θέση των 30 μοιρών στον κόγχο, η αρχική βλεμματική μετατόπιση που είχε διαγράψει πάνω από το 85% του στόχου, τερματίστηκε (ταχύτητα βλέμματος μηδενική) από μια αντισταθμιστική περιστροφική κίνηση των οφθαλμών με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το βλέμμα σταθεροποιείται, αλλά η κεφαλή(στο χώρο) εξακολουθεί να μετακινείται και οι οφθαλμοί να αντισταθμίζουν την κίνηση αυτή. Τίθεται τότε το ερώτημα πώς γίνεται αυτό, από πού λαμβάνεται η πληροφορία δηλαδή κίνησης της κεφαλής, αφού το VOR είναι κατηρηγμένο; Θα μπορούσε να είναι από την περιοχή του αυχένα, δηλαδή να προσάγεται πληροφορία από την καταγραφή της κεφαλής επί του κορμού; Από το σχήμα 9 φαίνεται, όμως, ότι τότε η ταχύτητα της κεφαλής επί του κορμού είναι μηδενική. Άρα δεν υπάρχει προσαγόμενη πληροφορία από τον αυχένα.

Από τα ίχνη της μετατόπισης της κεφαλής στον χώρο, της κεφαλής επί του κορμού και του κορμού προκύπτει ότι η μετακίνηση της κεφαλής με τον αυχένα καλύπτει μικρό μόνο μέρος της μετατόπισης, περίπου 30 μοίρες.



Σχήμα 10: Επιστροφή(προς τα αριστερά) σε στόχο μη ορατό στις 135 μοίρες με «πολλαπλά βήματα»(multiple step) ασθενούς (προβλέψιμη δοκιμή). Η πρώτη και η δεύτερη κάθετος διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχούν στην έναρξη και τον τερματισμό της αρχικής βλεμματικής μετατόπισης.

Και στις καταγραφές επιστροφής σε στόχο μη ορατό 135 μοιρών με «πολλαπλά βήματα»(multiple step) ασθενούς (σχήμα 10) φαίνεται ότι, η αρχική βλεμματική μετατόπιση –μικρότερη των 40 μοιρών της συνολικής μετατόπισης- τερματίστηκε από μια αντίθετης κατεύθυνσης περιστροφική κίνηση των οφθαλμών. Στη συνέχεια το βλέμμα συνέχισε να μετακινείται με διαδοχικά βήματα προς τον στόχο από το άθροισμα της μετατόπισης της κεφαλής (στο χώρο) και επαναλαμβανόμενων εναλλασσόμενων γρήγορων και αργών φάσεων παρομοίου εύρους και αντίθετης κατεύθυνσης κινήσεων του οφθαλμών, ενώ στα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα σταθεροποιείται για λίγο στον χώρο (ταχύτητα βλέμματος μηδενική). Και εδώ η καταγραφόμενη ταχύτητα της κεφαλής επί του κορμού είναι μηδενική τόσο στα παραπάνω ενδιάμεσα βήματα, όσο και όταν ο ασθενής έχει πιάσει το στόχο. Επομένως και πάλι δεν χρησιμοποιούνται εισερχόμενες πληροφορίες από τον αυχένα για την αντισταθμιστική κίνηση των οφθαλμών. Το έργο του εντοπισμού μη ορατού στόχου είτε απρόβλεπτα, είτε προβλέψιμα, δεν στηρίζεται σε προσαγόμενη πληροφορία σε κύκλωμα ανάδρασης, ούτε από το αιθουσαίο σύστημα αλλά ούτε και από τον αυχένα κατά την διάρκεια της περιστροφικής κίνησης. Υποθέτουμε λοιπόν ότι το οπισθογύρισμα των οφθαλμών-που μοιάζει με νυσταγμό-είναι προγραμματισμένο από πριν σαν σχέδιο κίνησης, από ένα απαγωγό, εξερχόμενο αντίγραφο κίνησης της κεφαλής (υπάρχει στον εγκέφαλο σε άγνωστη περιοχή).

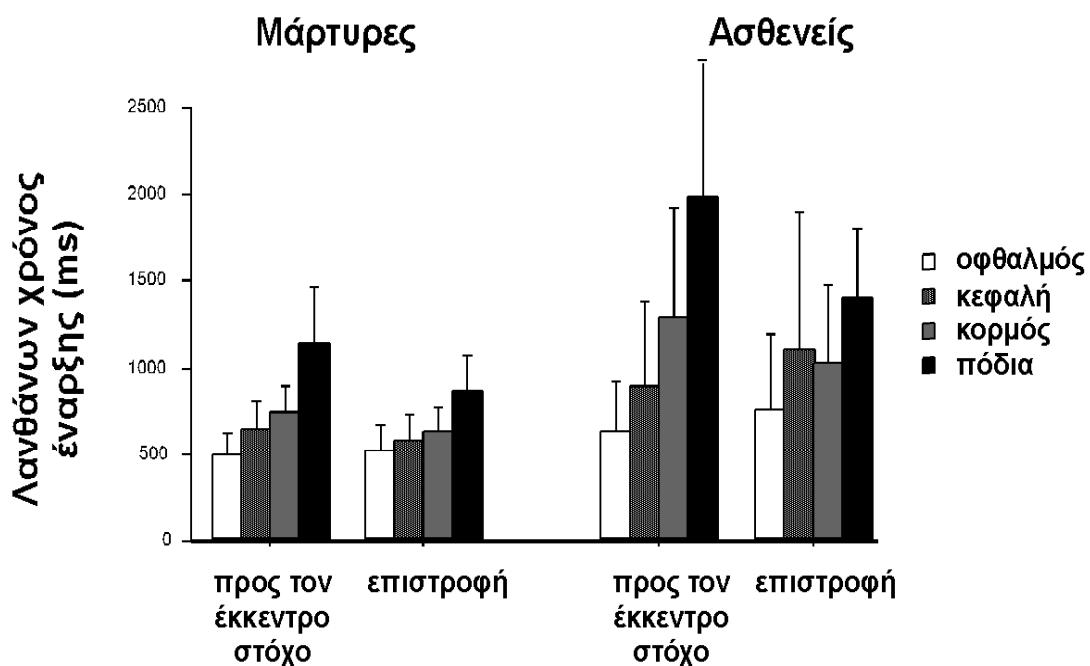
Γενικά, οι λανθάνοντες χρόνοι, η κινηματική και η συνεισφορά των τμημάτων εξαρτήθηκαν από την θέση του στόχου και την προβλεψιμότητά του, αλλά τα πρότυπα κίνησης στις απρόβλεπτες και στις προβλέψιμες μετατοπίσεις ήταν παρόμοια. Υπολογίσαμε διάφορες ποσοτικές παραμέτρους για να απαντήσουμε σε βασικά ερωτήματα που αφορούσαν στους ασθενείς όπως:

- 1) Ο χρόνος έναρξης της κίνησης των διαφόρων τμημάτων του σώματος ήταν ίδιος ή διαφορετικός;
- 2) Οι ταχύτητες οφθαλμών, κεφαλής, κορμού, μιμούνται αυτές των φυσιολογικών ατόμων ή μπορεί να είναι μικρότερες;
- 3) Διατηρήθηκε η συνέργεια των τμημάτων ή άλλαξε;
- 4) Ο Χρόνος επίτευξης του στόχου είναι ίδιος ή μεγαλύτερος;

5) Εκτελούν το ίδιο εύκολα οι ασθενείς εντοπισμό του μη ορατού στόχου «διαμιάς»;

Λανθάνοντες χρόνοι (latencies)

Εκτιμήθηκαν οι επιδράσεις της θέσης στόχου, της ορατότητάς του ή μη και της προβλεψιμότητάς του στον χρόνο έναρξης της κίνησης



Σχήμα 11: Διαφορές των λανθανόντων χρόνων έναρξης κίνησης των οφθαλμών, κεφαλής, κορμού και κάτω άκρων, σε δοκιμές απρόβλεπτες (προς τον έκκεντρο στόχο) και προβλέψιμες (επιστροφής), σε στόχους ορατούς έναντι μη ορατών (90,135 και 180 μοίρες), ως within subject repeated measures παράγοντες, σε υγιείς μάρτυρες και ασθενείς (BVL). Ο Λανθάνων χρόνος έναρξης με repeated measures ANOVA ήταν συνολικά σημαντικά αυξημένος στους ασθενείς (μέσος όρος και μπάρες +/- τυπικής απόκλισης σφάλματος).

Γενικά στο σύνολο των δοκιμών, οι ασθενείς κινήθηκαν συνολικά πιο αργά από τους υγιείς (αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό με F value 9.3 και p 0.008, Σχήμα11). Επίσης, σε όλες τις δοκιμές και σε όλα τα υποκείμενα ο οφθαλμός κινήθηκε πιο γρήγορα και τα άλλα τρία τμήματα πιο αργά. Στους ασθενείς όλα τα τμήματα

κινήθηκαν πιο αργά (σχήμα 11, αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό με F value 15 και $p = 0.0001$). Η μετατόπιση του βλέμματος ξεκινάει πιο γρήγορα στις δοκιμές επιστροφής και στις δύο ομάδες. Οι ασθενείς είναι χειρότεροι γενικά σε όλες τις δοκιμές αλλά χωρίς ιδιαίτερη διαφορά μεταξύ απρόβλεπτων και προβλέψιμων (αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό με F value 10.1 και $p = 0.0006$).

Και στις δύο ομάδες οι επιστροφές οφθαλμού-κεφαλής- κορμού γίνονται πιο πολύ en bloc. Παρατηρούμε επίσης ότι η κεφαλή αργεί περισσότερο σε σχέση με τον κορμό (σχήμα 11, αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό με F value 5.2 και $p = 0.0004$). Ο λανθάνων χρόνος αυξάνει αναλογικά με την αύξηση της γωνιακής απόστασης του στόχου (90, 135 και 180) και στις δύο ομάδες (αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό με F value 6.2 και $p = 0.02$).

Εύρος οφθαλμικής σακκάδας

Δεν υπάρχει διαφορά στο εύρος της οφθαλμικής σακκάδας μεταξύ ασθενών και μαρτύρων. Και οι δύο ομάδες έχουν αρχική οφθαλμική σακκάδα στις 30 μοίρες (μέγιστο οι 35 μοίρες, οι φυσιολογικοί με μέσο όρο. $30,8 \pm 7,0$ και οι ασθενείς με μέσο όρο $28,9 \pm 9,5$ μοίρες).

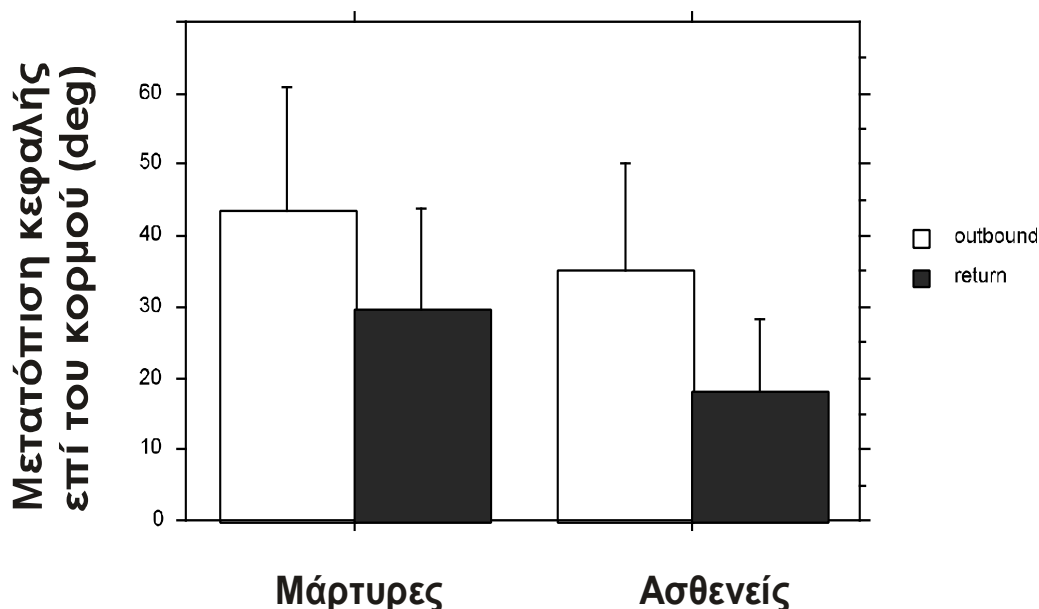
Εύρος, χρονική διάρκεια και μέγιστη ταχύτητα της αρχικής μετατόπισης του βλέμματος

Η αρχική βλεμματική μετατόπιση ήταν περίπου η ίδια και στις δύο ομάδες. Η υπολειπόμενη οπτική γωνία προς τον στόχο καλύφθηκε από το άθροισμα των γρήγορων νυσταγματικών φάσεων και της μετατόπισης της κεφαλής στο χώρο παρόμοια και στις δύο ομάδες. Υπήρχε πάντως μια τάση μείωσης στους ασθενείς που δεν όμως στατιστικώς σημαντική. Αντίθετα η αρχική βλεμματική μετατόπιση σε όλες τις δοκιμές, σε μάρτυρες και ασθενείς και συγκριτικά σε στόχους ορατούς και μη ορατούς ήταν στατιστικώς σημαντικά διαφορετική (F value 18.5 και $p = 0.0006$). Για τους ασθενείς η αρχική βλεμματική μετατόπιση είναι κατά μέσο όρο στις 55 μοίρες, ενώ στους μάρτυρες είναι στις 74,6 μοίρες.

Η διάρκεια της αρχικής μετατόπισης του βλέμματος εξαρτάται από την γωνιακή απόσταση του στόχου. Η διαφορά μεταξύ ασθενών και μαρτύρων για τις δοκιμές επιστροφής δεν είναι στατιστικώς σημαντική. Η μέγιστη ταχύτητα της αρχικής μετατόπισης του βλέμματος επίσης, δεν ήταν στατιστικώς σημαντικά διαφορετική ($250-350 \text{ dec/sec}$ σε μάρτυρες και ασθενείς).

Μετατόπιση της κεφαλής επί του κορμού

Στην μελέτη μας διαχωρίσαμε την κίνηση της κεφαλής επί του κορμού από την κίνηση της κεφαλής στον χώρο, για να μπορέσουμε να δούμε πώς οι τραχηλικοί μύες μπορούν να επηρεάζουν τα δυναμικά στις μετατοπίσεις βλέμματος (Freedman, 2001). Για όλες τις δοκιμές (απρόβλεπτες και προβλέψιμες) υπάρχει διαφορά στατιστικώς σημαντική (F value 6.7 και p 0.03), δηλαδή οι ασθενείς κίνησαν την κεφαλή λιγότερο, στις 26,5 μοίρες κατά μ.ο., ενώ οι υγιείς στις 36,7 μοίρες. Επομένως η πληροφορία αυτή συνεισφέρει λίγο -και μάλιστα λιγότερο στους ασθενείς -στην αποτελεσματική μετατόπιση του βλέμματος.



Σχήμα 12: Μετατόπιση της κεφαλής επί του κορμού σε απρόβλεπτες και προβλέψιμες δοκιμές στους μάρτυρες και στους ασθενείς BVL.

Μέγιστες ταχύτητες της κεφαλής στο χώρο και του κορμού

Στο σύνολο των δοκιμών, δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στις μέγιστες ταχύτητες της κεφαλής στο χώρο μεταξύ υγιών και ασθενών. Στις προβλεπόμενες δοκιμές ωστόσο, οι φυσιολογικοί έχουν μέγιστη ταχύτητα μεγαλύτερη (174 deg/sec) από τους ασθενείς (121 deg/sec), και το αποτέλεσμα είναι

στατιστικά σημαντικό με F value 5.5 και p 0.03. Επίσης και στις δύο ομάδες ισχύει ότι, όσο πιο μεγάλη η γωνία μετατόπισης τόσο πιο μεγάλες και οι ταχύτητες.

Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του κορμού στις δοκιμές επιστροφής είναι μικρότερη επίσης στους ασθενείς (84 deg/s) έναντι των υγιών (119deg/s, αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό, p 0.009). Επιπρόσθετα, στατιστικά σημαντικός παράγοντας για την μέγιστη ταχύτητα του κορμού είναι και η γωνιακή απόσταση του στόχου. Οι μέγιστες ταχύτητες κορμού αυξάνουν αναλογικά και στους μάρτυρες και στους ασθενείς αλλά στους τελευταίους αρκετά λιγότερο.

Χρόνος επίτευξης του στόχου

Στις δοκιμές επιστροφής οι ασθενείς έπιαναν τον στόχο με καθυστέρηση έναντι των μαρτύρων (αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό, p 0.003). Ο χρόνος αυτός αύξησε αναλογικά με τον στόχο (45, 90,135 και 180 μοίρες) και στις δύο ομάδες:

Γωνιακή απόσταση στόχου(σε μοίρες)	Χρόνος επίτευξης στόχου (μ.ο.) σε μάρτυρες	Χρόνος επίτευξης στόχου (μ.ο) σε ασθενείς
45	400	583
90	701	1132
135	1072	1740
180	1370	2416

Πίνακας 1

Χρόνοι επίτευξης του στόχου σε μάρτυρες- υγιείς συναρτήσει της γωνιακής απόστασης του στόχου

Ποσοστά μετατοπίσεων βλέμματος «διαμιάς» και «πολλαπλών βημάτων» στις δοκιμές επιστροφής

Σε ποσοστό 13% των δοκιμών επιστροφής σε στόχους μη αρχικά ορώμενους, στις 90,135 και 180 μοίρες, 3 από τους 7 ασθενείς εκτέλεσαν μετατοπίσεις βλέμματος «διαμιάς» (κάλυψαν τουλάχιστον το 85% της εκκεντρικότητας του στόχου), ενώ οι υγιείς (6 από τους 10) κατάφεραν το ίδιο σε ποσοστό 15 %. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ταχύτητα του βλέμματος αύξησε μονοτονικά σε μια κορυφή και μετά μειωνόταν ξανά μονοτονικά μέχρι την επίτευξη του στόχου. Στις πιο πολλές δοκιμές πάντως και

στους υγιείς και στους ασθενείς, το κυρίαρχο πρότυπο μετατόπισης του βλέμματος αποτελείται από επαναλαμβανόμενες γρήγορες μετατοπίσεις του βλέμματος που διακόπτονταν από ενδιάμεσα, κατά τα οποία το βλέμμα ήταν σταθεροποιημένο στον χώρο.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ερευνήσαμε πώς οι ασθενείς με χρόνια αμφοτερόπλευρη απώλεια αιθουσαίας λειτουργίας προσαρμόζονται σε αυτή την κατάσταση κατά την διάρκεια πλήρους εκούσιας περιστροφής του σώματος. Είναι ικανοί να παράγουν πλήρεις εκούσιες περιστροφές του σώματος. Και στους ασθενείς αλλά και στους υγιείς, η γνώση εντοπισμού μη ορατού στόχου στις προβλέψιμες δοκιμές επιστροφής (return, inbound, memory driven) επέφεραν μείωση στους λανθάνοντες χρόνους κίνησης κυρίως των ποδιών και του κορμού, με τέτοιο τρόπο, ώστε οι οφθαλμοί, η κεφαλή και ο κορμός να κινούνται μαζί (en bloc). Αυτό δείχνει ότι η οφθαλμοκινητική λειτουργία είναι ενσωματωμένη μέσα σε ένα πολύ πιο σύνθετο σύνολο κινητικής συνέργειας όλου του σώματος. Η έναρξη της κίνησης πάντως των ασθενών επιμηκύνθηκε στατιστικά σημαντικά.

Οι κινήσεις των ασθενών χαρακτηρίζονται από αργές περιστροφές κεφαλής και κορμού, ενώ η ταχύτητα οφθαλμών είναι φυσιολογική. Στις πιο πολλές περιπτώσεις, η πρωταρχική μετατόπιση βλέμματος ήταν μικρότερη από την θέση του στόχου σε μάρτυρες και σε ασθενείς και περισσότερο από το 50% της οπτικής γωνίας καλύφθηκε από το άθροισμα γρήγορων νυσταγμικών φάσεων και μετατόπισης της κεφαλής (στο χώρο). Οι υγιείς ενήλικες κατέκτησαν στόχους με μια ενιαία μεγάλη μετατόπιση βλέμματος στο 15% περίπου των προβλέψιμων δοκιμών, με μια μείωση στο χρόνο επίτευξης του στόχου πάνω από 200ms (100-350), ενώ οι ασθενείς ήταν λίγο λιγότερο ικανοί να το πετύχουν (13%). Επίσης η ταχύτητα κεφαλής επί του κορμού ήταν σημαντικά μειωμένη στους ασθενείς. Έτσι ο χρόνος άφιξης στο στόχο ήταν σημαντικά επιμηκυσμένος στους ασθενείς.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα παίρνει φυσιολογικά πληροφορίες από το αιθουσαίο σύστημα για το κατά πόσο έχει μετακινηθεί η κεφαλή (όχι από το VOR). Επίσης, γνωρίζει κατά πόσο έχουν κινηθεί οι οφθαλμοί από έναν εσωτερικό μηχανισμό ανάδρασης των οφθαλμών. Το σχέδιο των γρήγορων νυσταγμικών

σακκαδικών φάσεων που είχε αποδοθεί στους υγιείς ότι οφείλεται στο VOR για την μετασακκαδική σταθεροποίηση του βλέμματος, παραμένει και στους ασθενείς με απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας. Στο παρόν συμπεριφορικό παράδειγμα, παρόλο που λείπει η εισερχόμενη πληροφορία τη ταχύτητας της κεφαλής από το κατηγορημένο αιθουσαίο σύστημα των ασθενών, φαίνεται ότι δεν είναι αναγκαία αυτή για να κινηθεί η κεφαλή στο χώρο για την επίτευξη στόχου μη ορατού δηλαδή πέρα από το οφθαλμοκινητικό εύρος. Ωστόσο η αύξηση στον λανθάνοντα χρόνο κίνησης του οφθαλμού μπορεί να αντανακλά (τουλάχιστο εν μέρει) μεγαλύτερο χρόνο οπτικής αντίληψης και processing για το περιφερικό ερέθισμα (Kalesnykas and Hallett, 1994).

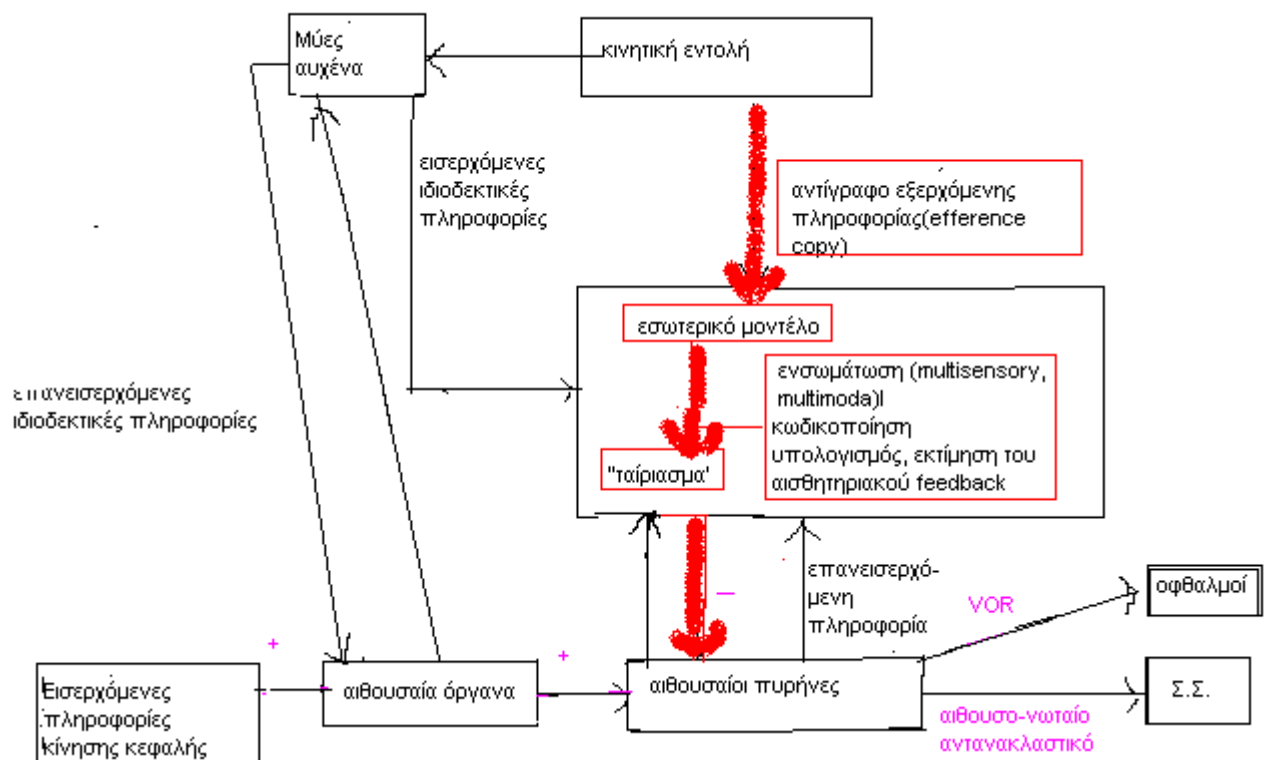
Επίσης αναδεικνύεται ότι, οι αντισταθμιστικές βραδείες οφθαλμικές κινήσεις μετά την άφιξη στο στόχο και η εκτέλεση ‘διαμιάς’ μετατόπισεων βλέμματος, δεν εξαρτώνται από την πληροφορία που προέρχεται από την κίνηση της κεφαλής επί του κορμού, δηλαδή από την ιδιοδεκτική αισθητικότητα του αυχένα. Εξάλλου και από προηγούμενες έρευνες πάνω στον πιθανό αντισταθμιστικό ρόλο του COR σε ασθενείς με λαβυρινθεκτομή, δεν είχε αποδειχθεί ότι η πληροφορία από τον αυχένα θα μπορούσε να υποκαταστήσει αποκλειστικά την απώλεια του VOR (Dichgans et al, 1973, Kasai and Zee, 1978, Barnes 1979a, Barlow and Freedman, 1980, Bronstein and Hood, 1986, Huygen et al, 1991). Αντίθετα, θεωρούμε ότι είναι προγραμματισμένες κεντρικά από πριν (Tomlinson et al, 1980 και Maurer et al, 1998), με την χρήση ενός αντίγραφου εξερχόμενης πληροφορίας για την κίνηση της κεφαλής. Αυτό ίσως να δικαιολογεί, γιατί στους ασθενείς, τόσο το οπισθογύρισμα των οφθαλμών, όσο και η κίνηση της κεφαλής σε σχέση με τον κορμό καθυστερεί, επειδή μπορεί να χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να δοθεί η εντολή του αντίγραφου εξερχόμενης πληροφορίας προς την περιφέρεια (οφθαλμούς, αυχένα, αλλά και κορμό και κάτω άκρα). Τέλος, ο κεντρικός από πριν προγραμματισμός των οφθαλμικών κινήσεων, σαν αντισταθμιστικός μηχανισμός σταθεροποίησης του βλέμματος μεμονωμένα, προϋποθέτει ότι το υποκείμενο γνωρίζει πού θα βρίσκεται ο στόχος ή ποια κίνηση της κεφαλής θα γίνει. Η επίτευξη του στόχου με ακρίβεια από τους BVL ασθενείς θα μπορούσε να αποδοθεί και στον παραπάνω μηχανισμό (Herdmann et al, 2001), αλλά στην καθημερινή ζωή, πολλές κινήσεις κεφαλής και επιλογές για κατεύθυνση του βλέμματος δεν είναι προβλέψιμες και επομένως αυτή η στρατηγική δεν θα ήταν χρήσιμη σε πολλές περιστάσεις.

Στις καθημερινές βλεμματικές μετατοπίσεις, ο στόχος είναι λειτουργικά τουλάχιστον μη ορατός κατά την διάρκεια της σακκάδας και έτσι θα πρέπει να υπάρχει μια πληροφορία, μια αναπαράσταση που να αντισταθμίζει την επακόλουθη κίνηση της κεφαλής προς το στόχο. Αυτή η πληροφορία θα πρέπει να είναι μάλιστα βαθμονομημένη σε αναλογία με την πραγματική ταχύτητα της κεφαλής ως «προσδοκόμενη κίνηση της κεφαλής», μια αποθηκευμένη εμπειρία συντεταγμένων του χώρου από παλαιότερα ερεθίσματα. Στο παρόν πρωτόκολλο έχουν αποκλειστεί οι αιθουσαίες μετρήσεις της κίνησης της κεφαλής, ενώ η ουσιαστική συμβολή των ιδιοδεκτικών πληροφοριών από τον αυχένα έχει υποβαθμιστεί ως πιθανή πηγή για τις μετασακκαδικές οφθαλμικές κινήσεις. Η πιο πιθανή πηγή πληροφόρησης για την κίνηση της κεφαλής που χρησιμοποιείται για την μείωση της οφθαλμικής σακκάδας είναι ένα εξερχόμενο αντίγραφο της πληροφορίας κίνησης της κεφαλής (efference copy). Αυτό θα μπορούσε 1) να μειώνει την οφθαλμική σακκάδα αναλογικά με την σύγχρονη κίνηση της κεφαλής και 2) να συνεισφέρει στην καταγραφή (monitoring) της τρέχουσας βλεμματικής μετατόπισης.

Προτεινόμενο γνωσιακό μοντέλο.

Οι Von Holst και Mittelstaedt (1950), ήταν οι πρώτοι ερευνητές που πρότειναν ότι ο εγκέφαλος συγκρίνει ένα αντίγραφο εξερχόμενης πληροφορίας της κινητικής εντολής -παραγόμενο κατά την διάρκεια εκουσίων κινήσεων- με εισερχόμενη αισθητήρια πληροφορία, για να διακρίνει την πρωτογενώς εισερχόμενη πληροφορία από την επανεισερχόμενη από την περιφέρεια. Τα αιθουσαία ερεθίσματα από την ενεργητική κίνηση της κεφαλής και τα ιδιοδεκτικά ερεθίσματα από τον αυχένα (και το υπόλοιπο σώμα) θεωρούνται ότι συγκλίνουν εισερχόμενα στους αιθουσαίους πυρήνες (κατώτερο επίπεδο, πρώιμη κεντρική επεξεργασία). Ακόμα εισέρχονται σε αυτούς και άλλες πληροφορίες από τον εγκεφαλικό φλοιό, την παρεγκεφαλίδα και το εγκεφαλικό στέλεχος (Fukushima, 1997), όπως επίσης και το αντίγραφο εξερχόμενης πληροφορίας (efference copy). Εκεί γίνεται ο υπολογισμός του προσανατολισμού και ο έλεγχος της στάσης του σώματος (VOR και αιθουσο-νωτιαίο αντανakλαστικό) μέσω απλών αισθητικό-κινητικών μετατροπών (transformations). Υπάρχει ακόμα ένα ενδιαμέσο, δεύτερο, πιο κεντρικό επίπεδο επεξεργασίας-πιθανώς στην αιθουσαία παρεγκεφαλίδα- όπου ενσωματώνονται συγκλίνουσες πληροφορίες για στόχους, το

αντίγραφο εξερχόμενης πληροφορίας για κινητική εντολή -από ανώτερα φλοιικά επίπεδα- και σήματα κινητικής ανάδρασης από την περιφέρεια (μυς, αρθρώσεις) για τον υπολογισμό της σχέσης μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής (από εισερχόμενα στοιχεία) κινητικής εντολής (εσωτερικό μοντέλο, Cullen et al, 2011). Σε αυτό γίνεται ενσωμάτωση πολυαισθητηριακών πληροφοριών (αιθουσαίων και ιδιοδεκτικών), η σύγκριση και η ανανέωση της αναπαράστασης της εαυτό-κίνησης στο χώρο. Συνδέεται κατιόντως με τους αιθουσαίους πυρήνες.



Σχήμα 13. Προτεινόμενο μοντέλο. Κατά την διάρκεια περιστροφικής κίνησης του σώματος προς εντοπισμό στόχου, ένα αντίγραφο εξερχόμενης πληροφορίας προωθείται και ενσωματώνεται προς ένα εσωτερικό μοντέλο, το οποίο υπολογίζει την προσδοκώμενη «εισερχόμενη» πληροφορία της κινητικής εντολής. Σε αυτό το γνωσιακό επίπεδο συγκρίνονται η παραπάνω εκτίμηση με τις ιδιοδεκτικές εισερχόμενες πληροφορίες από τον αυχένα («ταίριασμα» ή match). Εάν τα σήματα αυτά ταιριάζουν, αποστέλλεται από αυτό το ενδιάμεσο γνωσιακό επίπεδο ένα σήμα ακύρωσης προς τους αιθουσαίους πυρήνες, οι οποίοι θεωρούνται συγχρόνως αισθητήριοι αλλά και προκινητικοί δηλαδή αποστέλλουν κινητικές εντολές στην περιφέρεια (οφθαλμοί, αυχέννας, κορμός κάτω άκρα (Cullen et al, 2011).

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι, όταν η ενεργοποίηση των ιδιοδεκτικών υποδοχέων (από την πραγματική κίνηση) ταιριάζει- σε κεντρικό επίπεδο- με την προσδοκία της παραγόμενης κίνησης, τότε παράγεται ένα ανασταλτικό σήμα από το εσωτερικό μοντέλο των εισερχόμενων συνεπειών της ενεργητικής κίνησης του σώματος στο χώρο. Αυτό καταστέλλει επιλεκτικά την επανεισερχόμενη από την περιφέρεια πληροφορία στους αιθουσαίους πυρήνες (top-down μηχανισμός). Το σήμα αυτό προβλέπει την αιθουσαία (κεντρική) ενεργοποίηση, που είναι συνέπεια της κινητικής εντολής (Roy και Cullen, 2004), ώστε να ακυρωθεί μια επανενεργοποίηση της από την επανείσοδο των πολυαισθητηριακών πληροφοριών.

Στην περίπτωση της επίτευξης τόσο απρόβλεπτης όσο και προβλέψιμης κίνησης επιστροφής προς μη ορατό στόχο, προτείνεται κατά επέκταση της μελέτης των Buneo και Andersen (2006), ένα γνωσιακό μοντέλο (feed-forward model) που συνδυάζει εξερχόμενα αντίγραφα (efference copy) της πρόσφατης και τρέχουσας κινητικής εντολής, πολυτροπικά (multimodal) αισθητηριακά feedback (οπτικά, σωματοαισθητικά) και ένα εσωτερικό μοντέλο των δυναμικών της κεφαλής, αυχένα κορμού και άκρων για την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης και ίσως και της μελλοντικής. Ίσως υπάρχουν γνωσιακά επίπεδα κοινής αντίληψης στόχου και λήψης απόφασης μπροστά από τα επίπεδα που συντονίζουν τον σχετικό χρονισμό οφθαλμών-κεφαλής.

Μπορεί ακόμα να υπάρχουν δύο διακριτές γνωσιακές διεργασίες για τον έλεγχο επίτευξης του στόχου: Ένα γρήγορο-«αυτόματο» σύστημα με άμεσα σχήματα χωρικών μετατροπών (ένα άμεσο σχήμα μετατροπής για την εκτίμηση της θέσης της κεφαλής μπορεί να υποστηρίζει έναν γρήγορο έλεγχο της κίνησης του σώματος) και ένα πιο αργό- «γνωσιακό», με έμμεσα σχήματα μετατροπής, που να ενισχύει ή ακόμα και να υποκαθιστά το αυτόματο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως στην απώλεια αιθουσαίας λειτουργίας (Buneo και Andersen, 2006). Το έλλειμμα στους ασθενείς με διαταραγμένη αιθουσαία λειτουργία απορρέει από την αδυναμία ανανέωσης της αναπαράστασης του εξωτερικού χώρου και της κίνησης του σώματος μέσω αυτού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasopoulos D, Zivara N, Hollands M, Bronstein A (2009). Gaze displacement and inter-segmental coordination during large whole body voluntary rotations. *Exp Brain Res* 217, pp 336-346.
- Barlow D, Freedman W. Cervico-ocular reflex in the normal adult. *Acta Otolaryngol*, 89, pp 487-496.
- Barnes G (1979a). Head- eye coordination in normals and patients with vestibular disorders. *Adv Otorhinolaryngol* 25, pp197-201.
- Barnes G (1979b). Vestibulo-ocular function during co-ordinated head and eye movements to acquire visual targets. *J Physiol* 287:127-147.
- Bizzi E, (1981). Eye-head coordination. Στο V. B. Brooks (ed.), *Handbook of Physiology*, Vol. 3 (pp. 1321-1336). American Physiological Society, Bethesda, MD.
- Bizzi E, Kallil RE, Tagliasco V (1971). Eye-head coordination in monkeys: evidence for centrally patterned organization. *Science* 173, pp 452-454.
- Bizzi E, Kallil RE, Morasso P (1972). Two modes of active eye-head coordination in monkeys. *Brain Res* 40, pp 45-48
- Borel L, Lopez C, Peruh P, Lacour M (2008). Vestibular syndrome: A change in internal spatial representation. *Neurophysiol Clin* 38(6), pp 375-389.
- Brandt T, Glasauer S, Stephan T, Bense S, Yousry A, Deutschlander A, Dieterich M (2002). Visual-vestibular and visuovisual cortical interaction: New insights from fMRI and PET. *Ann. NY Acad Sci* 956, pp 230-246.
- Brandt T, Schautzer F, Hamilton DA, Bruning R, Markowitsch HJ, Kalla R, Darlington C, Smith P, Strupp M (2005). Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans. *Brain* 128, pp 2732-2741.
- Bronstein AM, Hood JD (1986). The cervico-ocular reflex in normal subjects and patients with absent vestibular function. *Brain Res* 373, pp399-408.
- Buneo CA, Andersen RA (2006). The posterior parietal cortex: Sensorimotor interface for the planning and online control of visually guided movements. *Neuropsychologia* 44, pp 2594-2606.
- Collewijn H (1977). Gaze in freely moving subjects. Στο Baker R, Berthoz A(eds) *Control gaze by brain stem neuron*. Elsevier (pp13-22). North-Holland, Amsterdam.
- Cullen KE, Roy JE (2004). Signal processing in the the vestibular system during active versus passive head movements. *J Neurophysiol* 91, pp1919-1933.

- Cullen KE, Brooks JX, Jamali M, Carriot J, Massot C (2011). Internal models of self-motion: computations that suppress vestibular reafference in early vestibular processing. *Exp Brain Res* 210, pp 377-388.
- Dichgans J, Bizzi E, Morasii P, Taglisaco V (1973). Mechanisms underlying recovery of eye-head coordination following bilateral labyrinthectomy in monkeys. *Exp Brain Res* 18, pp 548-562.
- Flanders M, Helms Tillery SI, Siechting JF (1992), Early stages in a sensorimotor transformation. *Behav Brain Sci* 15, pp 309-362.
- Freedman E (2001). Interactions between eye and head control signals can account for movement kinematics. *Biol Cyber* 84, pp 453-462.
- Freedman E, Sparks D (1997). Eye-head coordination during head –unrestrained gaze shifts in rhesus monkeys. *J Neurophysiol* 77, pp 2328-2348.
- Fukushima K (1997). Corticovestibular interactions: anatomy, electrophysiology, and functional considerations. *Exp Brain Res* 117, pp 1-16.
- Georgopoulos AP (1991). Higher order motor control. *Annu Rev Neurosci* 14, pp 361-377.
- Grossman GF, Leigh RJ, Bruce EN, Huebner WP, Lanska DJ (1989). Performance of the human vestibuloocular reflex during locomotion. *J neurophysiol*, 62, pp 264-272.
- Guitton D, Volle M (1987). Gaze control in head free humans during orienting movements to targets within and beyond the oculomotor range. *J Neurophysiol* 58, pp 427-459.
- Hanes DA, McCollum G, 2006. Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms. *J Vestib Res* 16(3), pp 75-91.
- Herdman SJ, Schubert MC, Tusa RJ (2001). Role of central preprogramming in dynamic visual acuity with vestibular loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 127: pp 1205-1210.
- Huygen PL, Verhagen WIM, Nicolaisen MGM (1991). Cervico-ocular reflex enhancement in labyrinthine-defective and normal subjects. *Exp Brain Res* 87, pp 457-464.
- Kalesnykas RP, Hallett PE (1994). Retinal eccentricity and the latency of eye saccades. *Vision Res* 34, pp 517-531.
- Kasai T, Zee DS (1978). Eye-head coordination in labyrinthine-defective human beings. *Brain Res* 144, pp 123-141.

- Land M (2004). The coordination of rotations of the eyes, head, and trunk in saccadic turns produced in natural situations. *Exp Brain Res* 159, pp 151-160.
- Laurutis VP, Robinson DA (1986). The vestibulo-ocular reflex during human saccadic eye movements. *J Physiol (Lond)* 373, pp 209-233.
- Maurer C, Mergner T, Becker W, Jurgens R (1998). Eye-head coordination in labyrinthine-defective humans. *Exp Brain Res* 122, pp 260-274.
- McCall AA, Yates BJ (2011). Compensation following bilateral vestibular damage. *Frontiers in Neurology*, 2: Article 88
- McCluskey M, Cullen K (2007). Eye, head, and body coordination during large gaze shifts in rhesus monkeys: movement kinematics and the influence of posture. *J Neurophysiol* 97, pp 2976-2991.
- McIntyre J, Stratta F, Lacquaniti F (1998). Short-term memory for reaching to visual targets: Psychological evidence for body-centered reference frames. *The Journal of Neuroscience* 18(20), pp 8432-8435.
- Morasso P, Bizzi E, Dichgans J (1973). Adjustment of saccadic characteristics during head movements. *Exp Brain Res* 16, pp 492-500.
- Moschner C, Zangemeister WH (1993). Preview control of gaze saccades: efficacy of prediction modulates eye-head interaction during human gaze saccades. *Neurol Res* 15, pp 417-432.
- Pelisson D, Prablanc C, Urquizar C (1998). Vestibuloocular reflex inhibition and gaze saccade control characteristics during eye-head orientation in humans. *J Neurophysiol* 59, pp 997-1013.
- Pozzo T, Berthoz A, Lefort L, Vitte E (1991). Head stabilization during various locomotor tasks in humans. II. Patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res* 82, pp 97-106.
- Risey J, Briner W (1990). Dyscalculia in patients with vertigo. *J Vestib Res* 1, pp 31-37.
- Roucoux A, Crommerlinck M (1988). Control of head movement during visual orientation. Στο Peterson BW, Richmond FJR (eds), *Control of head movement* (pp208-223). Oxford University Press, New York.
- Roy J, Cullen K (1998). A neural correlate for vestibulo-ocular reflex suppression during voluntary eye-head gaze shifts. *Nat Neurosci* 1, pp 404-410.
- Roy J, Cullen K (2002). Vestibuloocular reflex signal modulation during voluntary and passive head movements. *J Neurophysiol* 87, pp 2337-2357.

- Roy J, Cullen K (2004). Dissociating self-generated from passively applied head motion: neural mechanisms in the vestibular nuclei. *J Neurosci* 24, pp 2101-2111.
- Sklavos S, Anastasopoulos D, Ziavra N, Hollands MA, Bronstein AM (2008). Foot rotation contribution to trunk and gaze stability during whole-body mediated gaze shifts: a principal component analysis study. *Progr in Brain Res* 171, pp 347-351.
- Schautzer F, Hamilton D, Kalla R, Strupp M, Brandt T (2003). Spatial memory deficits in patients with chronic bilateral vestibular failure. *Ann NY Acad Sci* 1004, pp 316-324.
- Smith PF (1997). Vestibular-hippocampal interactions. *Hippocampus* 7, pp 465-471
- Tabak S, Smeets JBJ, Collewyn H (1996). Modulation of the human vestibuloocular reflex during saccades: probing by high-frequency oscillation and torque pulses of the head. *J Neurophysiol* 76, pp 3249-3263.
- Tomlinson RD, Saunders GE, Schwartz DWF (1980). Analysis of human vestibulo-ocular reflex during active head movements. *Acta Otolaryngol*, 90, pp 184-190.
- Von Holst E, Mittelstaedt H (1950). Das reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften* 37, pp 464-476.
- Yardley L, Higgins M, (1998). Spatial updating during rotation: the role of vestibular information and mental activity. *J Vest Res* 8, pp1-8.
- Yardley L, Gardner M, Bronstein A, Davies R, Buckwell D, Luxon L (2001). Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *J Neurol Neurosurg. Psychiatr* 71, pp 48-52.
- Yardley L, Papo D, Bronstein A, Gresty M, Gardner M, Lavie N, Luxon L (2002). Attentional demands of continuously monitoring orientation using vestibular information. *Neuropsychologia* 40(4), pp 373-383.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1

Αίτια αμφοτερόπλευρης απώλειας της αιθουσαίας λειτουργίας

Ασθενείς	Αίτια
No 2	Νευροσαρκοείδωση
No 3	Ιδιοπαθής
No 4	Πιθανή λαβυρινθίτιδα
No 5	Μηνιγγίτιδα
No 7	Ιδιοπαθής
No 8	Ωτοτοξικότητα από γενταμικίνη
No 9	Ιδιοπαθής

Πίνακας 2

Κλινικός έλεγχος αιθουσαίας λειτουργίας

1. Δοκιμασία Romberg με ανοικτούς και κλειστούς οφθαλμούς

2. Βάδιση

3. Οφθαλμικές κινήσεις:

Σακκαδικές, κινούμενου στόχου, σύγκλισης.

Αιθουσαίο-οφθαλμικό αντανακλαστικό (VOR). Κλινικά ανιχνεύεται κυρίως με την δοκιμασία Halmagui (High frequency head thrust) ή τον χειρισμό «κούκλας» (dolls eye manoeuvre) και την δοκιμασία σείσης της κεφαλής (Head shake test).

Ocular counter rolling

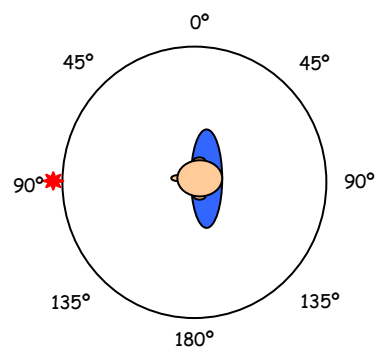
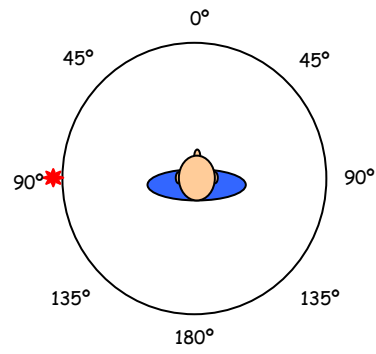
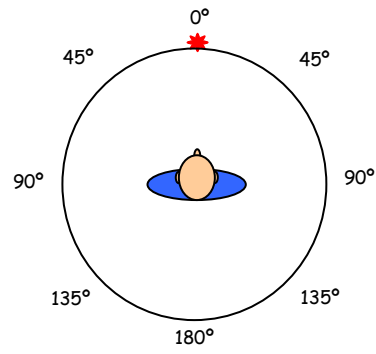
Αυτόματος νυσταγμός

Νυσταγμός θέσης-Hallpike χειρισμός

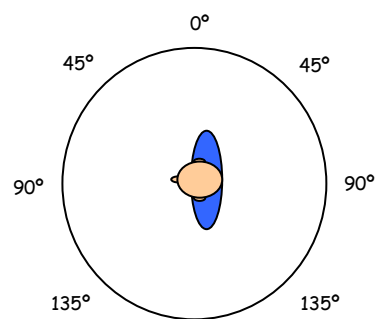
Οπτοκινητικός νυσταγμός

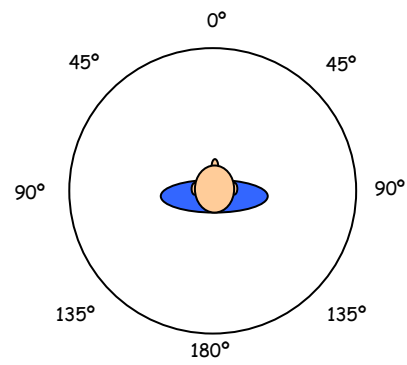
4. Ψυχρός-θερμός διακλυσμός: ο ερεθισμός του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα προκαλεί φυσιολογικά έκλυση του VOR.

5. Ηλεκτρο-νυσταγμογραφία



Στροφή προς απρόβλεπτο στόχο





Στροφή προς προβλέψιμο στόχο

Σχήματα 2 – 6. Πειραματική διάταξη που δείχνει τη στροφή του εξεταζομένου 90° προς τα αριστερά και στη συνέχεια την επιστροφή του στο σημείο εκκίνησης. Η διάταξη των εικόνων από επάνω προς τα κάτω ακολουθεί τη χρονική αλληλουχία.