



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και ανάλυση των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελευθέριος Κ. Μπούρος

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Ματσόπουλος  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και ανάλυση των σακκαδικών οφθαλμικών  
κινήσεων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ελευθέριος Κ. Μπούρος

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Ματσόπουλος  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την: ..... Φεβρουαρίου 2015

.....  
Γ.Ματσόπουλος,  
Αν.Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Δ.Κουτσούρης,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Ν.Ουζούνογλου,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

.....  
Ελευθέριος Κ. Μπούρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ελευθέριος Κ. Μπούρος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει εκτενώς τις σακκαδικές κινήσεις, και όλα τα στοιχεία που αναφέρονται στη μελέτη και ανάλυσή τους. Αρχικά αναλύεται η φυσιολογία του οφθαλμού, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του οφθαλμοκινητικού συστήματος γενικότερα. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα διάφορα είδη σακκαδικών κινήσεων καθώς και οι ιδιότητές τους. Παρουσιάζεται επίσης ο συσχετισμός τους με διάφορες ασθένειες, γεγονός το οποίο καταδεικνύει τη σημασία τους στους τομείς της νευροφυσιολογίας και της ιατρικής γενικότερα.

Θα αναλυθούν ακόμη σύγχρονες και παλαιότερες τεχνικές καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, και τέλος, γίνεται λόγος για διάφορες τεχνικές επεξεργασίας και ανάλυσης των αποκτηθέντων αποτελεσμάτων.

## Λέξεις Κλειδιά

Οφθαλμός, σακκαδική κίνηση, σημείο προσήλωσης, συσχετισμός με παθήσεις, νευρικό σύστημα, συλλογή/ανάλυση δεδομένων, μέθοδος διακένου/επικάλυψης, ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα, βιντεο-οφθαλμογράφημα, επαγωγικό πηνίο αναζήτησης.

## **Abstract**

This paper aims to comprehensively present the saccadic movements, and all data reported in their study and analysis. Initially, the eye physiology is analyzed, and the way the oculomotor system operates in general. Then, the various types of saccades and their properties are presented. Moreover, their correlation with various diseases is presented, which demonstrates their importance in the fields of neurophysiology and medicine in general.

There are also analyzed modern and older techniques of recording eye movements, and finally various processing and analysis techniques of the acquired results are presented.

## **Key-Words**

eye, saccadic movements, fixation point, correlation with diseases, nervous system, data collection/analysis, process gap/overlap, electro-oculogram (EOG), video-oculogram (VOG), Schlear Search coil (SSC).

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ματσόπουλο Γεώργιο, για την ανάθεσή της, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου που ήταν δίπλα μου, και βοήθησαν ο καθένας με τον δικό του τρόπο.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

Ελευθέριος Μπούρος

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
Ευχαριστίες .....	7
Περιεχόμενα .....	8
Ευρετήριο Εικόνων .....	10
Ευρετήριο Πινάκων .....	12
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	13
1.1 Η φυσιολογία του οφθαλμού .....	13
1.2 Η οφθαλμική κίνηση .....	17
1.2.1 Σύστημα παρατήρησης (gaze system) .....	20
1.2.2 Το οφθαλμοκινητικό σύστημα (Oculomotor system).....	20
1.2.3 Το σύστημα σταθεροποίησης / προσήλωσης (Fixation system) .....	20
1.2.4 Το σύστημα κίνησης του κεφαλιού (head movement system) .....	21
1.3 Οι σακκαδικές κινήσεις .....	21
1.3.1 Ιδιότητες των σακκαδικών κινήσεων .....	24
1.4 Οι μικροσακκαδικές κινήσεις .....	25
1.4.1 Σχέση σακκαδικών-μικροσακκαδικών κινήσεων .....	28
<b>Κεφάλαιο 2: Συσχετισμός σακκαδικών κινήσεων με παθήσεις</b> .....	30
2.1 Φυσιολογία σακκαδικού συστήματος .....	30
2.2 Μεθοδολογία μελέτης σακκαδικών κινήσεων στη σχιζοφρένεια .....	31
2.2.1 Ευρήματα .....	33
2.2.2 Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στις αντισακκαδικές κινήσεις .....	38
2.2.3 Συζήτηση.....	38
2.2.4 Συμπεράσματα .....	39
2.3 Σακκαδικές κινήσεις και Νόσος του Huntington.....	40
2.4 Σχέση των αντισακκαδικών κινήσεων με τα κλινικά συμπτώματα της Νόσου του Parkinson .....	44
2.4.1 Εισαγωγή .....	44
2.4.2 Μεθοδολογία .....	44
2.4.3 Καταγραφή της οφθαλμικής κίνησης.....	45
2.4.4 Αποτελέσματα .....	47
2.5 Σακκαδικές κινήσεις και δυσλεξία .....	50
2.5.1 Σχέσεις μεταξύ οφθαλμοκίνησης και αλληλοδιαδοχικών λειτουργιών .....	50



2.5.2	Σχέση μεταξύ οφθαλμοκίνησης και δυσλεξίας.....	52
2.5.3	Ποιες οι Διαφορές των Οφθαλμογραφημάτων Δυσλεξικών και Κανονικών Αναγνώστων;.....	53
<b>Κεφάλαιο 3: Συλλογή δεδομένων των σακκαδικών κινήσεων.....</b>		<b>54</b>
3.1	Τεχνικές καταγραφής οφθαλμικών σακκαδικών κινήσεων.....	54
3.1.1	Καταγραφή της σχετικής θέσης κερατοειδή – κόρης / VideoOculoGraphy (VOG), PhotoOculoGraphy (POG): .....	55
3.1.2	Video Based συνδυάζοντας κόρη και αντανάκλαση του κερατοειδούς:.....	55
3.1.3	Συστήματα eye-tracking. ....	57
3.1.4	Άλλες γνωστές μέθοδοι καταγραφής.....	57
3.2	Σύστημα καταγραφής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την καταγραφή οφθαλμικών κινήσεων .....	58
3.3	Ανάλυση δεδομένων οφθαλμικών σακκαδικών κινήσεων.....	62
3.3.1	Σημαντικά στοιχεία για την ανάλυση των δεδομένων .....	63
<b>Κεφάλαιο 4: Τεχνικές ανάλυσης / Επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων.....</b>		<b>64</b>
4.1	Επεξεργασία σακκαδικών κινήσεων με τη μέθοδο T.Moriyama .....	64
4.1.1	Μέθοδος.....	64
4.1.2	Αποτελέσματα .....	65
4.2	Η ανάλυση των σακκαδικών κινήσεων με παραδείγματα κενού και επικάλυψης ....	66
4.2.1	Λεπτομερής διαδικασία. ....	66
4.2.2	Καταγραφή κίνησης των ματιών και ανάλυση. ....	68
4.2.3	Ορισμός των μεταβλητών .....	68
4.2.4	Μελέτη οπτικά καθοδηγούμενης σακκαδικής με μέθοδο επικάλυψης.....	69
4.2.5	Μελέτη αντί-σακκαδικής με μέθοδο κενού.....	70
4.2.6	Η ανάλυση των δεδομένων.....	71
4.2.7	Αποτελέσματα .....	72
4.3	Ανάλυση με χρήση ηλεκτροοφθαλμογραφήματος.Electrooculographic method (EOG) .....	74
4.3.1	Μέθοδος.....	74
4.3.2	Ανάλυση δεδομένων .....	75
4.3.3	Αποτελέσματα .....	76
4.4	Video Based Eye Tracking. (Λογισμικό ASTIDET).....	80
4.4.1	Περιγραφή Του Προγράμματος .....	80
4.4.2	Μέθοδος.....	81
4.4.3	Αποτελέσματα .....	82
4.5	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ γνωστών τεχνικών/Συμπεράσματα.....	83
4.5.1	Εισαγωγικά .....	84

4.5.2 Έρευνα .....	84
4.5.3 Συμπεράσματα .....	85
<b>Κεφάλαιο 5: Επίλογος .....</b>	<b>85</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>87</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

<u>Εικόνα 1.1</u> : Σύγκριση λειτουργίας οφθαλμού- κάμερας.....	13
<u>Εικόνα 1.2</u> : Σύγκριση λειτουργίας οφθαλμού- κάμερας.....	14
<u>Εικόνα 1.3</u> : Ανατομία του οφθαλμού.....	16
<u>Εικόνα 1.4</u> : Ανατομία του οφθαλμού.....	16
<u>Εικόνα 1.5</u> : Οι οφθαλμικοί μύες.....	18
<u>Εικόνα 1.6</u> : Η κινητική δράση των οφθαλμικών μυών.....	18
<u>Εικόνα 1.7</u> : Συζυγείς και μη συζυγείς κινήσεις.....	19
<u>Εικόνα 1.8</u> : Οι σακκαδικές κινήσεις κατά τη «σάρωση» μιας εικόνας.....	22
<u>Εικόνα 1.9</u> : Χρονικές μεταβολές της θέσης και της ταχύτητας των οφθαλμών κατά την πραγματοποίηση σακκαδικής κίνησης.....	23
<u>Εικόνα 1.10</u> : Μηχανισμοί παραγωγής σακκαδικών κινήσεων.....	27
<u>Εικόνα 1.11</u> : Οι μικροσακκαδικές αντισταθμίζουν την οπτική εξασθένιση.....	28
<u>Εικόνα 1.12</u> : Κατανομή των μικροσακκαδικών πλατών στον άνθρωπο και σε άλλα θηλαστικά.....	29
<u>Εικόνα 2.1</u> : Απεικόνιση των μετωπιαίων οπτικών πεδίων, των πρόσθιων διδυμίων και των πυρήνων της τρίτης, τέταρτης και έκτης εγκεφαλικής συζυγίας στην περιοχή του μεσεγκεφάλου.....	32
<u>Εικόνα 2.2</u> : Η Νόσος του Huntington.....	43
<u>Εικόνα 2.3</u> : Σχηματική απεικόνισης της μεθόδου που ακολουθήθηκε.....	46
<u>Εικόνα 2.4</u> : Οφθαλμογραφήματα αναγνωστών καταγραμμένα κατά τη διάρκεια ανάγνωσης κειμένου ανάλογου της αναγνωστικής τους ικανότητας.....	53
<u>Εικόνα 3.1</u> : Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (video based).....	56
<u>Εικόνα 3.2</u> : Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (2)(video based).....	56
<u>Εικόνα 3.3</u> : Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (3)(video based).....	56
<u>Εικόνα 3.4</u> : Γεωμετρική διάταξη του συστήματος χειριστής – παρατηρητής - σύστημα καταγραφής.....	58

<u>Εικόνα 3.5:</u> Γεωμετρική διάταξη του συστήματος κάμερα - φωτοδίοδος IR- μηχανισμός ακινητοποίησης παρατηρητή.....	59
<u>Εικόνα 3.6:</u> Διαγραμματική απεικόνιση της λειτουργίας του συστήματος καταγραφής.....	60
<u>Εικόνα 3.7:</u> Εντοπισμός του κέντρου της κόρης (εικόνα στα αριστερά) και εντοπισμός της κόρης και της ανάκλασης του αμφιβληστροειδούς (εικόνα στα δεξιά).....	61
<u>Εικόνα 3.8:</u> Καταγραφή του οπτικού ίχνους κατά τη διάρκεια αναζήτησης ενός συμβόλου σε χαρτογραφικό υπόβαθρο.....	62
<u>Εικόνα 4.1:</u> Διδιάστατο Μοντέλο οφθαλμού με βάση τη μέθοδο των T. Moriyama et al.....	64
<u>Εικόνα 4.2:</u> Παράδειγμα επιλογής της άνω και κάτω περιοχής του οφθαλμού σε πραγματικά δεδομένα για τις περιπτώσεις του ανοιχτού (α) και του κλειστού (β) οφθαλμού.....	65
<u>Εικόνα 4.3:</u> Σχηματική απεικόνιση των χρονικών και χωρικών ρυθμίσεων των συνθηκών κενού και επικάλυψης για οτικά καθοδηγούμενων και antisaccades.....	67
<u>Εικόνα 4.4:</u> Διανομές χρόνου αντίδρασης που λαμβάνονται από 12 διαφορετικά άτομα κατά τη διαδικασία της μελέτης οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών με τη μέθοδο επικάλυψης.....	72
<u>Εικόνα 4.5:</u> Τέσσερις μεταβλητές ως συνάρτηση της ηλικίας.....	73
<u>Εικόνα 4.6:</u> Συσχέτιση μεταξύ ηλικίας και μέγιστης σακκαδικής ταχύτητας για τις 35° .....	78
<u>Εικόνα 4.7:</u> Επιρροή του παράγοντα του χρονικού σημείου της ημέρας.....	79
<u>Εικόνα 4.8:</u> Δομή του λογισμικού ASTIDET.....	80
<u>Εικόνα 4.9:</u> Δοκιμασία σακκαδικών καθοδηγούμενων απο μνήμης και αποτελέσματα.....	83

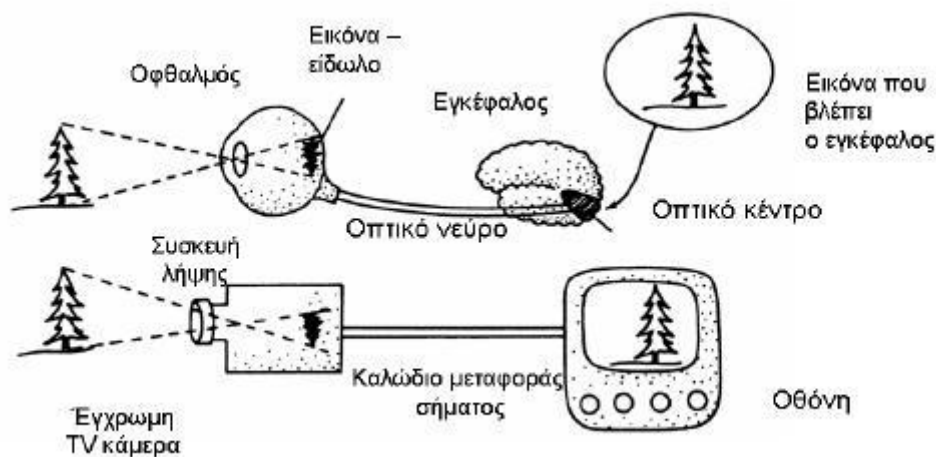
## Ευρετήριο Πινάκων

<u>Πίνακας 2.1:</u> Αποτελέσματα των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων.....	47
<u>Πίνακας 2.2:</u> Επίδραση των φαρμάκων.....	49
<u>Πίνακας 4.1:</u> Μέση και τυπική απόκλιση για τις σακκαδικές παραμέτρους των εξεταζόμενων .....	77
<u>Πίνακας 4.2:</u> Δεδομένα αξιοπιστίας επαναδοκιμασίας.....	77
<u>Πίνακας 4.3:</u> Η σχέση μεταξύ ηλικίας και μέγιστης σακκαδικής ταχύτητας για γωνίες από 15° έως 40° .....	78
<u>Πίνακας 4.4:</u> Διάφορες παράμετροι που προκύπτουν με την μέθοδο του διακένου (ASTIDET).....	82

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Η φυσιολογία του οφθαλμού

Οι οφθαλμοί δέχονται το φως από τα αντικείμενα του περιβάλλοντος και το εστιάζουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Τα φωτοευαίσθητα κύτταρα του αμφιβληστροειδή μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικό σήμα, που «ταξιδεύει» με το οπτικό νεύρο και καταλήγει στον «οπτικό» φλοιό του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται την πληροφορία και ο άνθρωπος «αντιλαμβάνεται» την εικόνα. Χαρακτηριστικό είναι ότι η φωτογραφική μηχανή (και στη συνέχεια η κάμερα) κατασκευάστηκε να λειτουργεί όπως ακριβώς το μάτι. Ο βολβός είναι ένας σκοτεινός θάλαμος. Οι ακτίνες συγκεντρώνονται από τον κερατοειδή και τον κρυσταλλοειδή φακό (φακός zoom της μηχανής) και περνούν από το άνοιγμα της κόρης (διάφραγμα της μηχανής/κάμερας) για να εστιαστούν και να αποτυπωθούν ως εικόνα στον αμφιβληστροειδή (ευαίσθητο φιλμ). Στη συνέχεια η εικόνα αποκωδικοποιείται στον εγκέφαλο (εκτυπώνεται στο φωτογραφικό χαρτί).



Εικόνα 1.1: Σύγκριση λειτουργίας οφθαλμού- κάμερας

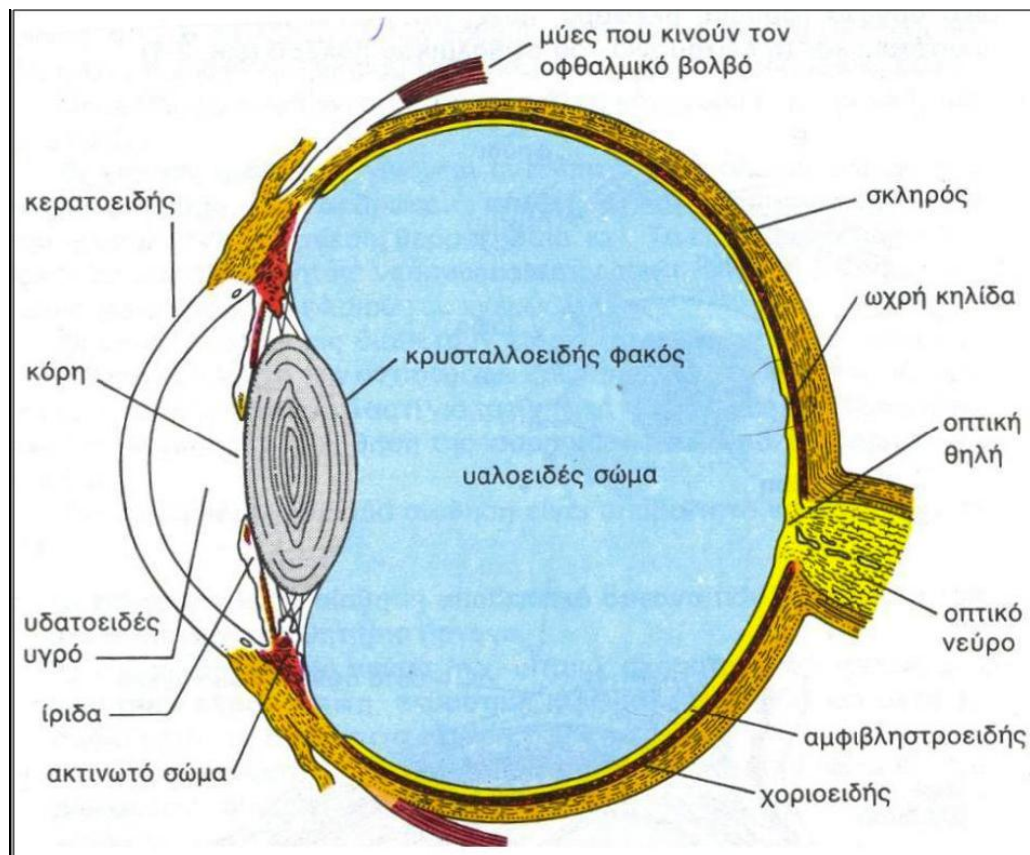
Καθένα από τα τέσσερα αυτά στάδια της διαδικασίας της όρασης είναι σημαντικό και εμπεριέχει ενδιαφέροντα στοιχεία φυσικής. Το πρώτο στάδιο είναι μέρος της οπτικής, το δεύτερο της κβαντομηχανικής (απορρόφηση φωτός), το τρίτο είναι μεταφορά ηλεκτρικών φορτίων και δυναμικού. Φυσικές διεργασίες περιέχονται και στο τέταρτο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων.

Το φως προσπίπτει αρχικά στον κερατοειδή χιτώνα, διασχίζει το υδατοειδές υγρό, την κόρη (άνοιγμα) της ίριδας, το φακό και το υαλοειδές υγρό, πριν καταλήξει στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή (τα κωνία και τα ραβδία) [1].

Ο βολβός περιβάλεται από ένα ινώδη εξωτερικό χιτώνα, λευκό, σκληρό, ανθεκτικό και αδιαφανή, που λέγεται **σκληρός**. Στο πρόσθιο μέρος του ματιού

υπάρχει ο **κερατοειδής**, που είναι σφαιρικός, διαυγής, διάφανος και επιτρέπει στο φως να περνά. Ο κερατοειδής συντίθεται από 50 στρώματα ινών κολλαγόνου. Είναι διαφανής στο ορατό επειδή η κατασκευή του είναι ομοιογενής και χωρίς αιμοφόρα αγγεία, παρά μόνο στην περιφέρεια. Καλύπτεται εξωτερικά με στρώμα από δάκρυ (πάχους 7-10  $\mu\text{m}$ ), το οποίο τον μαλακώνει, «σβήνει» μικροατέλειες και τον εφοδιάζει με οξυγόνο. Η ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδή είναι (στην κεντρική περιοχή) περίπου 7,8 mm και διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο κατά  $\pm 0,4$  mm.

Πίσω από τον κερατοειδή υπάρχει η **ίριδα**, το χρωματιστό τμήμα του ματιού (καστανό, πράσινο, γαλάζιο, κλπ). Η ίριδα έχει στο κέντρο της ένα άνοιγμα για να περνά το φως: την κόρη, η διάμετρος της οποίας κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 10,0 mm και ελέγχεται από ζεύγος μαλακών μυών: τον σφικτήρα (δακτυλοειδής) (που την περιβάλλει και είναι υπεύθυνος για τον περιορισμό του ανοίγματος) και τον διαστολέα (σαν λεπτός δίσκος) (που είναι υπεύθυνος για τη διάνοιξη της κόρης). Ο φακός του οφθαλμού στέκεται ακριβώς πίσω από την κόρη και η σύστασή του είναι 66% νερό και 33% πρωτεΐνες. Έχει πάχος περίπου 4 mm και διάμετρο 9 mm. Μεγαλώνει καθόλη τη διάρκεια της ζωής προσθέτοντας νέους φλοιούς, ώστε να έχει τη μορφή «κρεμμυδιού». Ο φακός μπορεί και αυξομειώνει το σχήμα του, μεταβάλλοντας ταυτόχρονα και τη διαθλαστική του δύναμη, με το μηχανισμό της προσαρμογής. Έτσι, "ζουμάροντας" εστιάζει την εικόνα, ανάλογα αν κοιτάμε μακριά ή κοντά. Σε μεγάλη ηλικία αποκτά κιτρινωπή απόχρωση και χάνει τη διαφάνειά του, δημιουργώντας τον καταρράκτη.



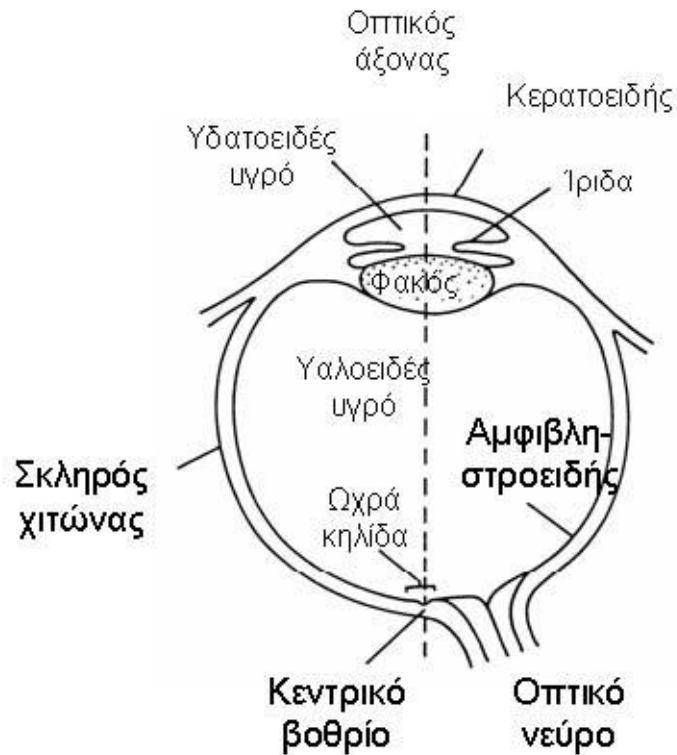
Εικόνα 1.2: Σύγκριση λειτουργίας οφθαλμού- κάμερας

Η ίριδα έχει μύες που προκαλούν συστολή (μύση) ή διαστολή (μυδρίαση), ανάλογα με τις συνθήκες φωτός που επικρατούν. Αυτό γίνεται αντανακλαστικά από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Το συμπαθητικό αυτόνομο νευρικό σύστημα προκαλεί μυδρίαση και το παρασυμπαθητικό μύση. Όταν υπάρχει πολύ φως προκαλείται μύση και όταν είναι σκοτάδι οι κόρες διαστέλλονται για να περάσει περισσότερο φως.

Ο κερατοειδής και η ίριδα σχηματίζουν μία γωνία, τη **γωνία του πρόσθιου θαλάμου**. Ο πρόσθιος θάλαμος είναι γεμάτος από διαυγές υγρό, το **υδατοειδές υγρό**, που διατηρεί τη σύσταση στο πρόσθιο τμήμα του ματιού. Το υδατοειδές υγρό γεμίζει το χώρο μεταξύ κερατοειδή και φακού. Περιέχει πλάσμα αίματος με λίγες πρωτεΐνες, παράγεται συνεχώς (1% του όγκου του ανά λεπτό) και αποχετεύεται προς το νωτιαίο μυελό. Ο συνολικός όγκος του υδατοειδούς υγρού καθορίζει την εσωτερική πίεση του οφθαλμού που κυμαίνεται από 10 μέχρι 20 mmHg. Αν π.χ. λόγω τραυματισμού, εμποδιστεί η αποχέτευση του υδατοειδούς υγρού, η εσωτερική πίεση αυξάνει, κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει σε γλαύκωμα ή τύφλωση (όταν τα αιμοφόρα αγγεία του αμφιβληστροειδή κλείσουν εξαιτίας της μεγάλης πίεσης), αν δεν υπάρξει άμεση χειρουργική επέμβαση εκτόνωσης.

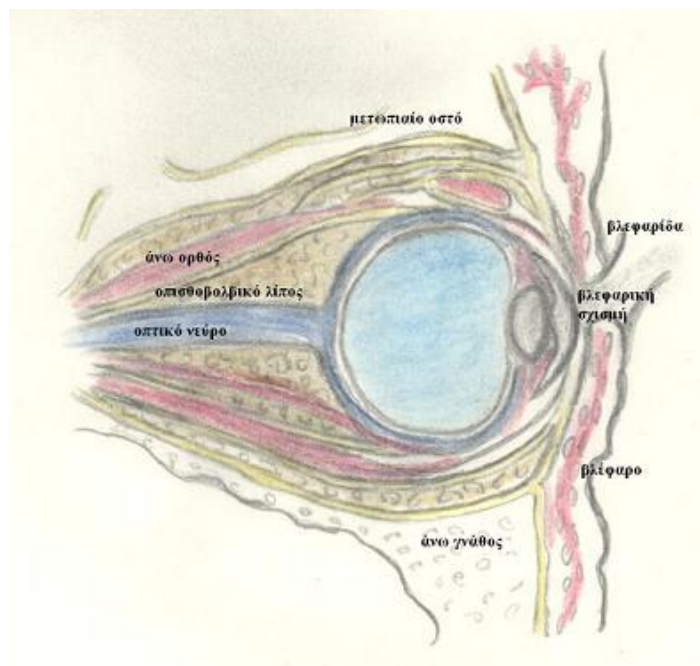
Η γωνία παίζει σημαντικό ρόλο στο γλαύκωμα (αν είναι κλειστή ή ανοικτή), γιατί από αυτήν παροχετεύεται το υδατοειδές υγρό μέσω του διηθητικού ηθμού (ιστός με ανοίγματα, δοκίδες, που διηθούν το υγρό). Πίσω από την ίριδα βρίσκεται ο **κρυσταλλοειδής φακός**, περίπου μεγέθους φακός. Ο κερατοειδής μαζί με τα φακό διαθλούν και συγκεντρώνουν τις ακτίνες του φωτός στον αμφιβληστροειδή, όπου εστιάζονται πάνω στην ωχρά. Πίσω από το φακό, το οπίσθιο τμήμα της κοιλότητας του βολβού αποτελείται από το **υαλοειδές σώμα**, ένα ζελατινώδες, διαφανές υλικό. Το υαλοειδές υγρό έχει μεγάλη ελαστικότητα και αντίσταση, αποτελείται από 99% νερό και 1% κολλαγόνο και ένα οξύ που του δίνει υφή ζελατινώδη. Καλύπτει τα 5 από τα 7-8 cm<sup>3</sup> του όγκου του οφθαλμού.

Ο σκληρός χιτώνας εσωτερικά περιβάλλεται από το **χοριοειδή χιτώνα**, πλούσιο σε αιμοφόρα αγγεία. Τέλος στο εσωτερικό τμήμα του ματιού υπάρχει ο **αμφιβληστροειδής χιτώνας**, ο νεύριος χιτώνας, που ουσιαστικά είναι τμήμα της εγκεφαλικής ουσίας. Ο αμφιβληστροειδής αποτελείται από πολλές επιμέρους στοιβάδες. Το φωτεινό ερέθισμα προσλαμβάνεται από τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, τα κωνία και τα ραβδία, και με πολύπλοκους μηχανισμούς μετατρέπεται σε νευρικό ερέθισμα. Τα γαγγλικά νευρικά κύτταρα προσλαμβάνουν το ερέθισμα και το μεταφέρουν μέσω του οπτικού νεύρου, που σχηματίζουν. Το **οπτικό νεύρο** είναι σαν κορδόνι, και σχηματίζεται από όλες τις νευρικές ίνες του αμφιβληστροειδούς (νευράξονες των γαγγλιακών κυττάρων). Οι ρινικές ίνες των δύο οπτικών νεύρων χιάζονται στο οπτικό χίασμα, πάνω από την υπόφυση, ενώ οι κροταφικές νευρικές ίνες παραμένουν αχίαστες. Στη συνέχεια μέσω της οπτικής οδού του εγκεφάλου, καταλήγουν στο πίσω μέρος της κεφαλής, στον οπτικό φλοιό, που εντοπίζεται στην πληκτραία σχισμή του ινιακού λοβού [1].



Εικόνα 1.3: Ανατομία του οφθαλμού

Κάθε μάτι αποτελείται από τον **οφθαλμικό βολβό**, που έχει περίπου σφαιρικό σχήμα, και βρίσκεται μέσα στον οφθαλμικό κόγχο. Ο **οφθαλμικός κόγχος** είναι μια κοιλότητα που σχηματίζουν τα οστά του κρανίου. Στο σχηματισμό της κοιλότητας αυτής συμμετέχουν αρκετά οστά, όπως η άνω γνάθος, το ζυγωματικό, το σφηνοειδές, το μετωπιαίο, το ηθμοειδές και το δακρυϊκό. Το μάτι προστατεύεται από τα **βλέφαρα**, το άνω και το κάτω, που αφορίζουν μεταξύ τους τη **βλεφαρική σχισμή**.





Εικόνα 1.4: Ο οφθαλμικός κόγχος σε οβελιαία διατομή (προφίλ)

Ανάμεσα στα οστά που σχηματίζουν τον οφθαλμικό κόγχο διακρίνονται τρήματα, μέσα από τα οποία πορεύονται αγγεία και νεύρα. Μέσα από το **οπτικό τρήμα** διέρχεται το **οπτικό νεύρο** (2η εγκεφαλική συζυγία) που μεταφέρει τις αισθητηριακές πληροφορίες από τον αμφιβληστροειδή προς τον εγκέφαλο. Επίσης διέρχεται η **οφθαλμική αρτηρία**, που τροφοδοτεί με αίμα το εσωτερικό του οφθαλμού. Μέσα από το **υπερκόγχιο σχίσμα** διέρχονται τα νεύρα που κινούν τους μύες του οφθαλμού (**κοινό κινητικό** ή 3η εγκεφαλική συζυγία, **τροχιλιακό** ή 4η εγκεφαλική συζυγία και **απαγωγό** ή 6η εγκεφαλική συζυγία) και ένα αισθητικό νεύρο, το **οφθαλμικό νεύρο**, που είναι ο πρώτος κλάδος του **τριδύμου** (5η εγκεφαλική συζυγία).

Στο άνω και έξω τοίχωμα του κόγχου φιλοξενείται ο **δακρυϊκός αδένας**, ενώ στο άνω και έσω τοίχωμα του κόγχου διακρίνεται ο **δακρυϊκός ασκός**. Αποτελούν μέρη της **δακρυϊκής συσκευής**, που ως ρόλο έχει την παραγωγή των δακρύων για την προστασία του κερατοειδούς και του επιπεφυκότα από την ξήρανση.

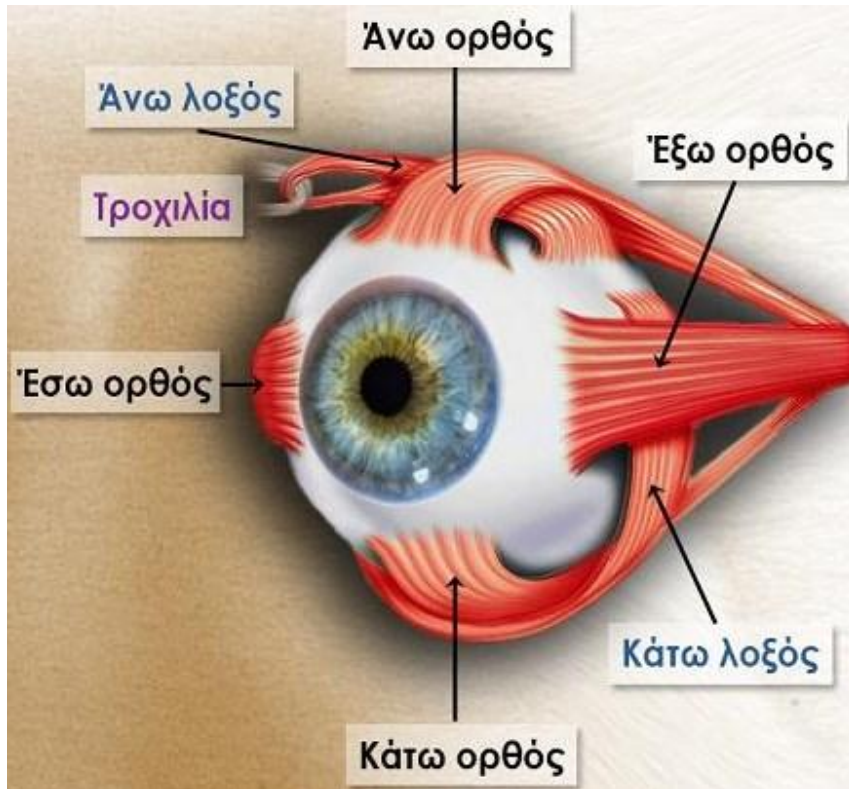
Στο οπίσθιο μέρος του οφθαλμικού βολβού υπάρχει **κυτταρολιπώδης ιστός**, που προστατεύει «σαν μαξιλάρι» τον οφθαλμικό βολβό από χτυπήματα [3].

## 1.2 Η οφθαλμική κίνηση

Την περιστροφική κίνηση του βολβού ελέγχουν 6 οφθαλμοκινητικοί μύες (τρία ζεύγη μυών), 4 ορθοί και 2 λοξοί. Κάθε ζεύγος είναι υπεύθυνο για την περιστροφή σε διαφορετικό επίπεδο στο χώρο, κάθετο στα υπόλοιπα δυο. Αυτοί οι μύες ελέγχουν την κατεύθυνση του βλέμματός μας και λειτουργούν σε συνεργασία με τους οφθαλμοκινητικούς μύες του άλλου ματιού. Αν για κάποιο λόγο οι μύες των δύο ματιών δεν συνεργάζονται αρμονικά, τα μάτια μπορεί να μην εστιάζουν ταυτόχρονα στο ίδιο σημείο με αποτέλεσμα την εμφάνιση στραβισμού.

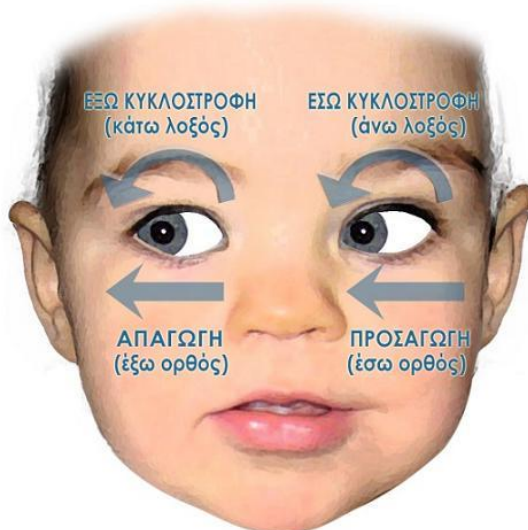
Οι 4 ορθοί μύες εκφύονται από το βάθος του οφθαλμικού κόγχου πίσω από τον βολβό του ματιού και καταλήγουν στον σκληρό χιτώνα λίγο πριν από το όριο του με τον κερατοειδή. Η δράση των ορθών μυών είναι αντίστοιχη της θέσης τους. Έτσι ο έσω ορθός στρέφει το μάτι προς τα έσω (προσαγωγή), ο έξω ορθός προς τα έξω (απαγωγή), ο άνω ορθός προς τα πάνω (άνω στροφή) και ο κάτω ορθός προς τα κάτω (κάτω στροφή) [4].

Οι 2 λοξοί μύες, σε αντίθεση με τους ορθούς, καταφύονται πίσω από τον ισημερινό και η λοξή τους πορεία κάνει τη δράση τους λιγότερο προφανή. Ο άνω λοξός εκφύεται από το βάθος του οφθαλμικού κόγχου πίσω από τον βολβό του ματιού αλλά πορευόμενος προς τα εμπρός περνάει μέσα από έναν χόνδρινο σχηματισμό, που βρίσκεται στο άνω χείλος του οφθαλμικού κόγχου κοντά στη μύτη και ονομάζεται τροχιλία. Η σύσπαση του άνω λοξού οδηγεί σε κάτω στροφή του ματιού αλλά και έσω κυκλοστροφή, δηλαδή περιστροφή του ματιού γύρω από τον προσθιοπίσθιο άξονά του, έτσι ώστε η 12η ώρα του να στρέφεται προς τη μύτη.



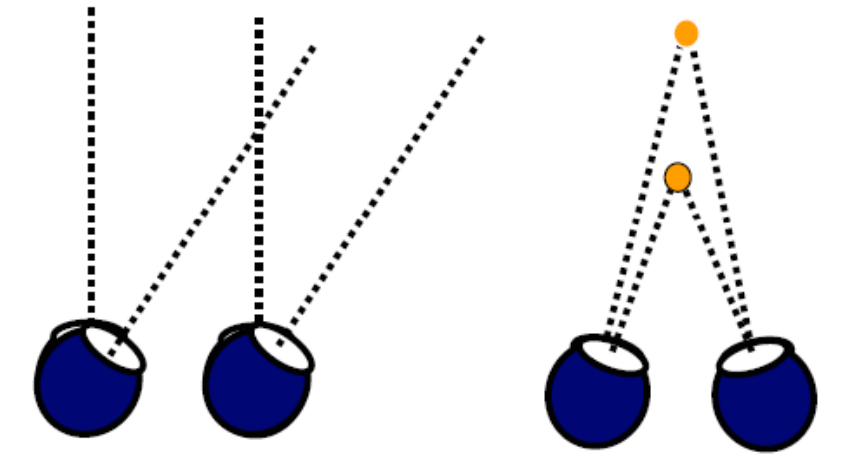
Εικόνα 1.5: Οι οφθαλμικοί μύες

Ο κάτω λοξός δεν εκφύεται από το βάθος του κόγχου, όπως οι 4 ορθοί και ο άνω λοξός, αλλά από το δακρυϊκό οστούν, που βρίσκεται κοντά στη μύτη. Η σύσπασή του οδηγεί σε άνω στροφή και έξω κυκλοστροφή, δηλαδή περιστροφή του ματιού γύρω από τον προσθιοπίσθιο άξονά του, έτσι ώστε η 12η ώρα του να στρέφεται προς τα έξω (κροταφικά).



Εικόνα 1.6: Η κινητική δράση των οφθαλμικών μυών

Οι οφθαλμικές κινήσεις διακρίνονται σε συζυγείς και μη συζυγείς. Κατά τις συζυγείς κινήσεις οι δύο οφθαλμοί κινούνται στην ίδια κατεύθυνση και περίπου κατά το ίδιο πλάτος και γωνιακή ταχύτητα. Κατά τις μη συζυγείς κινήσεις οι δύο οφθαλμοί κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις [5].



Εικόνα 1.7: Συζυγείς και μη συζυγείς κινήσεις

### 1.2.1 Σύστημα παρατήρησης (gaze system)

Η διαδικασία της προσήλωσης σε ένα αντικείμενο ελέγχεται από ένα συνδυασμό τριών υποσυστημάτων οφθαλμοκινητικού ελέγχου, τα οποία συνθέτουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρατήρησης (gaze system). Ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρατήρησης συλλαμβάνει και διατηρεί τις εικόνες ενδιαφέροντος στο κεντρικό βοθρίο, ακινητοποιεί την παρατηρούμενη εικόνα όταν το κεφάλι ή/και οι οφθαλμοί κινούνται και τέλος, διατηρεί τους οφθαλμούς ακίνητους όταν η εικόνα είναι εστιασμένη.

Το σύστημα παρατήρησης ελέγχει όλες τις οφθαλμικές κινήσεις και τις ταυτόχρονες κινήσεις του κεφαλιού και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Το οφθαλμοκινητικό σύστημα (oculomotor system).
- 2) Το σύστημα σταθεροποίησης / προσήλωσης (fixation system).
- 3) Το σύστημα κίνησης του κεφαλιού (head movement system) [6].

### 1.2.2 Το οφθαλμοκινητικό σύστημα (Oculomotor system)

Ο ρόλος του οφθαλμοκινητικού συστήματος είναι να διατηρεί το είδωλο του αντικειμένου-στόχου στο κεντρικό βοθρίο και συνεπώς υποστηρίζει την παρατήρηση ακίνητων και κινούμενων στόχων. Αυτό επιτυγχάνεται με τριών ειδών κινήσεις:

- 1) Τις σακκαδικές κινήσεις (saccades).
- 2) Τις ομαλές κινήσεις παρακολούθησης (smooth pursuit movements).
- 3) Τις κινήσεις σύγκλισης / απόκλισης (vergence eye movements).

### 1.2.3 Το σύστημα σταθεροποίησης / προσήλωσης (Fixation system)

Το σύστημα σταθεροποίησης προσδιορίζεται από τις οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης σε ένα σταθερό σημείο. Το οπτικό μας σύστημα ελέγχεται από τη νευρωνική προσαρμογή, η οποία αποτελεί τη βάση κάθε οπτικής επεξεργασίας. Οι σταθερές φωτεινές εντάσεις παράγουν αδύναμες νευρωνικές αποκρίσεις, ενώ οι απότομες αλλαγές των φωτεινών εντάσεων στο χώρο και το χρόνο προκαλούν ισχυρές νευρωνικές αποκρίσεις. Το αποτέλεσμα πρακτικά είναι τα σταθερά χαρακτηριστικά να εξασθενούν και τελικά να χάνονται από την οπτική μας αντίληψη.

Οι οφθαλμικές κινήσεις κατά τη διάρκεια της προσήλωσης είναι συνεπώς απαραίτητες, για να ξεπεραστεί η αδυναμία της οπτικής αντίληψης λόγω της

αμετάβλητης διέγερσης των αμφιβληστροειδικών νευρώνων, ακόμη και αν αυτό σημαίνει ενδεχόμενη μείωση της οπτικής οξύτητας. Ο σκοπός των οφθαλμοκινητικών μηχανισμών προσήλωσης δεν είναι η αμφιβληστροειδική σταθεροποίηση, αλλά η ελεγχόμενη μετακίνηση του αμφιβληστροειδικού ειδώλου, ώστε να είναι τελικά κατάλληλο για οπτική επεξεργασία. Η επιστημονική κοινότητα σήμερα συμφωνεί για την ύπαρξη τριών κυρίως τύπων οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης:

- 1) Τις τρέμουλο-κινήσεις ή φυσιολογικό νυσταγμό (tremor).
- 2) Τις κινήσεις διολίσθησης (drifts).
- 3) Τις μικροσακκαδικές κινήσεις (microsaccades).

#### 1.2.4 Το σύστημα κίνησης του κεφαλιού (head movement system)

Το σύστημα κίνησης του κεφαλιού είναι υπεύθυνο για το συγχρονισμό των κινήσεων του κεφαλιού με τις κινήσεις των οφθαλμών, με σκοπό τη διατήρηση του αντικειμένου-στόχου στο κεντρικό βοθρίο. Λόγω της συνεχούς εκούσιας και ακούσιας κίνησης του κεφαλιού, επηρεάζονται άμεσα όλες οι οφθαλμοκινήσεις και συνεπώς το οφθαλμοκινητικό και το σύστημα παρακολούθησης / προσήλωσης συνδέονται άρρηκτα με το σύστημα κίνησης του κεφαλιού. Το σύστημα κίνησης του κεφαλιού αποτελείται από δύο αντανακλαστικά, τα οφθαλμο-κεφαλικά αντανακλαστικά:

- 1) το οπτοκινητικό αντανακλαστικό ή οπτοκινητικό νυσταγμό (optokinetic reflex – OKR)
- 2) το οφθαλμο-αιθουσαίο αντανακλαστικό (vestibulo-ocular reflex – VOR).

### 1.3 Οι σακκαδικές κινήσεις

Οι σακκαδικές κινήσεις είναι γρήγορες, ταυτόχρονες κινήσεις και των δύο ματιών προς την ίδια κατεύθυνση. Ήδη από το 1908 οι κορυφαίοι φυσιολόγοι Dodge και Diefendorf εντόπισαν την ύπαρξή τους. Πρόκειται για τις πιο γρήγορες κινήσεις που συντελούνται στον άνθρωπο είτε εκκουσίως, καθώς ο τρόπος που απαρτιώνεται η όραση είναι μέσω συνεχών σακκαδικών κινήσεων, είτε αντανακλαστικώς, λόγω της αιφνίδιας εμφάνισης κάποιου οπτικού ερεθίσματος. Η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα των σακκαδικών κινήσεων στον άνθρωπο φτάνει 900°/sec. Κατά την εμφάνιση ενός απρόσμενου ερεθίσματος οι σακκαδικές κινήσεις χρειάζονται περίπου 200 msec για να ξεκινήσουν και στη συνέχεια διαρκούν 20-200

msec, ανάλογα με το πλάτος τους(20-30 msec είναι το χαρακτηριστικό πλάτος κατά την ανάγνωση). Υπό ορισμένες εργαστηριακές συνθήκες η καθυστέρηση ή ο χρόνος αντίδρασης των σακκαδικών κινήσεων μπορεί να μειωθεί σχεδόν στο μισό. Αυτές οι σακκαδικές δημιουργούνται από ένα νευρωνικό μηχανισμό που παρακάμπτει τα χρονοβόρα κυκλώματα και ενεργοποιεί τους μύες των ματιών πιο άμεσα.

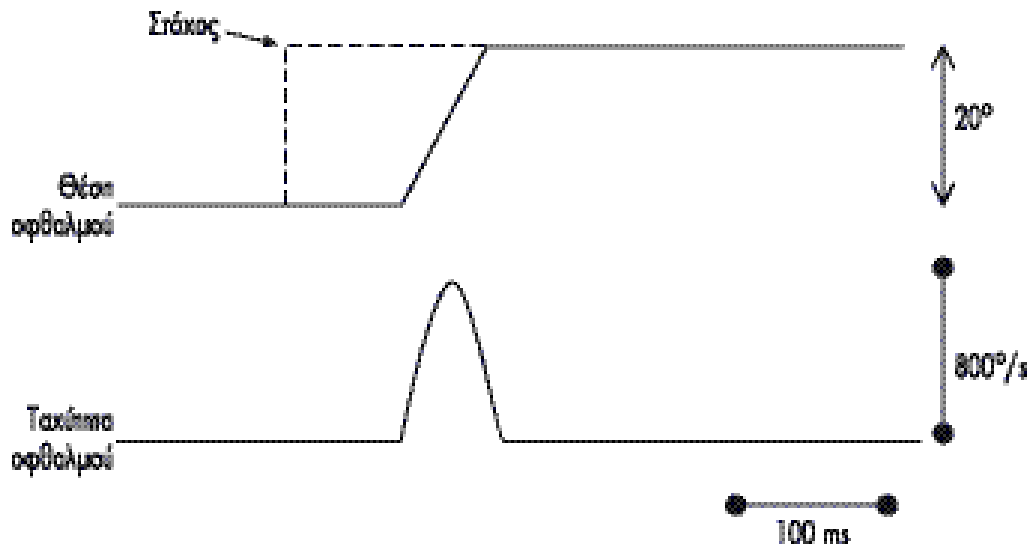


*Εικόνα 1.8: οι σακκαδικές κινήσεις κατά τη «σάρωση» μιας εικόνας.*

Το πλάτος μιας σακκαδικής κίνησης είναι η γωνιακή απόσταση που διανύει το μάτι κατά τη διάρκεια μιας κίνησης. Για πλάτη περίπου μέχρι  $60^\circ$  η ταχύτητα της σακκαδικής κίνησης εξαρτάται γραμμικά από το πλάτος (η λεγόμενη σακκαδική κύρια αλληλουχία). Σε σακκαδικές μεγαλύτερες των  $60^\circ$ , η μέγιστη ταχύτητα αρχίζει να σταθεροποιείται (μη γραμμικά) προς τη μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται από το μάτι. Για παράδειγμα ένα πλάτος  $10^\circ$  σχετίζεται με ταχύτητα  $300^\circ/\text{sec}$  και το πλάτος  $30^\circ$  σχετίζεται με ταχύτητα  $500^\circ/\text{sec}$ .

Οι σακκαδικές κινήσεις μπορούν να περιστρέψουν τα μάτια σε οποιαδήποτε κατεύθυνση προκειμένου να μεταφέρουν την κατεύθυνση παρατήρησης (την κατεύθυνση της όρασης που αντιστοιχεί στο βοθρίο), αλλά συνήθως οι σακκαδικές δεν περιστρέφουν το μάτι στρεπτικά. Στρέψη είναι η δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη περιστροφή γύρω από τη γραμμή όρασης όταν το μάτι βρίσκεται στην κεντρική, αρχική θέση του και σύμφωνα με αυτό τον ορισμό ο νόμος Listing λέει ότι όταν το κεφάλι είναι ακίνητο, η στρέψη διατηρείται στο μηδέν. Με το κεφάλι σε σταθερή θέση οι σακκαδικές μπορούν να έχουν πλάτη μέχρι  $90^\circ$ , αλλά υπό κανονικές συνθήκες έχουν πολύ μικρότερα πλάτη και κάθε στροφή του βλέμματος μεγαλύτερη από  $20^\circ$  συνοδεύεται από μια κίνηση κεφαλής. Κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου βλέμματος, αρχικά το μάτι παράγει μια σακκαδική κίνηση για να δει το στόχο, ενώ το κεφάλι ακολουθεί πιο αργά και το οφθαλμο-αιθουσιαίο αντανακλαστικό προκαλεί τα μάτια να μείνουν στο στόχο. Κατά τη διάρκεια τέτοιων κινήσεων του κεφαλιού ο νόμος Listing δεν ισχύει.

Οι σακκαδικές κινήσεις, όπως και οι μικροσακκαδικές, μπορούν να διαχωριστούν από άλλες κινήσεις των ματιών (ομαλές κινήσεις παρακολούθησης, τρέμουλο-κινήσεις, κινήσεις διολίσθησης) χρησιμοποιώντας τη βαλλιστική τους φύση: η μέγιστη ταχύτητά τους είναι ανάλογη με το μήκος τους. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αλγόριθμους για την ανίχνευση των σακκαδικών κινήσεων σε δεδομένα παρακολούθησης των ματιών.



Εικόνα 1.9: Χρονικές μεταβολές της θέσης και της ταχύτητας των οφθαλμών κατά την πραγματοποίηση σακκαδικής κίνησης.

Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις σακκαδικές κινήσεις με βάση τον αρχικό τους στόχο στα εξής είδη:

- **Οπτικά καθοδηγούμενη σακκαδική κίνηση:** τα μάτια κινούνται προς ένα οπικό ερέθισμα. Οι παράμετροι των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών κινήσεων (πλάτος, απόκριση, διάρκεια, μέγιστη ταχύτητα) συχνά μετρώνται ως σημείο αναφοράς για τη μέτρηση άλλων τύπων σακκαδικών κινήσεων. Οι οπτικά καθοδηγούμενες σακκαδικές κινήσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο υποκατηγορίες:
  - 1) *Αντανακλαστική σακκαδική κίνηση*, η οποία ενεργοποιείται εξογενώς από την εμφάνιση ενός περιφερειακού ερεθίσματος ή από την εξαφάνιση ενός ερεθίσματος σταθεροποίησης.
  - 2) *Σακκαδική κίνηση σάρωσης*, η οποία ενεργοποιείται ενδογενώς για το σκοπό της εξερεύνησης του οπτικού περιβάλλοντος.
- **Αντισακκαδική κίνηση:** τα μάτια κινούνται μακριά από την οπτική εμφάνιση. Οι κινήσεις αυτές είναι πιο αργές από τις οπτικά καθοδηγούμενες και οι παρατηρητές κάνουν συχνά λάθος σακκαδικές σε λάθος κατεύθυνση. Μια επιτυχημένη σακκαδική απαιτεί την αναστολή μιας αντανακλαστικής σακκαδικής στη θέση έναρξης και εθελοντικά την κίνηση του ματιού προς την άλλη κατεύθυνση.
- **Σακκαδική καθοδηγούμενη από τη μνήμη:** τα μάτια κινούνται προς ένα σημείο που «θυμούνται» χωρίς οπτικό ερέθισμα.

- **Ακολουθία προβλέψιμων σακκαδικών κινήσεων:** τα μάτια μένουν σε ένα αντικείμενο που κινείται με χρονικά ή τοπικά προβλέψιμο τρόπο [7].

### 1.3.1 Ιδιότητες των σακκαδικών κινήσεων

#### 13.1.α Κέρδος και πλάτος

Το πλάτος μίας σακκαδικής μετρείται συνήθως σε μοίρες. Για πλάτος έως 60 μοίρες, η διάρκεια της σακκαδικής είναι γραμμικά εξαρτημένη του πλάτους. Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη ταχύτητα είναι επίσης γραμμικά εξαρτημένη του πλάτους. Για σακκαδικές μεγαλύτερες των 60 μοιρών, η μέγιστη ταχύτητα παραμένει σταθερή σε αυτή του ματιού. Έτσι, η μέγιστη ταχύτητα αυτών δεν είναι εξαρτημένη γραμμικά με το πλάτος, δηλαδή η κύρια σχέση ακολουθίας δεν είναι πλέον έγκυρη.

Το πλάτος μίας σακκαδικής μετράει τη γωνιακή απόσταση της περιστροφής των ματιών. Η ακρίβεια της σακκαδικής, καθορίζεται με τον όρο του κέρδους. Κέρδος είναι η αναλογία μεταξύ του πραγματικού πλάτους της σακκαδικής με το ιδανικό πλάτος. Το ιδανικό πλάτος καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων προσήλωσης ή από την κίνηση του ενός. Κατά τη διάρκεια της ιδανικής σακκαδικής κίνησης το κέρδος έχει τιμή η οποία τείνει στη μονάδα. Αν το κέρδος υπερβαίνει τη μονάδα, σημαίνει ότι η σακκαδική κίνηση είναι πολύ μικρή. Κατά συνέπεια, εάν είναι μικρότερο της μονάδας σημαίνει ότι έχουμε μεγάλη σακκαδική κίνηση. Λόγοι που μπορεί να δημιουργούν ανακρίβειες στις σακκαδικές κινήσεις είναι οι εκ γενετής ανωμαλίες, μακροχρόνιες και μη ασθένειες και συστηματική λήψη φαρμάκων.

#### 1.3.1.β Ταχύτητα

Η ταχύτητα μιας σακκαδικής κίνησης εξαρτάται από το μέγεθος της. Εάν το πλάτος είναι μεγάλο, η ταχύτητα θα αυξηθεί. Κυμαίνεται συνήθως από 100 έως 700 μοίρες το δευτερόλεπτο και είναι ανάλογη του πλάτους. Η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα του ματιού κατά τη διάρκεια μίας σακκαδικής μπορεί να φτάσει στη μέγιστη τιμή της τις 1000 μοίρες ανα δευτερόλεπτο. Ανεξάρτητα από τη μέγιστη ταχύτητα, το προφίλ της ταχύτητας των σακκαδικών κινήσεων είναι πολύ συμμετρικό. Παράγοντες που μπορεί να μειώσουν την ταχύτητα είναι η λήψη ναρκωτικών ουσιών και η υπνηλία.

#### 1.3.1.γ Διάρκεια

Οι σακκαδικές κινήσεις διαρκούν από 20 msec έως και 800 msec. Επειδή όμως ο ακριβής καθορισμός της αρχής και του τέλους της κίνησης είναι δύσκολος, η διάρκειά της είναι δύσκολο να μετρηθεί ακριβώς. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων



στις οποίες φτάνει το μάτι κατά τη διάρκεια της κίνησης, συνήθως συμπληρώνονται τα 100 msec. Η διάρκεια εξαρτάται επίσης και από το πλάτος της σακκαδικής.

#### 1.3.1.δ Χρόνος απόκρισης

Ο χρόνος που περνάει από τη στιγμή που ένα αντικείμενο εμφανίζεται στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή, μέχρι να ξεκινήσει η σακκαδική κίνηση ως αντίδραση ονομάζεται χρόνος απόκρισης. Αυτή η παράμετρος ποικίλει σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τις προηγούμενες παραμέτρους που αφορούν τις σακκαδικές. Ο αρχικός χρόνος απόκρισης σακκαδικών με πλάτος 5-10 μοίρες είναι περίπου 200 msec. Ο χρόνος απόκρισης των διορθωτικών σακκαδικών είναι σημαντικά μικρότερος περίπου δηλαδή 70 msec. Ισχυρό ερέθισμα, υψηλή ταχύτητα και παρόμοιοι παράγοντες μειώνουν το χρόνο απόκρισης. Από την άλλη πλευρά, πιθανή εξάντληση του παρατηρητή ή κούραση αυξάνει το χρόνο απόκρισης.

### 1.4 Οι μικροσακκαδικές κινήσεις

Οι μικροσακκαδικές κινήσεις αποτελούν ένα είδος κίνησης του συστήματος προσήλωσης/σταθεροποίησης του ματιού. Είναι μικρές ακούσιες κινήσεις του ματιού (σαν τραντάγματα) παρόμοιες με τις μικροσκοπικές εκκούσιες σακκαδικές κινήσεις. Συνήθως συμβαίνουν κατά τη διάρκεια παρατεταμένης οπτικής προσήλωσης (τουλάχιστον μερικών δευτερολέπτων), όχι μόνο στον άνθρωπο αλλά επίσης και σε ζώα με όραση βοθρίου (πρωτεύοντα θηλαστικά, γάτες κτλ.). το πλάτος της κίνησής τους κυμαίνεται από 2 μέχρι 120 arcminutes. Τα πρώτα εμπειρικά στοιχεία για την ύπαρξή τους γνωστοποιήθηκαν από τον Robert Darwin (γιος του Charles Darwin).

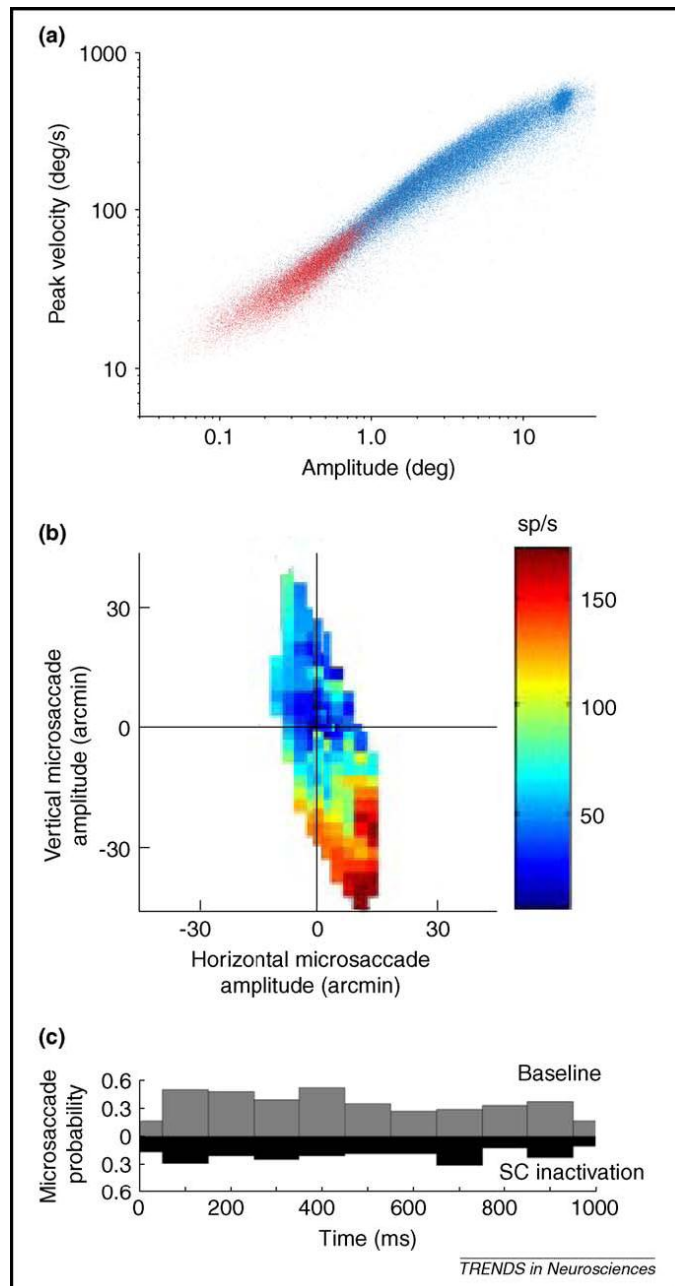
Ο ρόλος των μικροσακκαδικών κινήσεων υπήρξε ένα ιδιαίτερα συζητημένο θέμα που εξακολουθεί να είναι άλυτο σε μεγάλο βαθμό. Ο πιθανότερος ρόλος των μικροσακκαδικών είναι να διορθώνουν μετατοπίσεις των ματιών οι οποίες παράγονται από τις κινήσεις διολίσθησης (drifts) παρόλο που παράγονται και «λανθασμένες» μικροσακκαδικές. Επίσης, πιστεύεται ότι εμποδίζουν την εικόνα του αμφιβληστροειδούς από το ξεθώριασμα, αλλά δεν συμβαίνουν αρκετά συχνά για το σκοπό αυτό, θεωρώντας ότι τέλεια σταθεροποιημένες εικόνες μπορεί να εξαφανιστούν από την αντίληψη σε λίγα δευτερόλεπτα ή λιγότερο. Η σημερινή αντίληψη είναι ότι όλες οι κινήσεις των οφθαλμών προσήλωσης είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ορατότητας. Η πιθανότητα ύπαρξης, κατευθυντικότητας και πλάτους των εξαρτάται από προηγούμενες μετατοπίσεις του αμφιβληστροειδικού ειδώλου. Για παράδειγμα αν οι κινήσεις διολίσθησης μεταφέρουν τον στόχο προσήλωσης μακριά από το κεντρικό βοθρίο, οι μικροσακκαδικές τείνουν να επαναφέρουν το είδωλο πίσω. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι ίσως να αντιδρούν στην αδρανοποίηση και την προσαρμογή των φωτοϋποδοχέων σε μια

μικρή κλίμακα χρόνου και στην διόρθωση σφαλμάτων προσήλωσης σε μια πιο ευρεία κλίμακα χρόνου.

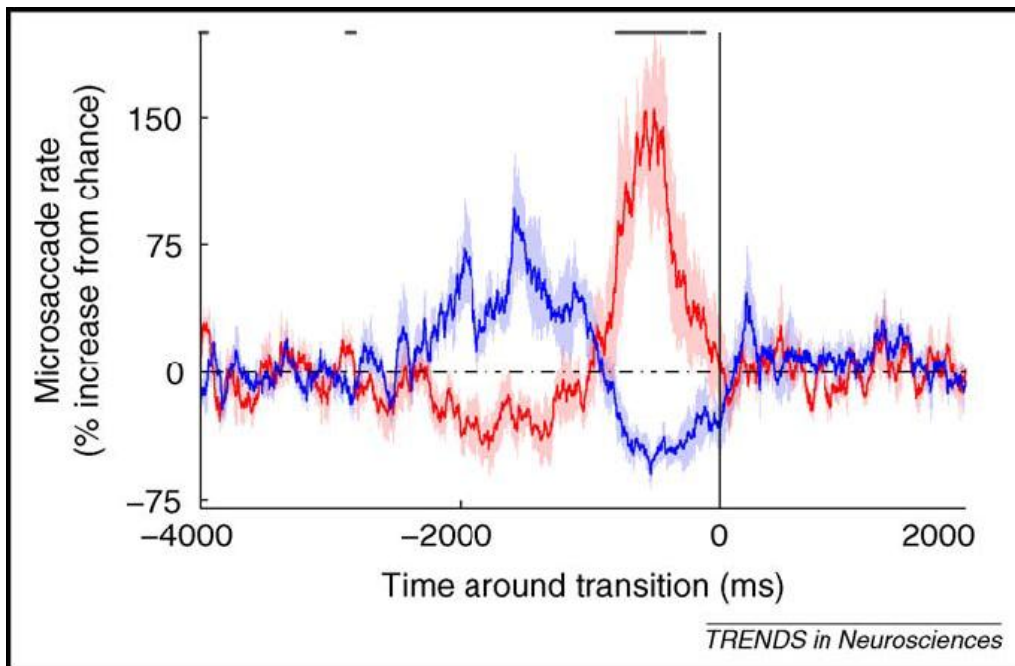
Πειράματα νευροφυσιολογίας από διαφορετικά εργαστήρια έδειξαν ότι οι κινήσεις προσήλωσης των ματιών, ιδιαίτερα οι μικροσακκαδικές, διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό τη δραστηριότητα των νευρώνων σε οπτικές περιοχές του εγκεφάλου στη μαϊμού. Στον πλευρικό πυρήνα geniculate (EON) και στον πρωτογενή οπτικό φλοιό (V1), οι μικροσακκαδικές μπορούν να μετακινήσουν ένα σταθερό ερέθισμα μέσα και έξω από δεκτικό πεδίο ενός νευρώνα, παράγοντας έτσι παροδικές νευρικές αντιδράσεις. Οι μικροσακκαδικές θα μπορούσαν να ευθύνονται για μεγάλο μέρος της μεταβλητότητας απόκρισης των νευρώνων στην οπτική περιοχή V1 της άγρυπνης μαϊμούς.

Η τρέχουσα έρευνα στην οπτική νευροεπιστήμη και ψυχοφυσική ερευνά πώς οι μικροσακκαδικές σχετίζονται με τη διόρθωση της σταθεροποίησης, τον έλεγχο της ανισότητας της διοπτρικής σταθεροποίησης. Η πρόσφατη έρευνα έχει βρεί μια άμεση συσχέτιση μεταξύ απατηλής κίνησης και μικροσακκαδικών κινήσεων.

Προβλήματα ελλειματικής προσοχής-υπερκινητικότητας (ADHD: Attention Deficit Hyperactivity Disorder) αποτυγχάνουν να καταστείλουν το ανοιγόκλεισμα των ματιών και τις μικροσακκαδικές, ενώ αναμένεται το οπτικό ερέθισμα, αλλά ανακάμπτουν με φαρμακευτική αγωγή, και οι μικροσακκαδικές κινήσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως διαγνωστική δοκιμή για ADHD [8].



Εικόνα 1.10: Μηχανισμοί παραγωγής σακκαδικών κινήσεων



Εικόνα 1.11: Οι μικροσακκαδικές αντισταθμίζουν την οπτική εξασθένιση

#### 1.4.1 Σχέση σακκαδικών-μικροσακκαδικών κινήσεων

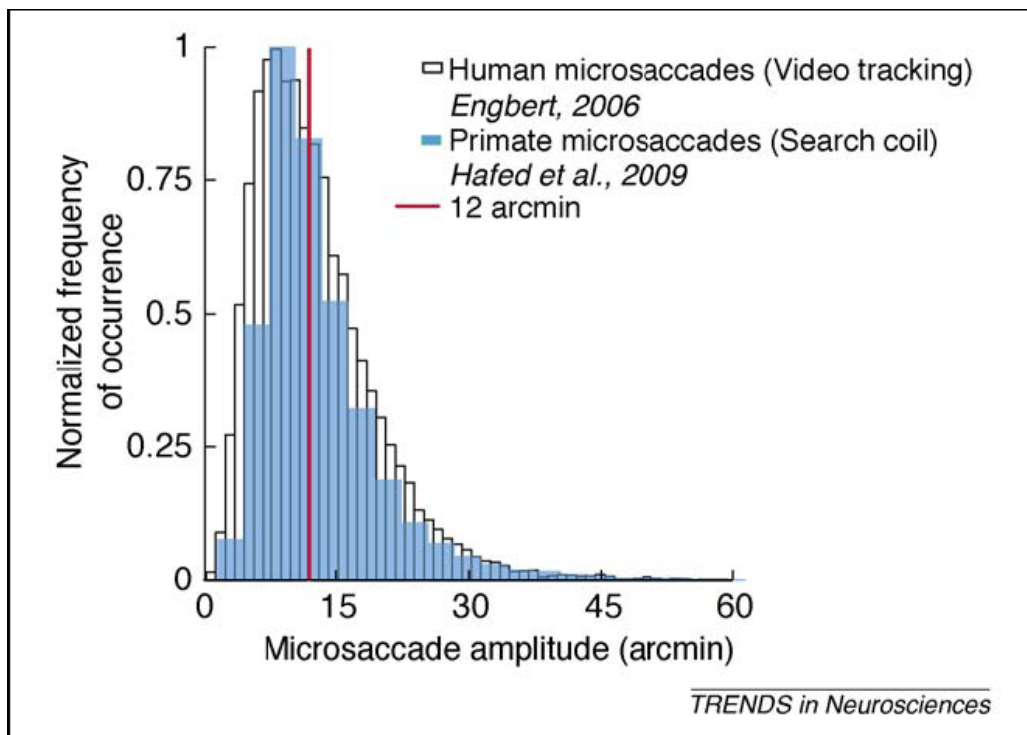
Οι μικροσακκαδικές και οι σακκαδικές κινήσεις μοιράζονται αρκετά φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, γεγονός το οποίο δείχνει ότι και οι δύο οφθαλμικές κινήσεις έχουν κοινή οφθαλμοκινητική προέλευση. Οι κοινές τους ιδιότητες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- i. Οι μικροσακκαδικές και οι σακκαδικές είναι γενικά διοπτρικές, συζυγείς κινήσεις με συγκρίσιμα πλάτη και κατευθύνσεις και στα δύο μάτια.
- ii. Οι μικροσακκαδικές και οι σακκαδικές ακολουθούν την κεντρική αλληλουχία. Αυτό σημαίνει ότι οι μέγιστες ταχύτητες των μικροσακκαδικών/σακκαδικών σχετίζονται παραμετρικά με τα αντίστοιχα πλάτη τους, όπως συμβαίνει και με τη διάρκειά τους.
- iii. Τα κατώτατα όρια οπτικής αντίληψης αυξάνονται κατά τη διάρκεια των σακκαδικών και των μικροσακκαδικών, ένα φαινόμενο που αναφέρεται ως σακκαδική/μικροσακκαδική καταστολή.
- iv. Τα ενδοσακκαδικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης είναι συγκρίσιμα με τα ενδομικροσακκαδικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της προσήλωσης σε ένα και μόνο γράμμα.
- v. Οι αναλογίες σακκαδικών και μικροσακκαδικών μπορούν να μειωθούν σκόπιμα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εργασιών.
- vi. Οι ακούσιες σακκαδικές μπορούν να είναι τόσο μικρές όσο και οι μικροσακκαδικές προσήλωσης.

- vii. Οι σακκαδικές και οι μικροσακκαδικές έχουν συνδεθεί με μετατοπίσεις προσοχής.

Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει σημαντική αλληλεπίδραση στην παραγωγή των σακκαδικών και των μικροσακκαδικών κινήσεων:

- i. Οι αναλογίες των μικροσακκαδικών και τα πλάτη μειώνονται πριν την έναρξη των σακκαδικών.
- ii. Οι μικροσακκαδικές συμβαίνουν έως και αρκετά χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν την καθυστέρηση του σήματος της σακκαδικής έναρξης.
- iii. Τα ενδοσακκαδικά διαστήματα είναι ισοδύναμα για όλους τους συνδυασμούς ζευγών σακκαδικών και μικροσακκαδικών κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησης αλλά και των εργασιών ελεύθερης οπτικής αναζήτησης [9].



Εικόνα 1.12: Κατανομή των μικροσακκαδικών πλατών στον άνθρωπο και σε άλλα θηλαστικά

## Κεφάλαιο 2: Συσχετισμός σακκαδικών κινήσεων με παθήσεις

### 2.1 Φυσιολογία σακκαδικού συστήματος

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούν και οι αποκαλούμενες «αντανακλαστικές» προσακκαδικές κινήσεις, οι οποίες είναι οφθαλμικές κινήσεις που προηγούνται των σακκαδικών και έχουν μικρό χρόνο αντίδρασης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το εύρος των αντανακλαστικών κινήσεων διαφέρει μεταξύ υγιών ανθρώπων και πασχόντων από σχιζοφρένεια. Οι αντισακκαδικές κινήσεις είναι οφθαλμικές κινήσεις που γίνονται προς κατεύθυνση αντίθετη του οπτικού ερεθίσματος και υπόκεινται στο βουλητικό έλεγχο.

Με την απεικονιστική μέθοδο της Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας (fMRI), ευρέθη πως κατά την εκτέλεση οπτικώς καθοδηγούμενων σακκαδικών κινήσεων ενεργοποιείται ο φακοειδής πυρήνας, ενώ μέχρι τότε ήταν γνωστή μόνο η ενεργοποίηση της δεξιάς οπίσθιας περιοχής του θαλάμου, μέσω μελέτης με Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET) (Sweeney 1996). Η ενεργοποίηση του φακοειδούς πυρήνα σχετίζεται με την έμμεση ανασχετική δράση του θαλάμου (που δρα δια μέσου του φακοειδούς πυρήνα) προς τον υποθαλαμικό πυρήνα και εντέλει προς το στέλεχος (του οποίου η καθοριστική σημασία στη γέννηση των σακκαδικών κινήσεων έχει ήδη προαναφερθεί). Υπάρχει όμως και άμεση ανασχετική δράση, την οποία ασκούν τα βασικά γάγγλια μέσω του κελύφους προς το θάλαμο, οπότε αυξάνεται η θαλαμοφλοιϊκή δραστηριότητα. Η ενεργοποίηση της αμέσου ανασχετικής οδού ευοδώνει την τέλεση σακκαδικών κινήσεων, ενώ της εμμέσου προάγει περαιτέρω την ανάσχεσή τους.

Το ραβδωτό σώμα δέχεται ερεθίσματα από τις φλοιϊκές περιοχές του οφθαλμοκινητικού συστήματος (Alexander και Cruther 1990, Berthoz 1996). Δια μέσου του ραβδωτού σώματος αυτές οι φλοιϊκές περιοχές ασκούν επιρροή ανάσχεσης επί των δομών του μεσεγκεφάλου (Hikosaka et al 2000), οπότε παρεμβαίνουν στη δημιουργία αντανακλαστικών σακκαδικών κινήσεων (Everling 1999).

Όμως, φαίνεται να υπάρχει η δυνατότητα επίδρασης και χωρίς τη διαμεσολάβηση του ραβδωτού σώματος, μέσω υποβοηθητικών, συμπληρωματικών μηχανισμών, ακόμα και με απ' ευθείας προβολή στο μεσεγκέφαλο, είτε από τα μετωπιαία οπτικά πεδία (Sommer και Wurz 2000), είτε μέσω του οπισθοπλάγιου προμετωπιαίου φλοιού (Gaymard et al 2003). Επιπλέον, ο λανθάνων χρόνος κατά τη σακκαδική δοκιμασία εξαρτάται από τις προβολές των φλοιϊκών οπτικών πεδίων, όσο και των βασικών γαγγλίων στα πρόσθια διδύμια. Η ακρίβεια των σακκαδικών κινήσεων ελέγχεται από την παρεγκεφαλίδα (Robinson et al 1993), ενώ το μέγιστο εύρος τους καθορίζεται από το στέλεχος (Van Gisberger et al 1981).

Τόσο ο οπισθοπλάγιος μετωπιαίος φλοιός, όσο και ο μετωπιαίος συμπληρωματικός φλοιός, καθώς και τα βρεγματικά οπτικά πεδία, αποτελούν μέρη του νεοφλοιού. Φαίνεται να υπάρχει άμεση συσχέτιση αυτών των περιοχών, με άμεσες προσεκβολές τους προς τα πρόσθια διδύμια, που σχετίζονται με τη γέννηση των σακκαδικών κινήσεων (Segraves και Goldberg 1987, Wurz 1997, Schall και Bichot 1998, Munoz 2002, Segraves και Helminski 2003). Πέραν των προαναφερθέντων άμεσων προσεκβολών, υπάρχει και έμμεση επικοινωνία με τα πρόσθια διδύμια μέσω του κερκοφόρου πυρήνα και της μέλαινας ουσίας, δια μέσου δηλαδή του δικτυωτού σχηματισμού (Hikosaka et al 2000).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες παθήσεις οι οποίες έχουν στη συμπτωματολογία τους παρεκκλίσεις των σακκαδικών κινήσεων από το φυσιολογικό επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο γίνεται κατανοητός ο λόγος για τον οποίο αξίζει να αναλύονται και να παρακολουθούνται οι σακκαδικές κινήσεις, καθώς κρύβουν χρήσιμες πληροφορίες για τη νευρολογία και την ψυχιατρική.

## 2.2 Μεθοδολογία μελέτης σακκαδικών κινήσεων στη σχιζοφρένεια

Η μελέτη των σακκαδικών κινήσεων έχει από χρόνια συσχετιστεί με ψυχικές παθήσεις όπως η σχιζοφρένεια, η ιδεοψυχαναγκαστική διαταραχή κτλ. Με τις σύγχρονες νευροαπεικονιστικές μεθόδους, κυρίως την fMRI, το ενδιαφέρον αναζωπυρώθηκε, κάτι στο οποίο έχει συντελέσει και η προσπάθεια εύρεσης ενδοφαινοτύπων σχετιζόμενων με ψυχικές νόσους. Στη συνέχεια, καταγράφονται έρευνες που έχουν διεξαχθεί μελετώντας τη νευροφυσιολογία των σακκαδικών και αντισακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων στους πάσχοντες από σχιζοφρένεια.

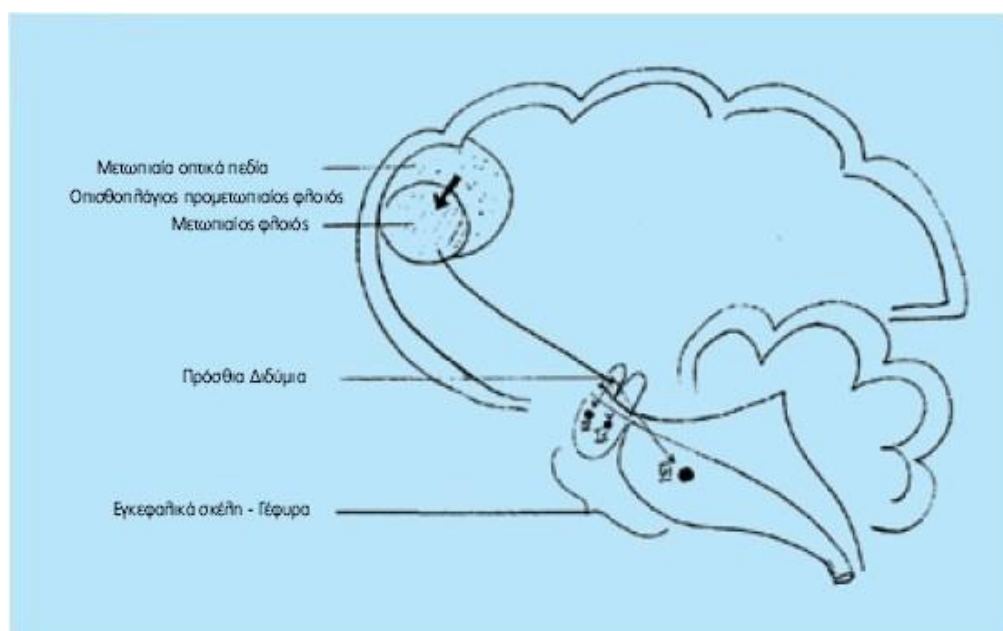
Οι δοκιμασίες που εφαρμόστηκαν προκειμένου να μελετηθούν όλα τα είδη οφθαλμικών κινήσεων (σακκαδικές, αντισακκαδικές, προσακκαδικές), τόσο στους ασθενείς, όσο και στους πρώτου βαθμού συγγενείς τους και σε υγιείς μάρτυρες είναι οι εξής:

Ο εξεταζόμενος και ο εξεταστής βρίσκονται σε ένα δωμάτιο, όπου ο φωτισμός είναι ανύπαρκτος ή σχεδόν ανύπαρκτος, με τον εξεταζόμενο να είναι καθιστός και να κοιτά προς την οθόνη ενός υπολογιστή. Η οθόνη είναι αρχικώς κενή από οποιοδήποτε οπτικό ερέθισμα. Εν συνεχεία, ενημερώνεται από τον εξεταστή ότι θα εμφανίζεται στην οθόνη ένα οπτικό ερέθισμα, αρχικά στο κέντρο της οθόνης και κατόπιν περιφερικά προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Έτσι ακολουθεί την κίνηση του οπτικού αυτού στόχου για ορισμένες φορές, οπότε γίνεται η καταγραφή των σακκαδικών κινήσεων. Αντίθετα, στην αντισακκαδική δοκιμασία καλείται να κοιτά στην αντίθετη κατεύθυνση από εκεί που εμφανίζεται ο περιφερικός στόχος, οπότε και γίνεται η καταγραφή των αντισακκαδικών κινήσεων.

Για τις οπτικές καθοδηγούμενες σακκαδικές κινήσεις και τον τρόπο επιτέλεσής τους έχει γίνει ήδη αναφορά, ενώ ο λόγος διεξαγωγής τους είναι η πραγματοποίηση μιας στοχοποιημένης σακκαδικής κίνησης. Αντίθετα, οι

σακκαδικές κινήσεις προς απομνημονευμένο στόχο, εκτελούνται με τον εξεταζόμενο να βλέπει για άλλο χρονικό διάστημα τον οπτικό στόχο αναλόγως της πειραματικής διάταξης και αφού ο στόχος εξαφανισθεί ο εξεταζόμενος καλείται (αφού προηγηθεί το ερέθισμα έναρξης της κίνησης) να δει όσο το δυνατόν εγγύτερα προς το σημείο που είχε εμφανιστεί ο αρχικός στόχος. Παράδειγμα τέτοιας πειραματικής διάταξης είναι η εξής: Το υποκείμενο βλέπει τον οπτικό στόχο για 1.500ms, εν συνεχεία εξαφανίζεται το ερέθισμα και 750ms μετά την εμφάνιση του ερεθίσματος έναρξης της κίνησης, επανεμφανίζεται ο στόχος στο ίδιο σημείο, προκειμένου να δοθεί στον εξεταζόμενο η δυνατότητα να διορθώσει την όποια απόκλιση του βλέμματός του προς τον αρχικό στόχο.

Ουσιαστικά, με αυτή τη δοκιμασία ο εξεταζόμενος καλείται να καταστείλει μία οπτικώς καθοδηγούμενη σακκαδική κίνηση και ταυτόχρονα να παράγει εν τη γενέσει της μία σακκαδική κίνηση επί της προενθυμούμενης θέσης του οπτικού στόχου.



*Εικόνα 2.1: Απεικόνιση των μετωπιαίων οπτικών πεδίων, των πρόσθιων διδυμίων και των πυρήνων της τρίτης, τέταρτης και έκτης εγκεφαλικής συζυγίας στην περιοχή του μεσεγκεφάλου.*



## 2.2.1 Ευρήματα

### 2.2.1.α Σακκαδικές κινήσεις σε σχιζοφρενείς ασθενείς

Κατά την τέλεση αυτών των δοκιμασιών τα αποτελέσματα μεταξύ υγιών μαρτύρων συγκρινόμενα, τόσο με αυτά των πασχόντων από σχιζοφρένεια, όσο και με τους πρώτου βαθμού συγγενείς τους, εμφανίζουν σε κάποιες παραμέτρους τους ομοιότητες, αλλά και σε άλλες παραμέτρους σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Σε σχιζοφρενείς ασθενείς εμφανίζεται πολύ συχνότερα από τους υγιείς μάρτυρες η παρουσία παρεισφρυομένων σακκαδικών κινήσεων (δηλαδή, σακκαδικών κινήσεων που εμφανίζονται στην προσπάθεια των ασθενών να εστιάσουν στον αρχικά ακίνητο στόχο και είναι προϊούσες κανονικών μελλοντικών σακκαδικών κινήσεων). Για την ύπαρξη παρεισφρυομένων σακκαδικών κινήσεων έχουν αναπτυχθεί διάφορες απόψεις:

α) Ο Levin το 1984 αναφέρθηκε σε αποτυχία του μετωπιαίου λοβού να αναχαιτίσει την ενεργοποίηση υποφλοιωδών δομών που εμπλέκονται στην οφθαλμοκινητικότητα, όπως τα πρόσθια διδύμια.

β) Το 1990 οι Braff και Geyer πιθανολόγησαν ότι η ύπαρξη των παρεισφρυσών σακκαδικών συσχετίζεται με ένα έλλειμμα, με μία ανεπάρκεια στην αισθητηριοκινητική δραστηριότητα που γενικά παρατηρείται στη σχιζοφρένεια.

Εκτός των παρεισφρυσών σακκαδικών κινήσεων, υπάρχουν και άλλα είδη όπως είναι οι οπτικώς καθοδηγούμενες σακκαδικές κινήσεις, καθώς και οι σακκαδικές κινήσεις προς απομνημονευμένο στόχο. Η εκτέλεσή τους έχει ως στόχο την ανάδειξη και την έρευνα της υπολειπόμενης λειτουργίας του μετωπιαίου λοβού, που υπάρχει στη σχιζοφρένεια σε σχέση με υγιείς μάρτυρες.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι πάσχοντες από σχιζοφρένεια σε σχέση με τους υγιείς μάρτυρες κάνουν μικρότερου εύρους (υπομετρικές) σακκαδικές κινήσεις. Αυτή η υπομετρία αντανακλά ένα έλλειμμα της χωρικής ενεργού μνήμης και δεν είναι αποτέλεσμα αποκλεισμού των ντοπαμινεργικών υποδοχέων, λόγω της φαρμακευτικής αγωγής. Το τελευταίο αυτό προέκυψε όταν οι πάσχοντες χωρίστηκαν σε δύο υποκατηγορίες με κριτήριο το εάν ήξεραν για την ασθένεια, καθώς και τι είδους αγωγή ελάμβαναν ή όχι, οπότε δεν εμφάνισαν μεταξύ τους διαφορές. Στις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες δεν εμφανίστηκαν διαφορές μεταξύ τους, ούτε στο εύρος των σακκαδικών κινήσεων.

Με τη μέθοδο της Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας (fMRI) βρέθηκε πως στα υγιή αδέρφια σχιζοφρενών ασθενών σε σχέση με τους υγιείς μάρτυρες και κατά την εκτέλεση αντανακλαστικών σακκαδικών κινήσεων, δεν ενεργοποιείται ο κερκοφόρος πυρήνας, κάτι το οποίο μάλλον συσχετίζεται με ελαττωματική διασύνδεση μετωπιαίων περιοχών (σχετιζόμενων με την οφθαλμοκινητικότητα) και του ραβδωτού σώματος.

Σε ό,τι αφορά στον λανθάνοντα χρόνο των σακκαδικών κινήσεων, παρατηρήθηκε αύξησή του σε σχιζοφρενείς ασθενείς που βρίσκονταν στο πρώτο επεισόδιο εμφάνισης της νόσου και παράλληλα δεν λάμβαναν θεραπευτική αγωγή.

Σε ό,τι αφορά σε όλα τα είδη των σακκαδικών δοκιμασιών και τον έλεγχό τους, την εκτέλεσή τους, πρέπει να τονιστεί το γεγονός πως αποτελούν μέρος της αξιολόγησης της αντίληψης. Έτσι, μπορούμε να εκτιμήσουμε διάφορες αντιληπτικές παραμέτρους, όπως είναι η οπτικοχωρική προσοχή και η ενεργός χωρική μνήμη, οι οποίες υπολείπονται σαφώς στους αρρώστους.

Υπάρχει επίσης διαφορά, αναλόγως της ηλικίας του υποκειμένου, στο χρόνο αντίδρασης, ο οποίος αυξάνεται όσο η ηλικία μεγαλώνει, ιδίως κατά την προσακκαδική κίνηση, κάτι το οποίο σχετίζεται με έλλειμμα στην αντιληπτικότητα της κίνησης παρά με έλλειμμα στην ικανότητα πειθαρχίας για την εκτέλεση της κίνησης. Επίσης, παρατηρείται αύξηση στο εύρος του λάθους.

Με αυτή τη διαπίστωση συμφωνούν αρκετοί ερευνητές, με εξαίρεση μία εργασία (Munoz et al 1998), ενώ δεν υπάρχει διχογνωμία σχετικά με την αύξηση στο λανθάνοντα χρόνο με την πάροδο της ηλικίας. Άλλες παράμετροι, όπως το νοητικό πηλίκο και το επίπεδο εκπαίδευσης πρέπει να εξεταστούν εκτενέστερα, προκειμένου κάποιος να καταλήξει εάν επηρεάζουν ή όχι.

### *2.2.1.β Σακκαδικές κινήσεις και φαρμακευτική θεραπεία σε σχιζοφρενείς ασθενείς*

Σε ό,τι αφορά στο είδος της φαρμακευτικής-αντιψυχωσικής αγωγής, εμφανίζεται μια διαφοροποίηση μεταξύ αλοπεριδόλης και ρισπεριδόνης κατά την εκτέλεση αντανακλαστικών σακκαδικών κινήσεων, με επιδείνωση του αποτελέσματος επί χρήσης ρισπεριδόνης σε σχέση με τη χρήση αλοπεριδόλης. Τούτο, όμως, σε ασθενείς που βρίσκονται στην αρχική φάση της νόσου.

Αυτό το γεγονός φαίνεται να οφείλεται στην έλλειψη οξείας ανεκτικότητας προς τη δράση της ρισπεριδόνης, που οδηγεί σε δυσλειτουργία του στελέχους, του οποίου ο ρόλος στη γέννηση των σακκαδικών κινήσεων είναι αδήριτος.

Η προαναφερθείσα επιδείνωση αφορά τόσο σε αύξηση του λανθάνοντος χρόνου της κίνησης, όσο και σε μείωση της μέγιστης τιμής της ταχύτητας της κίνησης, καθώς και σε μείωση στην ακρίβεια επί του συγκεκριμένου είδους σακκαδικής κίνησης.

Σε σχιζοφρενείς ασθενείς που βρίσκονταν στο πρώτο επεισόδιο εμφάνισης της νόσου, ενώ δεν έπαιρναν αγωγή, εντούτοις παρατηρήθηκε αύξηση του χρόνου αντίδρασης.

Αυτό συνηγορεί υπέρ της έκπτωσης των αισθητηριοκινητικών συστημάτων στην οξεία φάση της νόσου, διότι στη συνέχεια με το πέρας 6 (έξι) εβδομάδων υπό αγωγή με ρισπεριδόνη εμφανίστηκε μείωση στο χρόνο αντίδρασης, γεγονός που δεν παρατηρήθηκε με την αλοπεριδόλη. Η ίδια εικόνα εμφανίστηκε και μετά το πέρας ενός έτους θεραπείας. Η μη διαφορά που παρατηρήθηκε υπό αγωγή με αλοπεριδόλη δείχνει τη σταθερότητα εμφάνισης του ευρήματος που μάλλον βελτιώνεται υπό αγωγή με άτυπα αντιψυχωσικά.

### 2.2.1.γ Αντισακκαδικές κινήσεις σε σχιζοφρενείς ασθενείς

Οι διαφορές που παρατηρούνται κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας μεταξύ ασθενών πασχόντων από σχιζοφρένεια σε σχέση με τους πρώτου βαθμού συγγενείς τους, καθώς και με υγιείς μάρτυρες, είναι σαφώς πιο μεγάλες, πιο εμφανείς, πιο σημαντικές από τη σακκαδική δοκιμασία. Καταρχήν, για την τέλεσή τους είναι απαραίτητη η συναίνεση, η συνεννόηση και η κατανόησή τους, ιδιαιτέρως από τους ασθενείς. Εμπλέκεται ουσιαστικά και καθοριστικά για την εκτέλεσή τους η βούληση (εάν για οποιοδήποτε λόγο οι ασθενείς δεν θέλουν να συνεργαστούν είναι αδύνατη η πραγματοποίησή τους). Αυτό οφείλεται στο ότι ο εξεταζόμενος πρέπει «εθελοντικά» να αντιδράσει στην αρχικώς αντανακλαστική σακκαδική οφθαλμική κίνηση (που θα προκληθεί λόγω της ξαφνικής εμφάνισης του οπτικού ερεθίσματος-στόχου) και να κοιτάξει όσο γίνεται γρηγορότερα προς την αντίθετη κατεύθυνση, οπότε και τελείται η αντισακκαδική δοκιμασία. Η άρτια εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας απαιτεί top-down έλεγχο στους νευρώνες που είναι υπεύθυνοι στα πρόσθια διδύμια (Munoz 1992, Wurz 1993). Ο βαθμός αρτιότητας κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας αποτελεί δείκτη προδιάθεσης ως προς την εμφάνιση σχιζοφρένειας, αφού και οι ασθενείς, αλλά και οι πρώτου βαθμού συγγενείς τους εμφανίζουν αυξημένο λανθάνοντα χρόνο σε σχέση με υγιείς μάρτυρες (Karoumi et al 2001). Εάν συνειδητοποιήσει έγκαιρα το πιθανό λάθος του και κινήσει εν συνεχεία τα μάτια προς την αντίθετη κατεύθυνση, η εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας λογίζεται ως έγκυρη.

Πρέπει να επισημανθεί ότι ο αριθμός των λάθους εκτελέσεων δεν συσχετίζεται με την φάση της νόσου, ενώ αν συνυπάρχουν στην κλινική εικόνα διαταραχές της σκέψης, τότε γνωρίζουμε ότι συνυπάρχει δυσλειτουργία του μετωπιαίου φλοιού (Fukuchima et al 1988).

Επίσης, δεν υπάρχει συσχέτιση των αποτελεσμάτων της εκτέλεσης της αντισακκαδικής δοκιμασίας με το Mini Mental Score, ούτε με την κλίμακα αποτίμησης των αρνητικών συμπτωμάτων της σχιζοφρένειας (SANS), ενώ υπάρχει συσχέτιση των αποτελεσμάτων της εκτέλεσης της αντισακκαδικής δοκιμασίας με το Wisconsin Card Sorting Test (Rosse et al 1993).

Ακόμα, οι πρώτου βαθμού συγγενείς ασθενών πασχόντων από σχιζοφρένεια κάνουν περισσότερα λάθη κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας σε σχέση με υγιείς μάρτυρες, ενώ επίσης διαφέρουν στο εύρος (amplitude) των κινήσεων, καθώς και στο χρόνο αντίδρασης (reaction time) αυτών σε σχέση με τους υγιείς μάρτυρες.

Συγκεκριμένα, κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας παρατηρείται στους ασθενείς μία αύξηση στο εύρος του λάθους της (error rate) και όταν συγκρίνονται τα αποτελέσματα με αυτά των πρώτου βαθμού συγγενών τους και όταν συγκρίνονται με υγιείς μάρτυρες (Crawford 1998). Αυτή η αύξηση που παρατηρήθηκε στους ασθενείς φαίνεται πως σχετίζεται με την αποτυχία καταστολής, σε αρχικό στάδιο, εκτέλεσης σωστής προσακκαδικής κίνησης προς το στόχο, κάτι το οποίο σχετίζεται με συνυπάρχουσα δυσλειτουργία του οπισθοπλάγιου προμετωπιαίου φλοιού, η οποία δια μέσου των βασικών γαγγλίων

ασκεί επίδραση στο εγκεφαλικό στέλεχος, περιοχής σχετιζόμενης με τις σακκαδικές κινήσεις (Burke 2002).

Επίσης, θα πρέπει να συνυπολογιστεί το γεγονός της γενικότερης δυσλειτουργίας επί της σχιζοφρένειας του ντοπαμινεργικού συστήματος, κάτι που επιδρά στο λεπτό κινητικό έλεγχο, οπότε επηρεάζεται η παραγωγή των αντισακκαδικών κινήσεων, μέσω τόσο της άμεσης, όσο και τη έμμεσης οδού (Matsuda 2004), κάτι για το οποίο ήδη έχει γίνει μνεία. Σε σχιζοφρενείς επίσης, εν συγκρίσει με τις προσακκαδικές κινήσεις, οι αντισακκαδικές εμφανίζουν μικρότερη μέγιστη ταχύτητα (Hallett 1978, Fischer και Weber 1992, Van Gelder 1997), που οφείλεται σε μειωμένη νευρωνική δραστηριότητα στα πρόσθια διδύμια (Edelman και Golberg 2001).

Φαίνεται λοιπόν, οι συγγενείς πρώτου βαθμού σχιζοφρενών ασθενών να εκτελούν την αντισακκαδική δοκιμασία ελλειμματικά σε σχέση με τους υγιείς εξεταζόμενους (Curtis et al 2001). Βέβαια, σε άλλες εργασίες το προαναφερθέν έλλειμμα περιορίζεται μόνο στους συγγενείς που εμφανίζουν κάποια συμπτώματα της νόσου (Thaker et al 2000), ή προέρχονται από οικογένειες με σχιζοφρενικό επιπολασμό (Rosset al 1998). Επιπλέον, υπάρχουν και εντελώς αρνητικά συσχετιζόμενες έρευνες με το προαναφερθέν έλλειμμα στους πρώτου βαθμού συγγενείς νοσούντων από σχιζοφρένεια (Brownstein et al 2003). Ένα ακόμα σημαντικό θέμα προς διερεύνηση που συνεπακόλουθα προκύπτει και ίσως συμβάλλει στην αποσαφήνιση των προαναφερθέντων διαφωνιών, είναι να εξεταστεί η κατάσταση με τους ασθενείς και τους πρώτου βαθμού συγγενείς τους στο επίπεδο των πιθανώς ή όχι εμφανιζόμενων εγκεφαλικών διαφοροποιήσεων, με τη χρήση των νεότερων απεικονιστικών τεχνικών (π.χ. με CT ή fMRI). Υπάρχουν αρκετές προς αυτή την κατεύθυνση στοχοκατευθυνόμενες μελέτες, που με μεγάλη σαφήνεια προτάσσουν την εγκεφαλική ενεργοποίηση συγκεκριμένων εγκεφαλικών περιοχών κατά την αντισακκαδική δοκιμασία (Weinberger και Wyatt 1982, Bartfai et al 1985, Fukushima et al 1988, Blackwood et al 1991), ενώ υπάρχουν και πάλι αντίθετες απόψεις που μιλούν για αρνητική συσχέτιση με ενεργοποίηση άλλων εγκεφαλικών περιοχών (Siever et al 1986, Katsanis και Iacono 1991). Αυτοί που θεωρούν πως υπάρχουν συγκεκριμένες εγκεφαλικές ενεργοποιήσεις αναφέρονται σε περιοχές όπως ο προμετωπιαίος φλοιός (όπου συσχετίστηκε με το εύρος του λάθους κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας), καθώς επίσης ο κερκοφόρος πυρήνας (του οποίου ο όγκος συσχετίζεται με το λανθάνοντα χρόνο της αντισακκαδικής κίνησης) (Ettinger et al 2004a).

Οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις μεταξύ των ερευνητών οφείλονται στη μεθοδολογία που ακολούθησαν και σε περιορισμούς της, όπως μειωμένη ευκρίνεια κατά την πραγματοποίηση αξονικών τομογραφιών ή χαμηλής στατιστικής ανάλυσης του υλικού, εξαιτίας μικρού δείγματος ασθενών, κάποιων εξ'αυτών με καταγεγραμμένη στο ιστορικό τους ήδη εγκεφαλική δυσλειτουργία. Επομένως, η έρευνα θα πρέπει να εντοπιστεί σε μεγαλύτερο δείγμα ασθενών, πρώτου βαθμού συγγενών τους και υγιών μαρτύρων. Σε μεγάλου εύρους δείγμα προέκυψαν αυξημένα ποσοστά διεύρυνσης του όγκου των πλαγίων κοιλιών και της τρίτης κοιλίας, τόσο στους ασθενείς, όσο και στους πρώτου βαθμού συγγενείς τους σε σχέση με υγιείς μάρτυρες, με παράλληλα αυξημένη προμετωπιαία λειτουργία στους υγιείς (McDonald et al 2002). Επίσης, στους ασθενείς παρατηρήθηκε μείωση του όγκου του ιπποκάμπου (Schulze 2003) και κακή εκτέλεση της αντισακκαδικής

δοκιμασίας και συσχέτιση του όγκου του προμετωπιαίου φλοιού με αυξημένο χρόνο αντίδρασης αυτής (MacCabe et al 2002, 2005). Παρόλ' αυτά δεν μπορούμε κατηγορηματικά να αποφανθούμε για συσχέτιση οφθαλμικών δοκιμασιών με μορφομετρικές ανωμαλίες (Schulze 2005). Σε ό,τι αφορά στην εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας σε ασθενείς, αυτή φαίνεται να επηρεάζεται από την αντιψυχωσική αγωγή, ιδίως εάν αυτή αποτελείται από συνδυασμό άτυπου και τυπικού αντιψυχωσικού (Mc Dowell 1999).

#### *2.2.1.δ. Αντισακκαδικές κινήσεις και φαρμακευτική θεραπεία σε σχιζοφρενείς ασθενείς*

Γενικά, αρκετές φαρμακευτικές ουσίες επιδρούν στα αποτελέσματα της αντισακκαδικής δοκιμασίας, όπως π.χ.:

- 1)** Η ηπροκυκλιδίνη (επιδεινώνει την απόδοση των υποκειμένων) (Ettinger et al 2003b).
- 2)** Η μεθυλφαινιδάτη (η δράση της έχει συνδεθεί με επιτάχυνση στον αντισακκαδικό λανθάνοντα χρόνο, καθώς και με μείωση στο εύρος του αντισακκαδικού λάθους), (Fischer και Hartnegg 2002, O'Driscoll et al 2005).
- 3)** Η νικοτίνη (μειώνει το εύρος στο αντισακκαδικό λάθος, χωρίς παράλληλη επίδραση στον λανθάνοντα χρόνο της αντισακκαδικής κίνησης) (Depatie et al 2002, Powell, Dawkins και Davis 2002).
- 4)** Η κυπροεπταδίνη (που ενισχύει το εύρος του λάθους της κίνησης) (Burke και Reveley 2002, Harris, Reilly, Keshavan και Sweeney 2006).
- 5)** Ενώ η χρήση βενζοδιαζεπινών αυξάνει, τόσο το λανθάνοντα χρόνο της αντισακκαδικής κίνησης, όσο και το εύρος του λάθους της.
- 6)** Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη ρισπεριδόνη, με τη χρήση της οποίας παρατηρήθηκε μείωση στο εύρος του λάθους κατά την εκτέλεση της κίνησης, κάτι το οποίο δεν παρατηρήθηκε με τη χρήση επίσης άλλων άτυπων αντιψυχωσικών, όπως η κλοζαπίνη. Η παραπάνω μείωση είναι ανεξάρτητη από τη βελτίωση στα θετικά συμπτώματα που επίσης παρατηρήθηκε. Αυτό το γεγονός υποδεικνύει ότι η ρισπεριδόνη παρέχει βελτίωση επί του νευροφυσιολογικού ελλείμματος που παρατηρείται στη σχιζοφρένεια άμεσα και όχι έμμεσα μέσω της βελτίωσης των συμπτωμάτων. Το γεγονός της μείωσης στο εύρος του λάθους στην κίνηση υπό ρισπεριδόνη είναι παροδικό. Αυτό προέκυψε όταν διεκόπη σε κάποια ομάδα ασθενών η χορήγησή της, με αποτέλεσμα νέα επιδείνωση στην εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας, ενώ παρατηρήθηκε και βελτίωση στο αποτέλεσμα της εκτέλεσης της αντισακκαδικής δοκιμασίας σε άλλη ομάδα ασθενών, στην οποία έγινε αλλαγή της αγωγής από άλλο αντιψυχωσικό σε ρισπεριδόνη (Burke 2002).

## 2.2.2 Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στις αντισακκαδικές κινήσεις

Πέραν των διαφόρων φαρμακευτικών ουσιών που επιδρούν στην εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας, φαίνεται να επιδρά και η ηλικία. Παρατηρήθηκε πως η αύξηση της ηλικίας συσχετίζεται θετικά με αύξηση στο λανθάνοντα χρόνο, σε ένα εύρος ηλικιών από 20 ετών μέχρι 70 ετών (Fischer, Biscaldy, Gezek 1997 και Munoz, Broughton, Goldring, Armstrong 1998). Το ίδιο αποτέλεσμα, όμως, εμφανίστηκε και κατά την εκτέλεση της προσακκαδικής δοκιμασίας, κάτι από το οποίο συμπεραίνουμε πως το έλλειμμα οφείλεται στην αντιληπτικότητα, στην κατανόηση της κίνησης και όχι στην ικανότητα προς πειθαρχία, συνιστώσας απαραίτητης για την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας. Εκτός από την επίδραση της ηλικίας στο λανθάνοντα χρόνο, έχει μελετηθεί και η επίδραση της ηλικίας στο ποσοστό του λάθους της κίνησης, το οποίο επίσης αυξάνεται, αλλά επ' αυτού υπάρχει και άποψη κατά της προαναφερθείσας αύξησης (Munoz et al 1998). Μία αύξηση στο ποσοστό του λάθους, που όπως αποδείχτηκε με τη χρήση μελετών με προκλητά δυναμικά και αργότερα με Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία fMRI οφείλεται στο γεγονός ότι οι πάσχοντες από σχιζοφρένεια φάνηκε να ενεργοποιούν και διάφορα άλλα νευρωνικά κυκλώματα κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας. Με τη χρήση fMRI προέκυψε ότι κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας ενεργοποιούνται αρκετές εγκεφαλικές περιοχές, όπως είναι τα μετωπιαία οπτικά πεδία, τα συμπληρωματικά οπτικά πεδία, τα βρεγματικά οπτικά πεδία, ο αριστερός φακοειδής πυρήνας, οι πλάγιες ινιακές περιοχές (V1) (δηλαδή οι ίδιες περιοχές που ενεργοποιούνται και κατά την εκτέλεση της σακκαδικής δοκιμασίας), με επιπλέον ενεργοποίηση περιοχών, όπως ο πλάγιος βρεγματικός λοβός και ο δεξιός φακοειδής πυρήνας. Επομένως, ο φακοειδής πυρήνας ενεργοποιείται και κατά την εκτέλεση της σακκαδικής δοκιμασίας και κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας.

## 2.2.3 Συζήτηση

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τεθεί και ένα ερώτημα σχετικό με τη μεταβολή ή όχι του χρόνου αντίδρασης κατά την εκτέλεση σωστών αντισακκαδικών δοκιμασιών σε σχιζοφρενικούς ασθενείς. Έτσι, ενώ οι περισσότερες έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης, υπάρχουν και έρευνες που δε συνηγορούν επ' αυτού (Fukushima et al 1988, Clemenz et al 1994, Crawford et al 1998). Για αυτή τη διχογνωμία υπεύθυνες είναι κάποιες συγκεκριμένες παράμετροι: Τα κλινικά συμπτώματα της νόσου, π.χ. στη μελέτη των Boudet και συν (2005) ήταν παρόμοιας βαρύτητας, τόσο για θετικά, όσο και για αρνητικά συμπτώματα, ενώ π.χ.

στη μελέτη των Fukushima, Thaker (1989) και Nkam (2001) προεξήρχαν σαφώς τα αρνητικά συμπτώματα της σχιζοφρένειας (για τα οποία γνωρίζουμε πως όταν προεξάρχουν στην κλινική εικόνα, συσχετίζονται με περισσότερες ανωμαλίες κατά την εκτέλεση της αντισακκαδικής δοκιμασίας, σε σχέση με τις περιπτώσεις που στην κλινική εικόνα προεξάρχουν τα θετικά συμπτώματα της νόσου).

Μία δεύτερη παράμετρος που ενοχοποιείται για την προαναφερθείσα διχογνωμία έχει να κάνει με τη φαρμακευτική αγωγή, όπου σε κάποιες έρευνες δεν είχαν δοθεί φάρμακα, ενώ σε κάποιες άλλες έρευνες είχε χρησιμοποιηθεί λίθιο ή αντικαταθλιπτικά (Fukushima et al 1990, γεγονός που επηρεάζει τα αποτελέσματα επί εκτέλεσης της αντισακκαδικής δοκιμασίας).

Ακόμα, υπάρχει μια τρίτη παράμετρος που σχετίζεται με τη μεθοδολογία που ακολουθείται στις διάφορες έρευνες και αφορά τόσο στον αριθμό των επαναλαμβανόμενων αντισακκαδικών δοκιμασιών (σε κάποιες εργασίες η δοκιμασία έχει επαναληφθεί 20 φορές και σε κάποιες άλλες 60 φορές ή και περισσότερες, οπότε διαφέρει ο βαθμός της συγκέντρωσης, αλλά και της κούρασης των εξεταζόμενων). Επίσης, υπάρχει μεταξύ των εργασιών και διαφορά στον τρόπο εκτέλεσης της δοκιμασίας σε ό,τι έχει να κάνει με την εκάστοτε απόσταση μεταξύ του αρχικού κεντρικού σημείου προσήλωσης και της εμφάνισης των περιφερικών στόχων (Fukushima et al 1990, Clemenz et al 1994).

Τέλος, υπάρχει και μια τέταρτη παράμετρος που σχετίζεται με το γεγονός ότι σε κάποιες εργασίες υπήρχε κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ηχητικό ερέθισμα έναρξης της οφθαλμικής κίνησης, γεγονός το οποίο ουσιαστικά «προσκαλούσε» τους εξεταζόμενους να κάνουν τη δοκιμασία (Crawford et al 1998, Hutton et al 1998). Επιπλέον, υπάρχει θέμα με τον ορισμό του χρόνου αντίδρασης, αφού υπάρχουν τουλάχιστον δύο εκδοχές, δύο ορισμοί. Στη μία εκδοχή ως χρόνος αντίδρασης ορίζεται ο χρόνος που δαπανάται μεταξύ της εμφάνισης του οπτικού ερεθίσματος, του οπτικού στόχου και της έναρξης της διαδικασίας της κίνησης (Boudet et al 2005), ενώ κατά την άλλη εκδοχή ο χρόνος αντίδρασης ορίζεται ως ο χρόνος που δαπανάται μεταξύ της εμφάνισης του οπτικού στόχου-ερεθίσματος και του τέλους της διαδικασίας της κίνησης (Sereno et al 1995), οπότε με δεδομένο ότι οι υγιείς θα δρομολογήσουν την ενεργοποίηση μιας σακκαδικής κίνησης προς την τελική θέση, σε σχέση με τους ασθενείς, οι οποίοι θα δρομολογήσουν πιθανώς περισσότερες από μία ενεργοποιήσεις, ο λανθάνων χρόνος στους υγιείς προκύπτει μικρότερος από αυτόν των ασθενών (Boudet et al 2005).

#### 2.2.4 Συμπεράσματα

Από τα εκτεθέντα γίνεται αντιληπτό ότι έχουν γίνει αρκετές μελέτες γύρω από την πιθανή συσχέτιση της σχιζοφρένειας και των διαταραχών στην οφθαλμοκινητικότητα. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι εδώ και καιρό σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό ερευνώνται αυτά τα θέματα σε συσχέτιση με τα νέα δεδομένα στο χώρο της γενετικής.

Το μέγα θέμα που πλέον τίθεται είναι το αν αυτές οι νευροφυσιολογικές παράμετροι και οι διαταραχές τους μπορεί να λογιστούν ως ενδοφαινότυποι της σχιζοφρένειας. Ο όρος ενδοφαινότυπος αναφέρεται σε κάποια βιολογικά ή ψυχολογικά χαρακτηριστικά, που εμφανίζονται με αυξημένο επιπολασμό σε

κάποιες ψυχικές νόσους και πιο συγκεκριμένα στην παρούσα περίπτωση το παρατηρούμενο έλλειμμα στον τρόπο εκτέλεσης της αντισακκαδικής δοκιμασίας (το οποίο είναι μετρήσιμο) με την εμφάνιση σχιζοφρένειας. Έτσι, αντί να μελετάται η σχέση σχιζοφρένειας και γονιδιώματος, μελετάται η σχέση του γονιδιώματος με τον ενδοφαινότυπο της διαταραχής στην οφθαλμοκινητικότητα, οπότε ανοίγει αποφασιστικά το πεδίο γενετικής μελέτης με διάφορες συσχετίσεις σε πολυμορφισμούς γονιδίων [10].

### 2.3 Σακκαδικές κινήσεις και Νόσος του Huntington

Νόσος του Χάντινγκτον ή χορεία του Χάντινγκτον (HD) είναι νευροεκφυλιστική γενετική διαταραχή που επηρεάζει τον συντονισμό των μυών και οδηγεί σε γνωστική εξασθένηση και άνοια. Συνήθως γίνεται αισθητή στη μέση ηλικία. Η νόσος του Χάντινγκτον είναι η πιο κοινή γενετική αιτία μη φυσιολογικών ακούσιων κινήσεων σφαδασμού που ονομάζονται χορεία. Είναι πολύ πιο συχνή σε άτομα δυτικής ευρωπαϊκής καταγωγής από ό, τι ασιατικής ή αφρικανικής καταγωγής. Η ασθένεια προκαλείται από μία αυτοσωματική επικρατή μετάλλαξη σε ένα από τα δύο αντίγραφα του γονιδίου Huntingtin ενός ατόμου, το οποίο σημαίνει ότι κάθε παιδί πάσχοντος γονέα έχει 50% πιθανότητα να κληρονομήσει την ασθένεια. Στις σπάνιες περιπτώσεις όπου και οι δύο γονείς έχουν μεταλλαγμένο αντίγραφο, ο κίνδυνος αυξάνεται σε 75%, και όταν ένας από τους γονείς έχει δύο μεταλλαγμένα αντίγραφα, ο κίνδυνος είναι 100% (όλα τα παιδιά θα νοσούν). Σωματικά συμπτώματα της νόσου του Huntington μπορεί να αρχίσουν σε οποιαδήποτε ηλικία από την παιδική ηλικία με τα γηρατειά, αλλά συνήθως αρχίζουν μεταξύ 35 και 44 ετών. Περίπου 6% των περιπτώσεων αρχίζει πριν από την ηλικία των 21 ετών με σύνδρομο ακινησίας-ακαμψίας εξελίσσονται γρηγορότερα και διαφέρουν ελαφρώς. Η παραλλαγή έχει ταξινομηθεί ως νεανική, ακινητική-δυσκαμπτική ή Westphal παραλλαγή της νόσου.

Το γονίδιο Huntingtin παρέχει κανονικά τις γενετικές πληροφορίες για μια πρωτεΐνη που ονομάζεται επίσης "Huntingtin". Η μετάλλαξη του γονιδίου Huntingtin κωδικοποιεί μια διαφορετική μορφή της πρωτεΐνης, η παρουσία της οποίας οδηγεί σε προοδευτική βλάβη σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο συμβαίνει αυτό δεν είναι πλήρως κατανοητός. Γενετικός έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάπτυξης, ακόμη και πριν από την έναρξη των συμπτωμάτων. Το γεγονός αυτό θέτει διάφορα ζητήματα ηθικής συζήτησης: σε ποια ηλικία ένα άτομο θεωρείται



αρκετά ώριμο για να επιλέξει τον έλεγχο, έχουν οι γονείς το δικαίωμα να υποβάλλουν τα παιδιά τους στον έλεγχο, καθώς και τη διαχείριση απορρήτου και δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών. Γενετική συμβουλευτική έχει αναπτυχθεί για την ενημέρωση και υποστήριξη των ατόμων που σκέφτονται να κάνουν γενετικές εξετάσεις και έχει γίνει ένα πρότυπο για άλλες γενετικά επικρατείς ασθένειες.

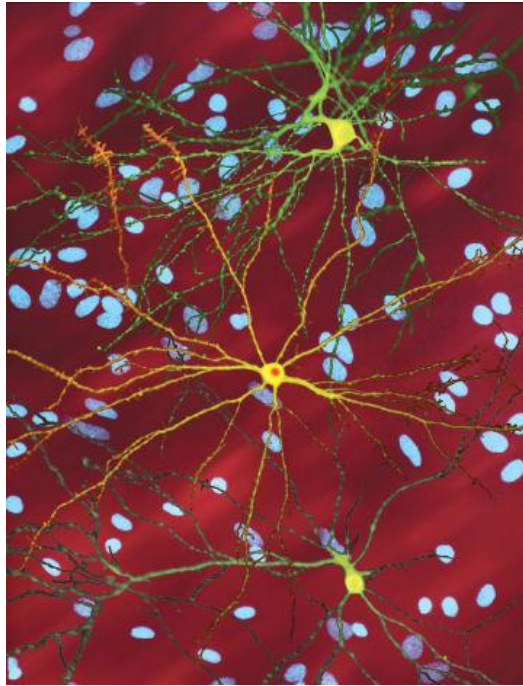
Τα συμπτώματα της νόσου του Huntington συνήθως γίνονται αισθητά μεταξύ των 35 και 44 ετών, αλλά μπορούν να αρχίσουν σε οποιαδήποτε ηλικία από την παιδική ηλικία μέχρι το γήρας. Στα αρχικά στάδια, υπάρχουν μικρές αλλαγές στην προσωπικότητα, τη γνωστική λειτουργία, και τις σωματικές δεξιότητες. Τα σωματικά συμπτώματα είναι συνήθως το πρώτο, καθώς γνωστικά και ψυχιατρικά συμπτώματα δεν είναι γενικά αρκετά σοβαρά για να αναγνωρίζονται από μόνα τους στα πιο πρώιμα στάδια. Σχεδόν ο καθένας με τη νόσο του Huntington τελικά παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα, αν και στην αρχή η πρόοδος και το εύρος των σωματικών και ψυχικών συμπτωμάτων ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των ατόμων. Τα πιο χαρακτηριστικά αρχικά σωματικά συμπτώματα είναι σπασμωδικές, τυχαίες, και ανεξέλεγκτες κινήσεις που ονομάζονται χορεία. Η χορεία μπορεί αρχικά να παρατηρηθεί ως γενική ανησυχία, μικρές ακούσιες ή μη ολοκληρωμένες κινήσεις, έλλειψη συντονισμού, ή **επιβραδυμένες σακκαδικές κινήσεις των ματιών**. Αυτές οι μικρές κινητικές ανωμαλίες προηγούνται συνήθως από τα πιο εμφανή σημάδια κινητικής δυσλειτουργίας τουλάχιστον τρία χρόνια. Η σαφής εμφάνιση των συμπτωμάτων όπως ακαμψία, κινήσεις σφασμασμού ή μη φυσιολογικές πόζες, εμφανίζονται με την πρόοδο της διαταραχής. Αυτά είναι σημάδια ότι το σύστημα του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνο για τις κινήσεις έχει πληγεί. Οι ψυχοκινητικές λειτουργίες γίνονται ολοένα και πιο μειωμένες, έτσι ώστε οποιαδήποτε πράξη που απαιτεί έλεγχο των μυών επηρεάζεται. Συχνές συνέπειες είναι αστάθεια, μη φυσιολογική έκφραση του προσώπου, και δυσκολίες στην μάσηση, στην κατάποση και στην ομιλία. Η δυσκολία σίτισης μπορεί να προκαλέσει απώλεια βάρους και να οδηγήσει σε υποσιτισμό. Σχετικά συμπτώματα είναι οι διαταραχές ύπνου. Η νόσος στους ανήλικους διαφέρει σε συμπτώματα που γενικά αναπτύσσονται ταχύτερα και η χορεία εμφανίζεται εν συντομία, αν όχι καθόλου, με την ακαμψία να είναι το κυρίαρχο σύμπτωμα. Επιληπτικές κρίσεις είναι επίσης ένα κοινό σύμπτωμα αυτής της μορφής της νόσου.

Οι γνωστικές ικανότητες μειώνονται σταδιακά. Ιδιαίτερα επηρεάζονται οι εκτελεστικές λειτουργίες οι οποίες περιλαμβάνουν σχεδιασμό, γνωστική ευελιξία, αφηρημένη σκέψη, την απόκτηση κανόνα, την έναρξη των κατάλληλων δράσεων και παρεμπόδιση ακατάλληλων ενεργειών. Καθώς η νόσος εξελίσσεται, ελλείμματα μνήμης τείνουν να εμφανίζονται. Τα αναφερθέντα προβλήματα κυμαίνονται από ελλείμματα στην βραχυπρόθεσμη μνήμη έως δυσκολίες στην μακροπρόθεσμη μνήμη, συμπεριλαμβανομένων των ελλειμμάτων στην δηλωτική (μνήμη της ζωής του), διαδικαστική (μνήμη του σώματος για το πώς να εκτελέσει μια δραστηριότητα) και εργαζόμενη ή ενεργό μνήμη. Γνωστικά προβλήματα τείνουν να επιδεινώνονται με την πάροδο του χρόνου, και τελικά, οδηγούν σε άνοια. Αυτό το πρότυπο των ελλειμμάτων ονομάζεται υποφλοιώδεις σύνδρομο άνοιας για να ξεχωρίζει από τις τυπικές συνέπειες της άνοιας του φλοιού π.χ. Νόσος Αλτσχάιμερ. Αναφερθείσες νευροψυχιατρικές εκδηλώσεις είναι άγχος, κατάθλιψη, μειωμένη

εμφάνιση των συναισθημάτων (αμβλύ συναίσθημα), τον εγωκεντρισμό, την επιθετικότητα, και καταναγκαστική συμπεριφορά, η τελευταία εκ των οποίων μπορεί να προκαλέσει ή να επιδεινώσει εθισμούς, στα οποία συμπεριλαμβάνονται αλκοολισμός, τυχερά παιχνίδια και υπερσεξουαλικότητα. Δυσκολίες όσον αφορά την αναγνώριση στις αρνητικές εκφράσεις των άλλων ανθρώπων έχουν επίσης παρατηρηθεί. Η συχνότητα αυτών των συμπτωμάτων είναι εξαιρετικά μεταβλητή μεταξύ των μελετών με τα εκτιμώμενα ποσοστά για την επικράτηση των ψυχιατρικών διαταραχών μεταξύ 33% και 76%. Για πολλούς πάσχοντες και τις οικογένειές τους, αυτά τα συμπτώματα είναι από τις πιο οδυνηρές πτυχές της νόσου, που συχνά επηρεάζουν την καθημερινή λειτουργία και αποτελεί λόγο για θεσμοθέτηση. Αυτοκτονικές σκέψεις και απόπειρες αυτοκτονίας είναι πιο συχνές από ό, τι στο γενικό πληθυσμό. Η μεταλλαγμένη πρωτεΐνη huntingtin εκφράζεται σε όλο το σώμα και σχετίζεται με ανωμαλίες στους περιφερικούς ιστούς που προκαλείται απευθείας από την εν λόγω έκφραση έξω από τον εγκέφαλο. Αυτές οι ανωμαλίες περιλαμβάνουν μυϊκή ατροφία, καρδιακή ανεπάρκεια, μειωμένη ανοχή στη γλυκόζη, απώλεια βάρους και οστεοπόρωση.

Όλοι οι άνθρωποι έχουν το γονίδιο Χάντινγκτον (htt), που κωδικοποιεί την πρωτεΐνη Χάντινγκτον. Τμήμα αυτού του γονιδίου είναι μια επαναλαμβανόμενη ενότητα που ονομάζεται τρινουκλεοτιδική επανάληψη, η οποία ποικίλλει σε μήκος μεταξύ των ατόμων και μπορεί να αλλάξει το μήκος μεταξύ των γενεών. Όταν το μήκος αυτής της επαναληφθείσας ενότητας φθάνει ένα κατώτατο όριο παράγει μια τροποποιημένη μορφή της πρωτεΐνης, που ονομάζεται μεταλλαγμένη πρωτεΐνη Χάντινγκτον (mHtt). Οι διαφορετικές λειτουργίες αυτών των πρωτεϊνών είναι η αιτία για τις παθολογικές αλλαγές οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να προκαλέσουν τα συμπτώματα της νόσου. Η μετάλλαξη της νόσου του Χάντινγκτον είναι γενετικά κυρίαρχο και σχεδόν πλήρως διεισδυτική: μετάλλαξη οποιουδήποτε htt γονιδίου ενός ατόμου προκαλεί τη νόσο. Δεν είναι κληρονομική σύμφωνα με το φύλο, αλλά το μήκος του επαναλαμβανόμενου τμήματος του γονιδίου, και ως εκ τούτου, τη σοβαρότητα της, μπορεί να επηρεάζεται από το φύλο του θιγόμενου γονέα.

Ιατρική διάγνωση από την έναρξη της νόσου μπορεί να γίνει μετά την εμφάνιση των σωματικών συμπτωμάτων ειδικά για τη συγκεκριμένη νόσο. Ο γενετικός έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει μια φυσική διάγνωση, αν δεν υπάρχει οικογενειακό ιστορικό υψηλής ευκρίνειας. Ακόμη και πριν από την έναρξη των συμπτωμάτων, ο γενετικός έλεγχος μπορεί να επιβεβαιώσει αν ένα άτομο ή έμβρυο φέρει ένα διευρυμένο αντίγραφο της τρινουκλεοτιδικής επανάληψης στο htt γονίδιο που προκαλεί την ασθένεια. Η γενετική συμβουλευτική μπορεί να παρέχει συμβουλές και καθοδήγηση σε όλη τη διαδικασία δοκιμής, και για τις επιπτώσεις μιας επιβεβαιωμένης διάγνωσης. Οι επιπτώσεις αυτές περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις στην ψυχολογία, τη σταδιοδρομία ενός ατόμου, αποφάσεις του οικογενειακού προγραμματισμού, τους συγγενείς και τις σχέσεις. Παρά τη διαθεσιμότητα των προ-συμπτωματικών δοκιμών, μόνο το 5% των ατόμων που κινδυνεύουν να κληρονομήσουν HD επιλέγουν να το κάνουν.



*Εικόνα 2.2: Η Νόσος του Huntington*

Δεν υπάρχει θεραπεία για τη νόσο του Χάντινγκτον, αλλά υπάρχουν διαθέσιμες τεχνικές για να μειωθεί η σοβαρότητα μερικών συμπτωμάτων της. Για πολλές από αυτές τις θεραπείες, κλινικές δοκιμές για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητάς τους στην αντιμετώπιση των συμπτωμάτων της νόσου συγκεκριμένα δεν είναι πλήρεις. Καθώς η νόσος εξελίσσεται και η ικανότητα ενός ατόμου να φροντίσει για τις δικές του ανάγκες μειώνεται, η προσεκτική διαχείριση διεπιστημονικής φροντίδας γίνεται όλο και πιο αναγκαία. Η τετραβεναζίνη αναπτύχθηκε ειδικά για να μειώσει τη σοβαρότητα της χορείας του Χάντινγκτον και εγκρίθηκε το 2008 για χρήση στις ΗΠΑ. Άλλα φάρμακα που βοηθούν στη μείωση της χορείας είναι νευροληπτικά και βενζοδιαζεπίνες. Ενώσεις, όπως η αμανταδίνη είναι ακόμη υπό έρευνα, αλλά έχουν δείξει προκαταρκτικά θετικά αποτελέσματα. Υποκινησία και ακαμψία μπορούν να αντιμετωπιστούν με αντιπαρκινσονικά φάρμακα και η μυοκλονική υπερκινητικότητα μπορεί να αντιμετωπιστεί με βαλπροϊκό οξύ. Ψυχιατρικά συμπτώματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με φάρμακα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στο γενικό πληθυσμό. Εκλεκτικοί αναστολείς επαναπρόσληψης σεροτονίνης και μιρταζαπίνης έχουν προταθεί για την κατάθλιψη, ενώ άτυπα αντιψυχωσικά φάρμακα συνίστανται για ψύχωση και προβλήματα συμπεριφοράς. Η απώλεια βάρους και οι διατροφικές δυσκολίες λόγω δυσφαγίας και η δυσκολία συγχρονισμού μυών είναι συχνές, καθιστώντας τη διατροφή όλο και πιο σημαντική με την πρόοδο της νόσου. Ουσίες πήξης μπορούν να προστεθούν σε υγρά καθώς τα παχύτερα υγρά είναι ευκολότερο και ασφαλέστερο να καταποθούν. Υπενθυμίζοντας στον ασθενή να τρώει αργά και να λαμβάνει μικρότερα κομμάτια τροφής μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή πνιγμού. Εάν η κατανάλωση γίνεται πάρα πολύ επικίνδυνη ή δυσάρεστη, η επιλογή της γαστροστομίας είναι διαθέσιμη. Αυτό είναι ένας σωλήνας σίτισης, μόνιμα συνδεδεμένο με την κοιλιά στο στομάχι, η οποία μειώνει τον κίνδυνο αναρρόφησης τροφίμων και παρέχει καλύτερη διατροφική διαχείριση. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σχετικά λίγες μελέτες για ασκήσεις και θεραπείες που βοηθούν στην

αποκατάσταση των γνωστικών συμπτωμάτων της νόσου, υπάρχουν κάποια στοιχεία για τη χρησιμότητα των φυσιοθεραπεία, εργοθεραπεία και λογοθεραπεία [11].

## 2.4 Σχέση των αντισακκαδικών κινήσεων με τα κλινικά συμπτώματα της Νόσου του Parkinson

### 2.4.1 Εισαγωγή

Η έρευνα, που καταγράφεται στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σε 32 ασθενείς με Parkinson στους οποίους μελετήθηκε ο ακούσιος έλεγχος των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων χρησιμοποιώντας την εργασία των αντισακκαδικών κινήσεων (δηλαδή οι ασθενείς καθοδηγήθηκαν ώστε να μην κοιτούν στο στόχο, αλλά στην αντίθετη κατεύθυνση). Ο μέσος λανθάνων χρόνος και οι αναλογίες σφαλμάτων στις αντισακκαδικές κινήσεις παρουσίασαν σημαντική αύξηση στους ασθενείς που βρίσκονταν σε προχωρημένο στάδιο Πάρκινσον.

Προκειμένου να εξεταστούν οι παράγοντες που προκαλούν ανωμαλίες στις ακούσιες σακκαδικές κινήσεις των ασθενών, μελετήθηκαν οι αντισακκαδικές κινήσεις σε ασθενείς από ήπια έως προχωρημένη μορφή Πάρκινσον και ερευνήθηκαν οι συσχετισμοί μεταξύ των ανωμαλιών των οφθαλμικών κινήσεων, της σοβαρότητας της πάθησης (σύμφωνα με τα αποτελέσματα των τεστ WCST: (Wisconsin Card Sorting Test) και των φαρμάκων για τη θεραπεία του Πάρκινσον.

### 2.4.2 Μεθοδολογία

Συνολικά, μελετήθηκαν 32 ασθενείς (14 άνδρες, 18 γυναίκες). Η ιδιοπαθής Νόσος του Πάρκινσον είχε διαγνωσθεί στη βάση της κλινικής αξιολόγησης και της απουσίας συμπτωμάτων που συνοδεύουν οποιοδήποτε άλλο σύνδρομο. Οι κινητικές αναπηρίες εκτιμήθηκαν με βάση την κατάταξη Hoehn και Yahr και μια τροποποιημένη κλίμακα του Πανεπιστημίου Columbia (συνολικό score: 92, score για βάδισμα: 4, στάση του σώματος: 4, ομιλία: 4, εμφάνιση προσώπου: 4, βραδυκινησία: 32, ακαμψία: 20, τρέμουλο: 20, για κάθε ασθενή η βαθμολογία

κυμαινόταν από 0 μέχρι 4). Κανένας από τους ασθενείς δεν εμφάνισε συμπτώματα άνοιας στο μικρό στάδιο της πνευματικής εξέτασης. Η ηλικία των ασθενών κυμαινόταν από 45 μέχρι 70 ετών (η μέση ηλικία ήταν τα  $57,5 \pm 7.8$  έτη).

Για να μελετηθεί το αποτέλεσμα της σοβαρότητας της νόσου, οι ασθενείς κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο γκρουπ με βάση τη νευρολογική τους κατάσταση (γκρουπ P1= Hoehn και Yahr I και II, γκρουπ P2=Hoehn και Yahr III). Οι 22 από τους 32 ασθενείς εντάχθηκαν στο γκρουπ P1 και οι υπόλοιποι 10 στο P2. Δεν υπήρχε καμία σημαντική διαφορά στην ηλικία ή στη διάρκεια της πάθησης μεταξύ των ασθενών στα δύο γκρουπ. Οι βαθμολογίες της κινητικής εξασθένισης ήταν οι ακόλουθοι: για το γκρουπ P1:  $6,6 \pm 2,6$  για τη βραδυκινησία,  $4,6 \pm 1,6$  για την ακαμψία και  $2,2 \pm 2,9$  για το τρέμουλο, για το γκρουπ P2:  $17,0 \pm 3,7$  για τη βραδυκινησία,  $8,8 \pm 1,7$  για την ακαμψία και  $2,0 \pm 2,8$  για το τρέμουλο. Κατά τη διάρκεια του τεστ, 23 ασθενείς βρίσκονταν σε θεραπεία με φάρμακα για το Πάρκινσον, ενώ οι υπόλοιποι 9 δεν είχαν λάβει ποτέ αντίστοιχα θεραπευτικά φάρμακα. Οι 7 από αυτούς τους 9 ασθενείς ανήκαν στο γκρουπ P1 και οι άλλοι 2 στο P2. Μετά την εξέταση της οφθαλμικής κίνησης δόθηκαν σε όλους φάρμακα στα οποία και ανταποκρίθηκαν ικανοποιητικά.

#### 2.4.3 Καταγραφή της οφθαλμικής κίνησης

Οι διαδικασίες για την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων, η παρουσίαση των στόχων και η ανάλυση των δεδομένων ήταν γενικά παρόμοια με προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει. Οι ασθενείς ήταν καθισμένοι σε σκοτεινό μέρος κοιτάζοντας μια οθόνη σε απόσταση 100cm από τα μάτια τους. Οι οπτικοί στόχοι ήταν μια σειρά από 7 διόδους (LEDs) που εξέπεμπαν κόκκινο φως. Η μία από αυτές χρησιμοποιήθηκε ως κεντρικό φως σταθεροποίησης και οι υπόλοιπες 6 τοποθετήθηκαν  $8$ ,  $12$  και  $24^\circ$  δεξιά και αριστερά από το κεντρικό LED. Όταν το LED δεν ήταν αναμμένο, η θέση του δεν ήταν εμφανής στους ασθενείς. Κατά την οπτικά καθοδηγούμενη εργασία των σακκαδικών (σχήμα A), ζητήθηκε από τους ασθενείς να κοιτάζουν στο κεντρικό φως σταθεροποίησης ενώ ήταν αναμμένο για 3-6 δευτερόλεπτα (η διάρκεια ήταν τυχαία). Την ίδια στιγμή, ενώ το φως σταθεροποίησης έσβηνε, το LED-στόχος άναβε για 500 msec (η κατεύθυνση και η θέση ήταν τυχαίες) και η οδηγία που δόθηκε ήταν να κοιτούν οι ασθενείς στο LED-στόχο όσο πιο γρήγορα μπορούν. Συνολικά, 60 εκπομπές δοκιμάστηκαν για κάθε ασθενή. Στη δοκιμασία για τις αντισακκαδικές κινήσεις (σχήμα E), ζητήθηκε από τους ασθενείς να μην κοιτούν το LED-στόχο, αλλά να κοιτούν κατά την αντίθετη κατεύθυνση σε μια ίση, προσεγγιστικά, απόσταση από το σημείο σταθεροποίησης. Σε αυτή τη δοκιμασία, η κατεύθυνση του LED-στόχου ήταν τυχαία, αλλά το LED-στόχος είχε τοποθετηθεί  $12^\circ$  οριζόντια από το κεντρικό LED κατά τις πρώτες 20 εκπομπές. Έπειτα, 20 εκπομπές πραγματοποιήθηκαν σε θέση  $8^\circ$  και άλλες 20 σε θέση  $24^\circ$  από το κεντρικό LED.

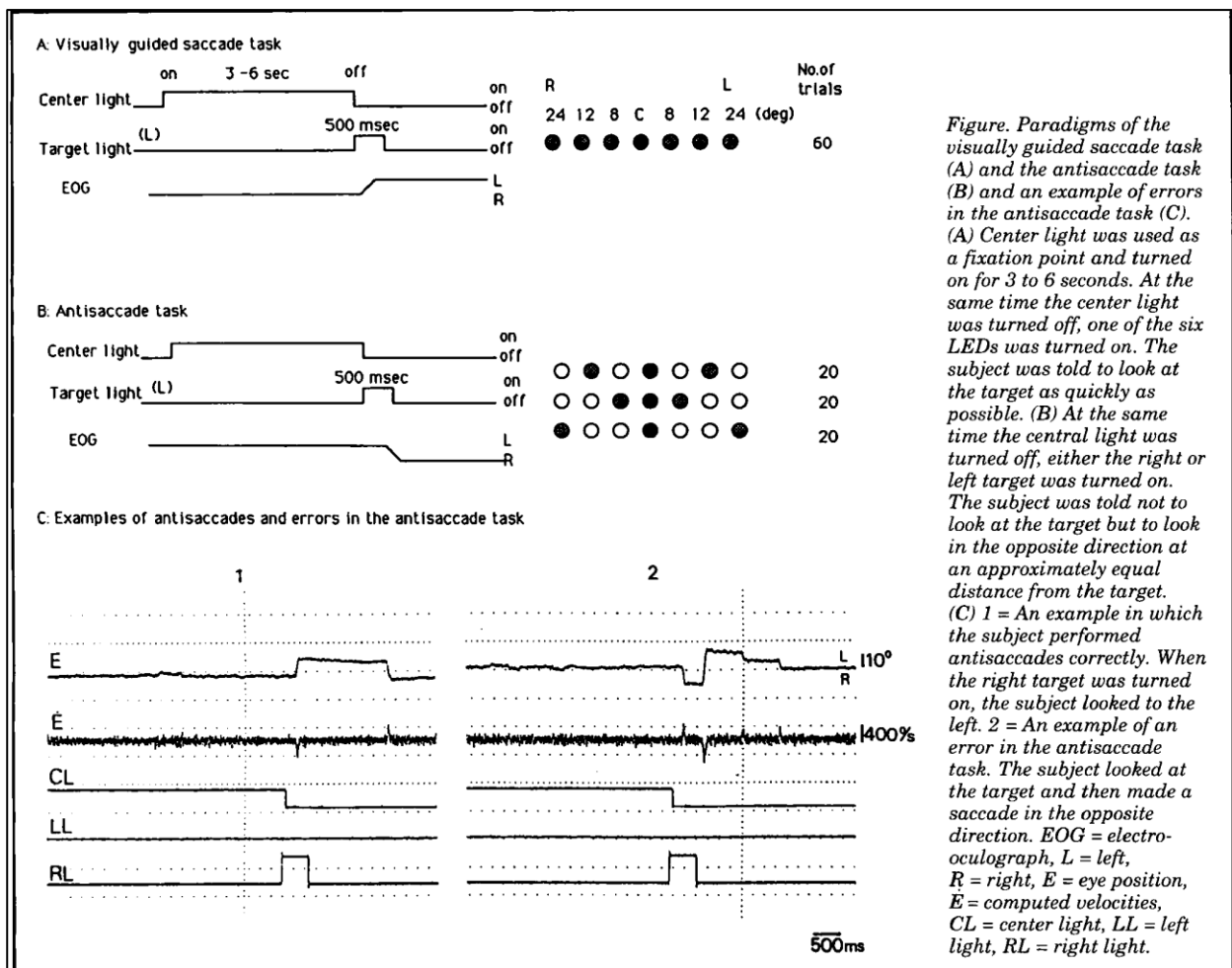


Figure. Paradigms of the visually guided saccade task (A) and the antisaccade task (B) and an example of errors in the antisaccade task (C). (A) Center light was used as a fixation point and turned on for 3 to 6 seconds. At the same time the center light was turned off, one of the six LEDs was turned on. The subject was told to look at the target as quickly as possible. (B) At the same time the central light was turned off, either the right or left target was turned on. The subject was told not to look in the opposite direction at an approximately equal distance from the target. (C) 1 = An example in which the subject performed antisaccades correctly. When the right target was turned on, the subject looked to the left. 2 = An example of an error in the antisaccade task. The subject looked at the target and then made a saccade in the opposite direction. EOG = electro-oculograph, L = left, R = right, E = eye position,  $\dot{E}$  = computed velocities, CL = center light, LL = left light, RL = right light.

Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου που ακολουθήθηκε

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με το κεφάλι των ασθενών να κρατιέται ώστε να μένει ακίνητο. Όλες οι δοκιμές και οι τροχιές των σακκαδικών ελέγχθηκαν προσεκτικά από τους εξεταστές και οι σακκαδικές κινήσεις που συσχετιζονταν με κινήσεις του κεφαλιού εξαλείφθηκαν από την ανάλυση.

Η οριζόντια οφθαλμική κίνηση καταγράφηκε με ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα. Τα δεδομένα αποθηκεύθηκαν σε μαγνητική ταινία και αργότερα απεικονίστηκαν σε ένα ψηφιακό πεδίο μνήμης. Οι οφθαλμικές ταχύτητες προήλθαν από την ηλεκτρονική διαφοροποίηση των καταγραφών της οφθαλμικής θέσης και απεικονίστηκαν σε μια οθόνη υπολογιστή. Οι λανθάνοντες χρόνοι, τα πλάτη και οι μέγιστες ταχύτητες των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών και αντισακκαδικών κινήσεων αναλύθηκαν. Στη δοκιμασία των αντισακκαδικών, θεωρήσαμε ως αντισακκαδικό σφάλμα το γεγονός κατά το οποίο όταν η αρχική σακκαδική κίνηση δεν ήταν κατά την αντίθετη κατεύθυνση, αλλά προς το στόχο (σχήμα C2). Όλα τα αντισακκαδικά σφάλματα εξαλείφθηκαν από την ανάλυση των λανθάνοντων χρόνων, των πλατών και των μέγιστων ταχυτήτων. Η ακρίβεια της αρχικής σακκαδικής κίνησης υπολογίστηκε από το αρχικό πλάτος των σακκαδικών και του στόχου για κάθε οπτικά καθοδηγούμενη σακκαδική. Η ακρίβεια των

αντιστακκαδικών δε λήφθηκε υπόψιν και εξαιρέσαμε οποιαδήποτε επιτυχημένη αντιστακκαδική από το φως-στόχο εάν το πλάτος τους ήταν ίσο ή όχι με το πλάτος του στόχου. Το τεστ WCST εφαρμόστηκε σε 27 από τους 32 ασθενείς και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με όσους είχαν φυσιολογικό δείγμα.

## 2.4.4 Αποτελέσματα

### 2.4.4.α Δοκιμασία οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών κινήσεων:

Οι μέσοι λανθάνοντες χρόνοι, ακρίβειες και μέγιστες ταχύτητες των ασθενών με Πάρκνσον δε διέφεραν σημαντικά από το φυσιολογικό δείγμα (Πίνακας 1). Παρόλα αυτά, οι ασθενείς στο γκρουπ P2 έδειξαν μια τάση επιμήκυνσης στο μέσο λανθάνοντα χρόνο σε σύγκριση με το φυσιολογικό γκρουπ και το P1.

	Controls Mean (SD)	Parkinsonian patients		
		Total Mean (SD)	P1 Mean (SD)	P2 Mean (SD)
No. of subjects	20	32	22	10
Age	57.3 (9.2)	57.5 (7.8)	56.9 (7.3)	58.8 (9.0)
<b>Visually guided saccade</b>				
Mean latency (msec)	254.1 (37.4)	255.9 (48.9)	239.8 (33.4)	291.3 (60.0)‡
<b>Accuracy</b>				
8 deg	1.08 (0.11)	1.04 (0.10)	1.02 (0.11)	1.09 (0.09)
12 deg	1.00 (0.10)	0.98 (0.09)	0.97 (0.10)	0.99 (0.06)
24 deg	0.92 (0.09)	0.88 (0.11)	0.89 (0.10)	0.86 (0.13)
<b>Mean peak velocity (deg/sec)</b>				
8 deg	255.8 (42.4)	247.3 (31.5)	247.1 (35.0)	247.7 (23.6)
12 deg	318.6 (45.7)	310.6 (30.3)	310.2 (32.7)	311.6 (25.6)
24 deg	423.3 (56.4)	416.3 (39.9)	415.5 (39.7)	418.1 (42.3)
<b>Antisaccade</b>				
Error (%)	15.7 (10.7)	28.1 (19.0)*	24.4 (18.5)	36.2 (18.4)**
Mean latency (msec)	327.4 (41.8)	358.6 (71.1)	335.0 (53.4)	410.3 (80.1)**†
<b>Mean peak velocity (deg/sec)</b>				
8 deg	248.2 (37.5)	239.9 (47.1)	246.4 (43.8)	225.6 (53.3)
12 deg	303.1 (43.9)	293.1 (43.0)	299.9 (39.9)	278.0 (47.8)
24 deg	394.6 (62.8)	381.7 (45.8)	389.1 (44.9)	365.3 (45.7)

Mean accuracy calculated as the saccade amplitude/target amplitude in each subject and the mean (SD). Mean latencies (msec), peak velocities (deg/sec) of saccades (both visually guided saccades and antisaccades), which were calculated from the best-fit logarithm curve. The error rates of antisaccades.

\*  $p < 0.05$  and \*\*  $p < 0.01$ , for patients versus controls (Mann-Whitney U test).  
†  $p < 0.05$  and ‡  $p < 0.01$ , for patients in P1 versus patients in P2 (Mann-Whitney U test).

Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων

### 2.4.4.β Δοκιμασία αντιστακκαδικών κινήσεων:

Υπήρχε μια σημαντική διαφορά στις αναλογίες σφαλμάτων, κατά τη δοκιμασία των αντισακκαδικών κινήσεων, ανάμεσα στα γκρουπ των ασθενών και το φυσιολογικό γκρουπ. Οι ασθενείς στο γκρουπ P1 δεν έδειξαν σημαντική διαφορά στην αναλογία σφαλμάτων αντισακκαδικών σε σύγκριση με το φυσιολογικό δείγμα. Η μέση αναλογία σφαλμάτων όμως στο γκρουπ P2 ήταν σημαντικά υψηλότερη από το φυσιολογικό. Δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στη μέση αναλογία σφάλματος μεταξύ των γκρουπ P1 και P2.

Ο μέσος λανθάνων χρόνος των αντισακκαδικών στο σύνολο των ασθενών δεν ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από το φυσιολογικό δείγμα. Οι ασθενείς στο γκρουπ P2 έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερο λανθάνοντα χρόνο από το φυσιολογικό γκρουπ και από το γκρουπ P1. Υπήρχε μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ του λανθάνοντος χρόνου των σακκαδικών και των αντισακκαδικών σε κάθε ασθενή. Δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στις μέγιστες ταχύτητες των ασθενών με Πάρκινσον και του φυσιολογικού δείγματος (Πίνακας 1).

#### **2.4.4.γ Κλινικός συσχετισμός**

Υπήρχε μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μέσου λανθάνοντος χρόνου των αντισακκαδικών κινήσεων και της βραδυκινησίας, αλλά όχι μεταξύ των σφαλμάτων και της βραδυκινησίας. Κανένας αξιοσημείωτος συσχετισμός δε βρέθηκε μεταξύ της ηλικίας και των ανωμαλιών στις αντισακκαδικές κινήσεις. Ούτε η ακαμψία και το τρέμουλο συσχετίστηκαν με τις ανωμαλίες στις αντισακκαδικές κινήσεις.

Οι ασθενείς, ως σύνολο, έδειξαν χαμηλή επίδοση στο τεστ WCST. Τα συνολικά σφάλματα στο τεστ συσχετίστηκαν σημαντικά με τη βραδυκινησία και το μέσο λανθάνοντα χρόνο των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών και των αντισακκαδικών. Ο αριθμός των εμμένοντων σφαλμάτων συσχετίστηκαν επίσης με τη βραδυκινησία και το μέσο λανθάνοντα χρόνο των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών και των αντισακκαδικών.

#### **2.4.4.δ Αποτελέσματα των φαρμάκων για τη Νόσο του Πάρκινσον**

Μελετήθηκε η επίδραση των φαρμάκων στις σακκαδικές οφθαλμικές κινήσεις και στα νευρολογικά συμπτώματα (βραδυκινησία, ακαμψία, τρέμουλο). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) καταγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των φαρμάκων που χρησιμοποιήθηκαν (levodopa και anticholinergics).



	<b>Levodopa (-)</b>	<b>Levodopa (+)</b>	<b>Anti- cholinergics (-)</b>	<b>Anti- cholinergics (+)</b>
	<b>Mean (SD)</b>	<b>Mean (SD)</b>	<b>Mean (SD)</b>	<b>Mean (SD)</b>
No. of subjects	17	15	12	20
Age	58.2 (7.3)	56.7 (8.5)	61.3 (5.4)*	55.3 (8.2)
Bradykinesia	7.6 (4.6)	12.3 (6.0)*	9.8 (5.9)	9.9 (5.8)
Rigidity	4.8 (2.4)	7.2 (2.0)†	5.3 (2.8)	6.3 (2.3)
Tremor	1.6 (2.7)	2.7 (2.9)	1.1 (2.1)	2.8 (3.1)
Latency of visually guided saccades (msec)	241.7 (39.7)	272.0 (54.4)	243.1 (39.7)	263.6 (53.1)
Latency of antisaccades (msec)	333.1 (56.7)	387.4 (76.3)*	328.9 (49.4)	376.3 (77.1)
Antisaccade errors (%)	26.8 (19.5)	29.6 (19.0)	15.7 (14.6)	35.6 (17.6)†

The patients on levodopa therapy [levodopa (+)] showed higher scores in bradykinesia, rigidity, and increased mean latencies of antisaccades than the patients not taking levodopa [levodopa (-)]. The patients taking anticholinergics [anticholinergic (+)] were younger than those not taking anticholinergics [anticholinergics (-)] and made more antisaccade errors.

\*  $p < 0.05$  and †  $p < 0.01$ , for patients versus controls (Mann-Whitney U test).

Πίνακας 2.2: Επίδραση των φαρμάκων

#### 2.4.4.ε Συμπεράσματα

Στη δοκιμασία των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών, οι μέσοι λανθάνοντες χρόνοι, οι ακρίβειες και οι μέγιστες ταχύτητες ήταν φυσιολογικές στους ασθενείς με Πάρκινσον. Όμως, οι ασθενείς που βρίσκονταν σε προχωρημένο στάδιο (γκρουπ P2) έδειξαν μια τάση επιμήκυνσης των μέσων λανθάνοντων χρόνων σε σχέση με το φυσιολογικό δείγμα και με τους ασθενείς που βρίσκονταν σε ήπια κατάσταση. Σε συνδυασμό με προηγούμενες μελέτες, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η έναρξη των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών μπορεί να εξασθενίσει σε σοβαρές περιπτώσεις ασθενών, αλλά μπορεί να διατηρηθεί αρκετά καλά σε όσους βρίσκονται αρχικό στάδιο.

Στη δοκιμασία των αντισακκαδικών κινήσεων, οι μέσοι λανθάνοντες χρόνοι και οι αναλογίες σφαλμάτων ήταν σημαντικά αυξημένοι στους ασθενείς που

ανήκαν στο γκρουπ P2. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σοβαρότητα της νόσου επηρεάζει τα αποτελέσματα των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών και των των αντισακκαδικών κινήσεων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, έγινε αντιληπτό ότι μόνο ο μέσος λανθάνων χρόνος των αντισακκαδικών συσχετίζεται με τη βραδυκινησία, ενώ τα άλλα αποτελέσματα των σακκαδικών όχι. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι αυτή η διαταραχή στην έναρξη των ακούσιων σακκαδικών μπορεί να σχετίζεται με τη διαταραχή της κίνησης των κάτω άκρων.

Η ηλικία θα μπορούσε να επηρεάσει τις οφθαλμικές κινήσεις στους υγιείς ασθενείς. Παρόλα αυτά, στους ασθενείς με Πάρκινσον, (στη συγκεκριμένη μελέτη) η ηλικία δε συσχετίστηκε με τα αποτελέσματα των σακκαδικών ή με κινητική εξασθένιση. Αυτό δείχνει ότι η σοβαρότητα της ασθένειας και όχι η ηλικία, είναι υπεύθυνη για τις ανωμαλίες στον ακούσιο έλεγχο των σακκαδικών.

Τα αποτελέσματα του τεστ WCST δε συσχετίστηκαν με την αναλογία σφαλμάτων των αντισακκαδικών, αλλά συνδέθηκαν με το βαθμό βραδυκινησίας και το μέσο λανθάνοντα χρόνο των σακκαδικών. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι ο μηχανισμός που προκαλεί τις ανωμαλίες στο τεστ μπορεί να είναι διαφορετικός από αυτόν που προκαλεί τα σφάλματα στις αντισακκαδικές κινήσεις και ότι η γνωστική δυσλειτουργία που σχτίζεται με το τεστ μπορεί να αναφέρεται στη βραδυκινησία αλλά και στην έναρξη των ακούσιων σακκαδικών.

Οι ασθενείς που λάμβαναν levodopa έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερο λανθάνοντα χρόνο αντισακκαδικών. Από τη στιγμή που η ακαμψία και η βραδυκινησία σε ασθενείς που έπαιρναν levodopa ήταν πολύ χειρότερες από αυτούς που δεν έπαιρναν, ήταν αδύνατο να διαχωριστεί εάν ο παρατεταμένος λανθάνων χρόνος των αντισακκαδικών σε αυτούς τους ασθενείς ήταν αποτέλεσμα της σοβαρότητας της ασθένειας ή της λήψης levodopa. Από την άλλη μεριά, οι αναλογίες των σφαλμάτων των αντισακκαδικών ήταν σημαντικά αυξημένες στους ασθενείς που λάμβαναν αντιχολινεργικά [12].

## 2.5 Σακκαδικές κινήσεις και δυσλεξία

Η Δυσλεξία είναι μια μορφή μαθησιακής δυσκολίας, κατά την οποία το άτομο, μικρής ή μεγάλης ηλικίας, παρουσιάζει δυσκολίες στην ανάλυση των λέξεων σε ακουστικές μονάδες συλλαβικής βάσης και στη σύνθεση συλλαβικών ακουστικών μονάδων σε λεκτικά σύνολα με εννοιακό περιεχόμενο. Παρατηρείται σε όλους τους πολιτισμούς που έχουν γραπτή γλώσσα και δεν έχει σχέση με τη νοητική καθυστέρηση.

### 2.5.1 Σχέσεις μεταξύ οφθαλμοκίνησης και αλληλοδιαδοχικών λειτουργιών

Υπάρχει ευρέως εξαπλωμένη συμφωνία στην ύπαρξη διαφορών στις οφθαλμοκινήσεις μεταξύ δυσλεξικών και κανονικών σε αναγνωστικές δοκιμασίες (Calvert and Cromes, 1966, Donders and Van der Vlugt, 1984, Eltrerman et al. , 1980,

Griffin et al. , 1974, Heiman and Ross, 1974, Pavlidis, 1978, 1981b, 1986). Σ'αυτές τις έρευνες βρέθηκε ότι οι δυσλεξικοί δείχνουν μεγαλύτερο αριθμό οπισθοδρομικών κινήσεων του ματιού, ακανόνιστων προσηλώσεων και μεγαλύτερο αριθμό οφθαλμικών κινήσεων γενικά. Φυσικά, επειδή τα πειραματικά ερεθίσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν λεκτικής φύσεως, αυτές οι μελέτες δε βοηθούν πολύ στο να καθοριστεί αν οι παρατηρούμενες διαφορές αντανακλούν δυσκολίες στην κατανόηση, με αλληλοδιαδοχικές ή οφθαλμοκινητικές λειτουργίες.

Ο κ. Παυλίδης (1981a,b, 1985b) διεξήγαγε μια σειρά ερευνών σχεδιασμένη ώστε να βοηθήσει στην απάντηση αυτού του ερωτήματος. Έκανε τρεις διαφορετικές μελέτες, η λογική πίσω από τις οποίες είναι η εξής: Σκέφτηκε ότι, αν οι ακανόνιστες οφθαλμικές κινήσεις των δυσλεξικών ήταν, απλά, αποτέλεσμα κακών αναγνωστικών συνηθειών ή δυσκολιών με το αναγνωστικό υλικό, τότε: (1) Οι οφθαλμοκινήσεις των κανονικών ατόμων θα πρέπει να γίνονται ακανόνιστες όταν αυτοί διαβάζουν πιο δύσκολο υλικό, (2) Οι οφθαλμικές κινήσεις των δυσλεξικών θα πρέπει να γίνονται κανονικές όταν αυτοί διαβάζουν πιο εύκολο υλικό, και (3) Οι οφθαλμοκινήσεις των δυσλεξικών θα πρέπει να είναι όμοιες με αυτές άλλων εξίσου κακών, μη δυσλεξικών αναγνωστών. Καμία απ'αυτές τις υποθέσεις δε στηριζόταν από τα αποτελέσματα, έτσι οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι η δυσκολία του κειμένου ή οι κακές αναγνωστικές συνήθειες δε μπορούν να εξηγήσουν τις ακανόνιστες οφθαλμοκινήσεις των δυσλεξικών. Αντιθέτως, φαινόταν να ευθύνεται κάποια εγκεφαλική βλάβη.

Χρησιμοποιώντας οφθαλμοκινητικές δοκιμασίες (αλληλοδιαδοχικής επιδόσεως, αργά αλλά χρονικά μεταβαλλόμενους οπτικούς ερεθισμούς), ο καθηγητής Παυλίδης (1981α, b, 1985b) σαφώς διαχώρισε τους δυσλεξικούς από τους μη-δυσλεξικούς αναγνώστες.

Οι Dodgen και Pavlidis διερεύνησαν τις χωρο-χρονικές μεταβλητές σε μια έρευνα, κατά την οποία προσπάθησαν να καθορίσουν αν οι δυσκολίες στην αλληλοδιαδοχική οφθαλμοκινητική λειτουργία αντανακλούν γενικότερα προβλήματα ελέγχου οφθαλμοκινήσεων ή απλώς αποτελούν άλλη μια εκδήλωση γενικού προβλήματος αλληλοδιαδοχής. Σκέφτηκαν ότι, αν τα προβλήματα στις οφθαλμικές κινήσεις των δυσλεξικών πρέπει να θεωρηθούν ως αντανάκλαση ελλείψεων στην αλληλοδιαδοχική επεξεργασία και όχι ως γενικότερο πρόβλημα οφθαλμοκίνησης, οι δυσλεξικοί θα πρέπει να είναι κατώτεροι στη χρονική (αριστερού ημισφαιρίου, αλληλοδιαδοχική) ακρίβεια κατά την άσκηση οφθαλμικών κινήσεων. Στη μελέτη τους επίσης επιχείρησαν να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ δυσκολιών αλληλοδιαδοχικών οφθαλμοκινήσεων και δυσκολιών αλληλοδιαδοχής, μετρημένων με πιο συμβατικές διαδικασίες επίδοσης (για χειρός), και ενός τεστ ακουστικού διαχωρισμού. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, οι Dodgen και Pavlidis ζήτησαν από δυσλεξικούς και προσεκτικά αντιστοιχισμένους κανονικούς αναγνώστες να αναπαράγουν πρότυπα ερεθισμάτων διαφορετικής ταχύτητας και πολυπλοκότητας, σε δύο κινητικά-αποτελεσματικά συστήματα (το της χειρός και το οφθαλμοκινητικό). Επίσης, στο τεστ διαχωρισμού τα υποκείμενα έπρεπε ν' ακούσουν δύο ομάδες ρυθμικά διαχωρισμένων ακουστικών προτύπων για να αποφασίσουν αν τα δύο πρότυπα είναι όμοια ή διαφορετικά. Τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας έρευνας έδειξαν ότι οι δυσλεξικοί κυρίως είχαν προβλήματα στη σακκαδική λειτουργία που είχε να κάνει με τον σωστό χρονισμό.

Σε λειτουργικό επίπεδο, ο Παυλίδης (1986), σημείωσε ότι τα μάτια πρέπει να κινούνται με γρήγορη αλληλουχία για να πάρουν όλες τις οπτικές πληροφορίες που χρειάζονται για να λειτουργήσουν αποδοτικά. Άρα, υπάρχει πρόβλημα στη λήψη και την επεξεργασία των πληροφοριών. Η σημασία των οφθαλμοκινητικών απαιτήσεων στην ανάγνωση αποδείχτηκε ερευνητικά (Pavlidis, 1987). Χρησιμοποιήθηκε μια διαδικασία κατά την οποία παρουσιάστηκε κείμενο σε μια οθόνη υπολογιστή με τον εξής τρόπο : μία-μία λέξη διαδοχικά στο ίδιο σημείο της οθόνης. Αυτή η διαδικασία εξάλειψε ή τουλάχιστον ελάττωσε κατά πολύ την ανάγκη οφθαλμικών κινήσεων. Σ' αυτή τη δοκιμασία οι δυσλεξικοί διάβασαν με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από συνήθως, κατανοώντας σχεδόν το 90%.

### 2.5.2 Σχέση μεταξύ οφθαλμοκίνησης και δυσλεξίας

Αν και οι ερευνητές συμφωνούν ότι οι δυσλεξικοί παρουσιάζουν εσφαλμένες οφθαλμικές κινήσεις, διαφωνούν ως προς την έκταση και τη φύση της σχέσης μεταξύ εσφαλμένων οφθαλμικών κινήσεων και δυσλεξίας.

Η εσφαλμένη κίνηση των ματιών κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης είναι ένα κοινό σύμπτωμα των περισσότερων δυσλεξικών. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των εσφαλμένων κινήσεων των ματιών κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης είναι ο υψηλός αριθμός οφθαλμοκινήσεων ιδιαίτερα παλινδρομικών που συχνά παρουσιάζονται δύο ή περισσότερες φορές διαδοχικά.

Αντίθετα με τους κανονικούς αναγνώστες, οι παλινδρομικές οφθαλμικές κινήσεις των δυσλεξικών είναι μερικές φορές μεγαλύτερες των οφθαλμοκινήσεων από αριστερά προς τα δεξιά. Αλλά χαρακτηριστικά της οφθαλμοκίνησης των δυσλεξικών είναι η μεγάλη διακύμανση τόσο στο μέγεθος όσο και στη διάρκειά τους. (σχήμα 2 και 3).

Το οφθαλμογράφημα δυσλεξικού ατόμου έχει ακανόνιστο, ιδιοσυγκρασιακό σχήμα και το χαρακτηρίζει η έλλειψη σταθερού επαναλαμβανόμενου σχήματος σε κάθε γραμμή. Δηλαδή, το οφθαλμογράφημα του δυσλεξικού διαφέρει καθαρά από εκείνο του κανονικού ή αργού αναγνώστη που το σχήμα του μοιάζει με το σχήμα κανονικής σκάλας. (σχήμα 2 και 3). Το οφθαλμογράφημα του κανονικού αναγνώστη παρουσιάζει μια επαναλαμβανόμενη σταθερότητα σε κάθε γραμμή κειμένου.

Τρεις είναι οι βασικές θεωρίες που προσπαθούν να εξηγήσουν αυτή τη σχέση, εκείνοι που πιστεύουν ότι η δυσλεξία οφείλεται μόνο σε διαταραχές της γλώσσας πιστεύουν πως οι εσφαλμένες οφθαλμικές κινήσεις είναι μια άλλη αντανάκλαση των προβλημάτων που έχουν οι δυσλεξικοί με την ανάγνωση.

Κατά συνέπεια, λένε πως σε μια έντονη μη εστιασμένη προσπάθεια που καταβάλλει ο δυσλεξικός να αντιληφθεί το κείμενο, κάνει οφθαλμικές κινήσεις που πηδούν ανοργάνωτα πάνω στη γραμμή του κειμένου.

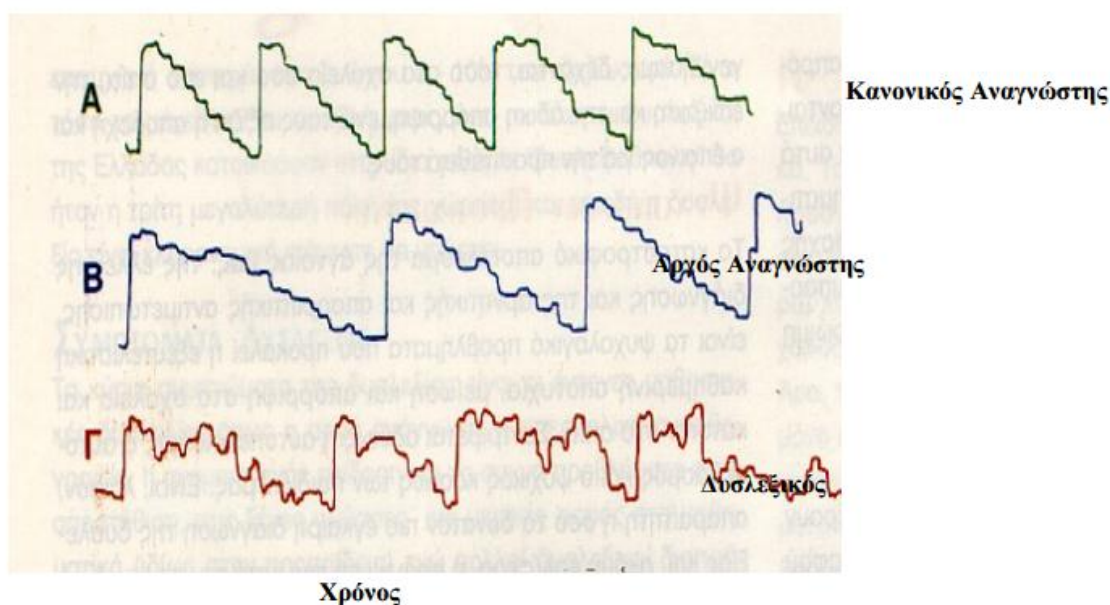
Η αδυναμία αυτής της γλωσσικής θεωρίας είναι ότι αδυνατεί να εξηγήσει τις δυσκολίες που έχουν οι δυσλεξικοί σε δραστηριότητες όχι σχετικές με τη γλώσσα, όπως είναι τα προβλήματα που παρουσιάζουν όταν χρειάζεται να ενεργήσουν με γρήγορη αλληλοδιαδοχή που δε σχετίζεται με την ανάγνωση π.χ. όταν τους ζητηθεί να αναπαράγουν ένα ρυθμό.

Η δεύτερη θεωρία ότι η δυσλεξία είναι αντιληπτικό πρόβλημα. Οι υποστηρικτές της λένε πως οι δυσλεκτικοί έχουν εσφαλμένες οφθαλμοκινήσεις λόγω της αντιληπτικής τους δυσλειτουργίας, που έχει σαν αποτέλεσμα την αποτυχία στην ανάγνωση. Το πρόβλημα αυτής της θεωρίας είναι ότι δεν μπορεί να εξηγήσει τα γλωσσικά προβλήματα που παρουσιάζουν σε περισσότερους από τους μισούς δυσλεκτικούς.

Ο καθηγητής κ. Παυλίδης όμως προτείνει μια τρίτη θεωρία. Σύμφωνα με αυτή οι εσφαλμένες οφθαλμικές κινήσεις και η δυσλεξία είναι τα συμπτώματα ενός ή περισσοτέρων κοινών ή ανεξάρτητων αλλά παράλληλων εγκεφαλικών δυσλειτουργιών. Έτσι είτε η εσφαλμένη οφθαλμοκίνηση και η δυσλεξία έχουν την ίδια κοινή αιτία, ή προκαλούνται από δύο διαφορετικές εγκεφαλικές δυσλειτουργίες - η μια προκαλεί τη δυσλεξία και η άλλη την εσφαλμένη κίνηση των ματιών- ή και μπορεί και οι δύο να είναι το αποτέλεσμα ενός τρίτου παράγοντα, που προκαλεί τη δυσλειτουργία και των δύο αυτών εγκεφαλικών δυσλειτουργιών.

### 2.5.3 Ποιες οι Διαφορές των Οφθαλμογραφημάτων Δυσλεκτικών και Κανονικών Αναγνωστών;

Τα οφθαλμογραφήματα των δυσλεκτικών διαφέρουν σημαντικά από αυτά των κανονικών αναγνωστών αλλά και των καθυστερημένων (μη δυσλεκτικών) αναγνωστών, τόσο κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης μεμονωμένων λέξεων ή ενός κειμένου όσο και όταν ακολουθούν φωτάκια που αντικαθιστούν τις λέξεις. Δηλαδή, ο εγκέφαλος κατευθύνει το μάτι από το ένα φωτάκι στο επόμενο ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που το κινεί από τη μία λέξη στην επόμενη όταν διαβάζει, με τη μόνη διαφορά ότι στο τεστ μου δε χρειάζεται να αναγνωρίζει λέξεις και να κατανοεί κείμενο, γιατί έχουν αντικατασταθεί από φωτάκια. Η διαφορά μεταξύ των οφθαλμογραφημάτων των κανονικών αναγνωστών και των δυσλεκτικών αποτελεί τη βάση του διαγνωστικού Τεστ Παυλίδη (βλέπε Εικόνα 2.4).



*Εικόνα 2.4: Οφθαλμογραφήματα αναγνωστών καταγραμμένα κατά τη διάρκεια ανάγνωσης κειμένου ανάλογου της αναγνωστικής τους ικανότητας: Α) Κανονικού αναγνώστη, Β) Αργού (μη δυσλεξικού αναγνώστη), Γ) Δυσλεξικού.*

Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν τη θέση και τη διάρκεια της προσήλωσης του βλέμματος, ενώ οι κάθετες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μέγεθος της κίνησης των οφθαλμών. Όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος των οριζόντιων γραμμών τόσο μεγαλύτερη η διάρκεια της προσήλωσης, και τόσο μεγαλύτερη η δυσκολία αναγνώρισης των λέξεων και κατανόησης του κειμένου. Όσο μεγαλύτερη είναι η κάθετη γραμμή τόσο μεγαλύτερο το μέγεθος της οφθαλμοκίνησης, και τόσο περισσότερες λέξεις προσλαμβάνει ο αναγνώστης σε κάθε προσήλωση.

Τα σχήματα των οφθαλμογραφημάτων του κανονικού (Α) και του αργού (Β) αναγνώστη είναι παρόμοια και έχουν το σχήμα σκάλας. Του κανονικού αναγνώστη χαρακτηρίζονται από μια σταθερότητα τόσο στη διάρκεια των διαδοχικών προσηλώσεων (μέγεθος οριζόντιων γραμμών), όσο και στο μέγεθος των κινήσεων των οφθαλμών (κάθετες γραμμές). Αυτή η σταθερότητα είναι λιγότερο εμφανής στον αργό αναγνώστη (Β) που χρειάζεται περίπου διπλάσιο χρόνο από τον κανονικό αναγνώστη να διαβάσει τον ίδιο αριθμό λέξεων. Το σχήμα της «σκάλας» που εμφανίζει η κάθε σειρά κειμένου είναι παρόμοιο κατά την ανάγνωση διαδοχικών γραμμών. Όσο μεγαλύτερο το οριζόντιο μέγεθος της σκάλας τόσο περισσότερο χρόνο πήρε η ανάγνωσή της αντίστοιχης σειράς. Αντίθετα το οφθαλμογράφημα του δυσλεξικού (Γ) έχει διαφορετικό σχήμα που είναι ακανόνιστο και διαφέρει από μια γραμμή στην άλλη. Οι διάρκειες των προσηλώσεων του βλέμματος ποικίλουν, αντικατοπτρίζοντας την ανομοιογενή απόδοση - δυσκολία του δυσλεξικού στο να αναγνωρίσει και να κατανοήσει λέξεις της ίδιας γραμμής και του ίδιου κειμένου. Εφόσον η κατανόηση του κειμένου παραμένει η ίδια, όσο πιο σταθερό, μικρό και ομοιογενές είναι το σχήμα της σκάλας, τόσο καλύτερος είναι ο αναγνώστης.[13]

## **Κεφάλαιο 3: Συλλογή δεδομένων των σακκαδικών κινήσεων**

### **3.1 Τεχνικές καταγραφής οφθαλμικών σακκαδικών κινήσεων**

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνικές που υπάρχουν για την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων και κατ'επέκτασιν και των σακκαδικών κινήσεων. Έτσι,

έχουμε:

### **3.1.1 Καταγραφή της σχετικής θέσης κερατοειδή – κόρης / VideoOculoGraphy (VOG), PhotoOculoGraphy (POG):**

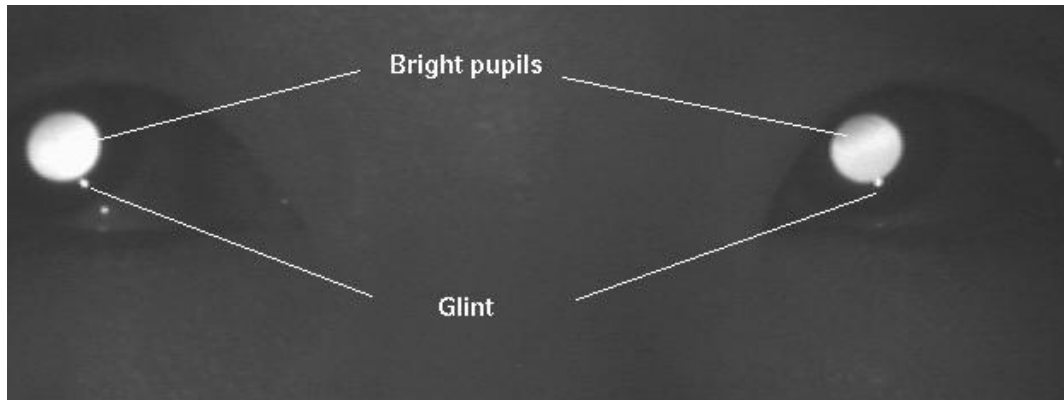
Είναι κοινώς αποδεκτό ότι τα συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων που βασίζονται στην τεχνική VideoOculoGraphy είναι τα απλούστερα στην οργάνωση και την λειτουργία τους. Εντούτοις, τα μεγάλα μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας, η μικρή διακριτική ικανότητα, ο υψηλός θόρυβος και η συχνή απώλεια δεδομένων. Παρόλα αυτά, η πρόοδος της τεχνολογίας, προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της έρευνας, δημιούργησε κάμερες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και ανάλυσης.

### **3.1.2 Video Based συνδυάζοντας κόρη και αντανάκλαση του κερατοειδούς:**

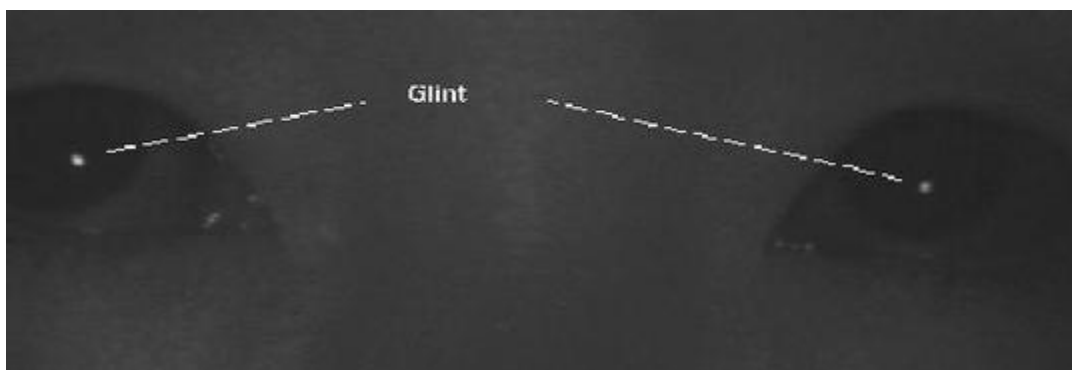
Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτη (video based) ματιού - βλέμματος είναι η επικρατέστερη και μπορεί να διαιρεθεί στις εξής προσεγγίσεις :

- i. προσέγγιση κίνησης κεφαλιού.
- ii. οφθαλμική προσέγγιση.
- iii. συνδυασμός κινήσεων κεφαλιού και οφθαλμών.

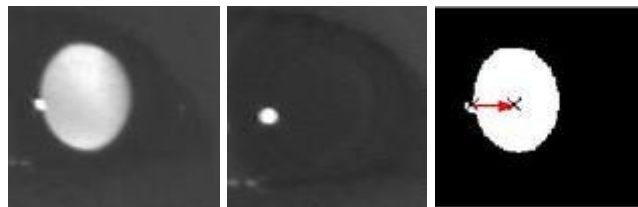
Η οφθαλμική προσέγγιση υλοποιεί την εκτίμηση του βλέμματος με τη σχέση μεταξύ βλέμματος και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών - θέσεων της ίριδας ή της κόρης του οφθαλμού. Ένα από τα προβλήματα στην οφθαλμική προσέγγιση είναι ότι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βλέμματος μόνο τοπικές πληροφορίες, δηλαδή, οι εικόνες του οφθαλμού. Κατά συνέπεια, το σύστημα βασίζεται σε μια σχετικά σταθερή θέση της κεφαλής του χρήστη σε σχέση με την κάμερα. Άρα ο χρήστης δεν θα πρέπει να μετακινεί το κεφάλι του. Η ίριδα και ο σκληρός χιτώνας έχουν ένα πολύ ειδικό χαρακτηριστικό στην δομή τους. Ο σκληρός χιτώνας είναι άσπρος και η ίριδα είναι σκουρόχρωμη. Έτσι είναι οπτικά ανιχνεύσιμη η μετάβασή από το λευκό στο σκουρόχρωμο και το αντίθετο. Επίσης, επιτυγχάνεται πολύ αποτελεσματική παρακολούθηση βάση του στοιχείου της φωτεινότητας της κόρης υπό την επιρροή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, η εκτίμηση του βλέμματος που βασίζεται στην ίριδα υπολογίζει το βλέμμα με τον καθορισμό της τοποθέτησης της ίριδας από τις στρεβλώσεις στο σχήμα της, ενώ η προσέγγιση της κόρης του οφθαλμού καθορίζει το βλέμμα με βάση τη σχετική χωρική θέσεων μεταξύ της κόρης και της λάμπης (αντανάκλαση του κερατοειδούς, glint).



Εικόνα 3.1: Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (video based)



Εικόνα 3.2: Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (2) (video based)



Εικόνα 3.3.: Η μέθοδος βίντεο ιχνηλάτης (3)(video based)

Πριν όμως εφαρμοσθούν οι παραπάνω τεχνικές σαν πρωταρχικό στάδιο και προϋπόθεση εφαρμόζεται η τεχνική της διαμέτρησης (calibration). Κατά την διάρκεια της διαδικασίας της διαμέτρησης γίνονται οι εξής λειτουργίες:

- α) Αντιστοίχιση γνωστών θέσεων του οφθαλμού με γνωστές τοποθεσίες μέσα στην εικόνα.
- β) Ο χρήστης καλείται να δει ένα πλέγμα 3X3 σημείων της εικόνας των οποίων οι θέσεις (συντεταγμένες) είναι γνωστές.
- γ) Καθώς ο χρήστης προσδιορίζει ένα σταθερό σημείο υπολογίζεται η θέση του ματιού του.



### 3.1.3 Συστήματα eye-tracking.

Τα eye-tracking συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Remote (απομακρυσμένα).
- β) Head-mounted (προσαρμοσμένα στο κεφάλι).

Τα συστήματα αυτά υλοποιούν αλγορίθμους εντοπισμού της θέσης του ματιού και βασίζονται σε τεχνικές καταγραφής κινήσεων του ματιού. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι εντοπισμού της θέσης του ματιού οι οποίοι χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- 1) feature-based (με βάση τα χαρακτηριστικά).
- 2) model-based (προσέγγιση μοντέλου).

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο feature-based είναι δυνατός ο υπολογισμός του 3-D διανύσματος της κατεύθυνσης του ματιού ακόμα και με περιστροφή της κεφαλής. Τα ανιχνευόμενα χαρακτηριστικά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των αλγορίθμων που έχουν αναπτυχθεί, αλλά οι περισσότεροι βασίζονται σε επίπεδα έντασης ή κλίμακες έντασης. Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση μοντέλου δεν βασίζεται στην ανίχνευση χαρακτηριστικών αλλά προσπαθεί να βρει την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου που να ταιριάζει με την εικόνα. Η model-based προσέγγιση είναι γενικά πιο ακριβής από την feature-based. Από την άλλη όμως η model-based χρειάζεται μεγάλη υπολογιστική ισχύ διότι είναι πολύπλοκη, υπολογιστικά χρονοβόρα διαδικασία και προσφέρει ελάχιστες δυνατότητες ευελιξίας (Dongheng & Parkhurst, 2005) [14].

### 3.1.4 Άλλες γνωστές μέθοδοι καταγραφής

**A) Τεχνικές που βασίζονται σε ανακλώμενες ακτίνες.**

**B) Dual – Purkinje.**

**Γ) Καταγραφή με χρήση πομπού – δέκτη υπερύθρων / InfraRed OculoGraphy.**

**Δ) Τεχνική που βασίζεται στην καταγραφή ηλεκτρικού δυναμικού (Ηλεκτροοφθαλμογράφημα-EOG).**

**Στ) Τεχνικές που βασίζονται σε φακούς επαφής:**

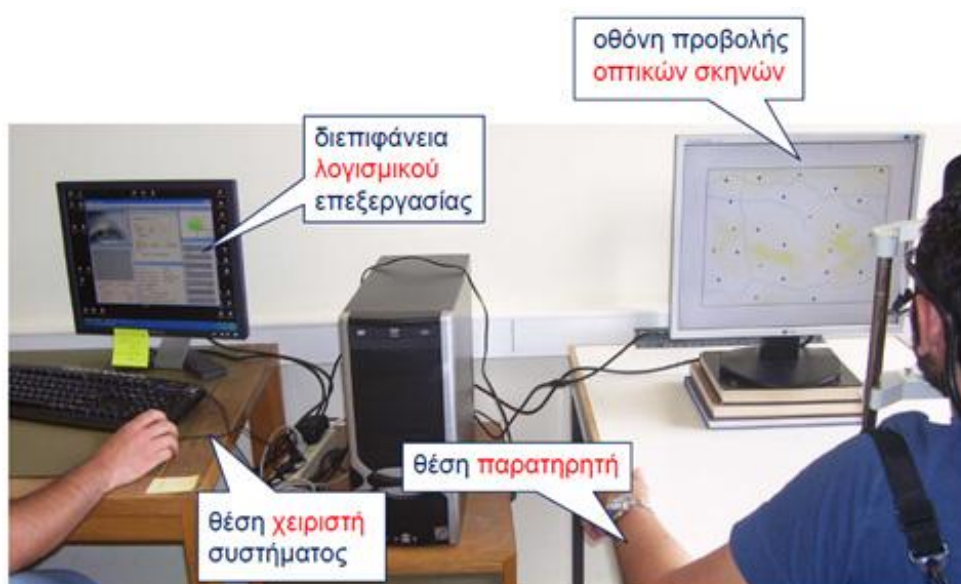
-ένας ή περισσότεροι επίπεδοι καθρέφτες στηρίζονται πάνω στον φακό.

-μικροσκοπικό επαγωγικό πηνίο εμφυτεύεται μέσα στον φακό (scleral search coil).

### 3.2 Σύστημα καταγραφής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την καταγραφή οφθαλμικών κινήσεων

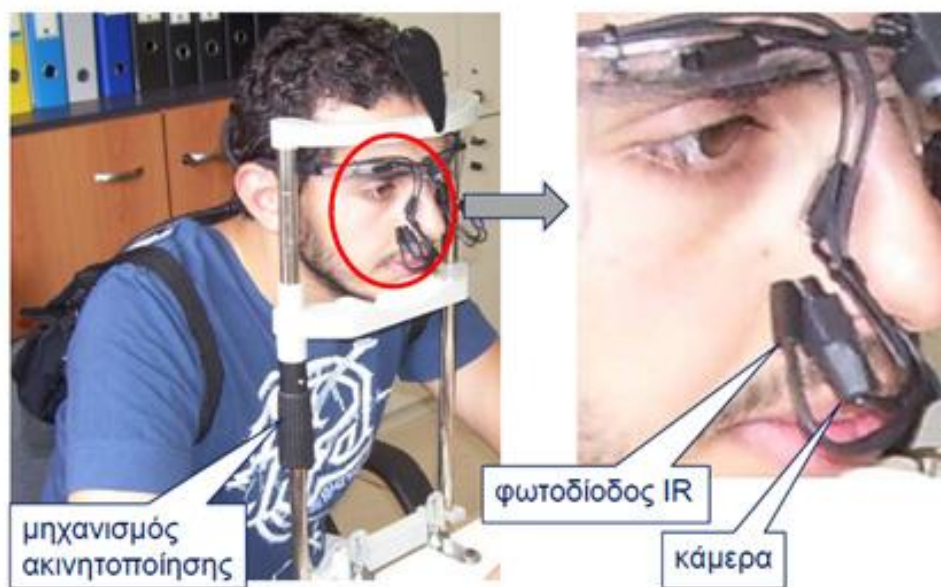
Η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων αποτελεί μία διαδικασία μέτρησης και καταγραφής είτε της κίνησης των ματιών σε σχέση με το κεφάλι ενός παρατηρητή ή του σημείου προσοχής του βλέμματος του πάνω σε μία οπτική σκηνή. Η έννοια της οπτικής σκηνής είναι ευρεία, καθώς είναι δυνατόν να αναφέρεται σε ένα αναλογικό προϊόν (για παράδειγμα έναν αναλογικό χάρτη) ή σε ένα ψηφιακό προϊόν (για παράδειγμα έναν ψηφιακό χάρτη), το οποίο μπορεί να απεικονίζεται σε μια οθόνη υπολογιστή, τηλεόρασης ή να προβάλλεται μέσω μιας κατάλληλης συσκευής σε μια επιφάνεια. Βέβαια, το ρόλο της οπτικής σκηνής είναι δυνατόν να διαδραματίζει ο φυσικός χώρος.

Κατά καιρούς, διαφορετικές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό των κινήσεων του οφθαλμών. Πρόκειται για μεθόδους που είτε έχουν ως βάση τη δημιουργία ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου γύρω από τον οφθαλμό του παρατηρητή (ηλεκτρο-οφθαλμογραφία) ή τη χρήση ειδικών τύπων φακών επαφής. Η τεχνική όμως που έχει επικρατήσει για την καταγραφή των κινήσεων, κυρίως λόγω της δυνατότητας άμεσης εφαρμογής της, βασίζεται στη χρήση συσκευών οι οποίες, αναλύοντας εικόνες του ματιού, είναι σε θέση να καταγράψουν την κίνηση του βλέμματος επί της οπτικής σκηνής. Το Εργαστήριο Χαρτογραφίας του Ε.Μ.Π., διαθέτει το σύστημα καταγραφής κινήσεων οφθαλμού ViewPoint EyeTracker® της Arrington Research, η λειτουργία του οποίου στηρίζεται στην τελευταία από τις προαναφερθείσες τεχνικές.



Εικόνα 3.4: Γεωμετρική διάταξη του συστήματος χειριστής – παρατηρητής - σύστημα καταγραφής

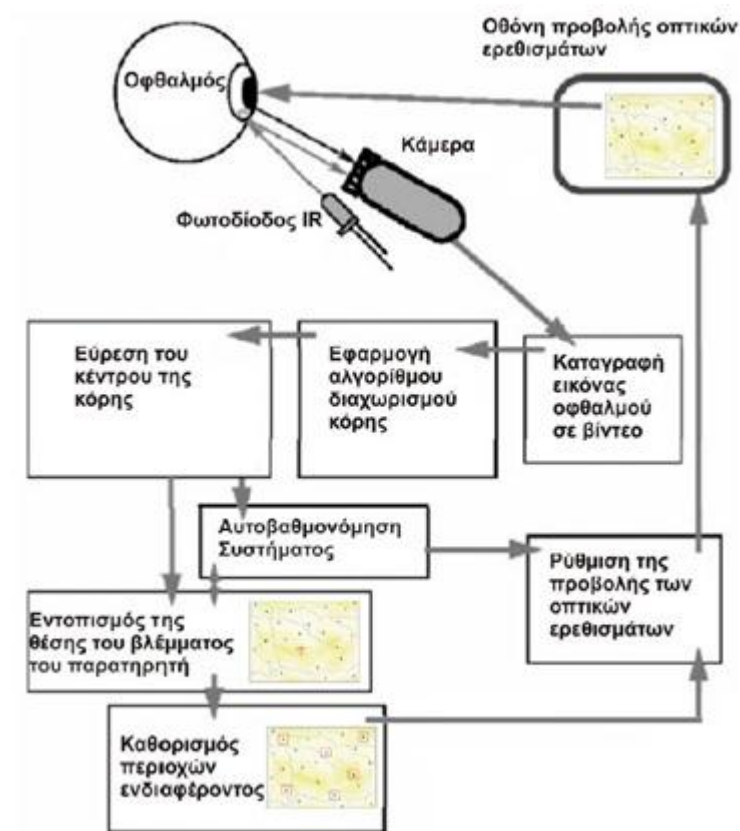
Το σύστημα καταγραφής αποτελεί ένα εργαλείο εντοπισμού των κινήσεων του βλέμματος ενός παρατηρητή κατά τη διάρκεια παρατήρησης οπτικών σκηνών επί της οθόνης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα βασικά μέρη από τα οποία απαρτίζεται το σύστημα είναι η συσκευή καταγραφής (hardware) και το λογισμικό επεξεργασίας (software). Το σύστημα έχει “ενσωματωθεί” σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος διαθέτει μια επιπλέον κάρτα γραφικών. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα της χρήσης δύο οθονών, η μία εκ των δύο χρησιμοποιείται από το χειριστή του συστήματος (primary monitor) και η άλλη για την προβολή των οπτικών σκηνών (secondary monitor). Η συσκευή καταγραφής (hardware), εσωτερικά της κεντρικής μονάδας του υπολογιστικού συστήματος, αποτελείται από μια πλακέτα που συνδέεται επί της μητρικής μονάδας και εξωτερικά από ένα σύστημα πρόσδεσης στο οπτικό σύστημα του παρατηρητή. Το σύστημα πρόσδεσης επιτρέπει την ύπαρξη μιας κάμερας και μίας φωτοδιόδου υπερύθρου φωτός για κάθε έναν εκ των δύο οφθαλμών του οπτικού συστήματος. Τη γεωμετρική διάταξη του συστήματος, συμπληρώνει η ύπαρξη ενός μηχανισμού σταθεροποίησης της θέσης του οπτικού συστήματος του παρατηρητή. Το σύστημα, παρέχει επίσης τη δυνατότητα της “επέκτασης” της οπτικής σκηνής στο φυσικό χώρο, καθώς διαθέτει και μια τρίτη κάμερα επί του συστήματος πρόσδεσης στο κεφάλι του παρατηρητή.



Εικόνα 3.5: Γεωμετρική διάταξη του συστήματος κάμερα - φωτοδιόδος IR- μηχανισμός ακινητοποίησης παρατηρητή

Η λειτουργία του συστήματος για την καταγραφή των κινήσεων του οφθαλμού επιτυγχάνεται με μια σειρά διαδοχικών λειτουργιών. Η φωτοδιόδος υπερύθρου φωτός, η οποία βρίσκεται προσδεμένη κάτω από το μάτι του παρατηρητή, φωτίζει τον οφθαλμικό βολβό, ενώ ταυτόχρονα η εικόνα του καταγράφεται με τη βοήθεια της κάμερας που υπάρχει δίπλα στο φακό υπερύθρου. Ο φωτισμός επιτρέπει το διαχωρισμό της περιοχής της κόρης από αυτήν της ίριδας καθώς το υπέρυθρο φως δίνει τη δυνατότητα έντονης διαφοροποίησης των τόνων

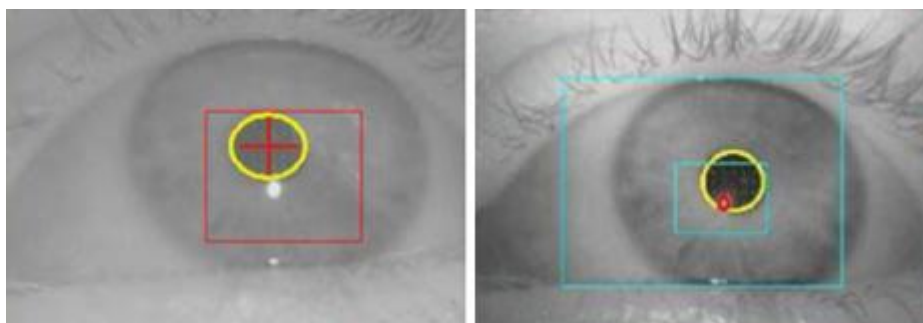
των δύο περιοχών. Έτσι, με την εφαρμογή ενός κατωφλίου, η διάκριση μεταξύ των δύο αυτών περιοχών καθίσταται δυνατή. Επιπλέον, η κάμερα καταγράφει την ανάκλαση του υπερύθρου φωτός στον οφθαλμό του παρατηρητή. Με την εφαρμογή αλγορίθμων κατάτμησης εντοπίζεται το κέντρο της κόρης καθώς και η θέση της ανάκλασης του φωτός. Το σύστημα, για κάθε παρατηρητή, κατασκευάζει ένα μαθηματικό μετασχηματισμό, μέσω του οποίου κάθε κίνηση της κεντρικής όρασης αντιστοιχίζεται στην κίνηση επί του οπτικού ερεθίσματος που προβάλλεται στην οθόνη (secondary monitor). Η δημιουργία της συνάρτησης αυτής πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας αυτοβαθμονόμησης του συστήματος, η οποία εφαρμόζεται για κάθε παρατηρητή. Μετά την εύρεση του μετασχηματισμού απεικόνισης των οφθαλμικών κινήσεων, το σύστημα μπορεί να καταγράψει κάθε μετακίνηση επί της οθόνης προβολής ερεθισμάτων ή, κατ' επέκταση, κάθε μετακίνηση που συμβαίνει κατά την παρατήρηση στο φυσικό χώρο.



Εικόνα 3.6: Διαγραμματική απεικόνιση της λειτουργίας του συστήματος καταγραφής

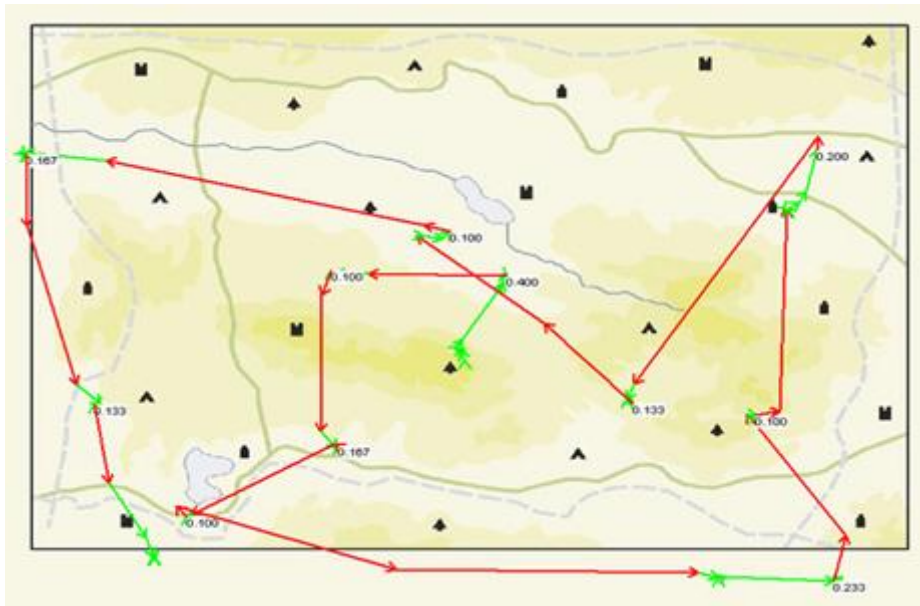
Για τον εντοπισμό του οπτικού κέντρου, το σύστημα χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες. Έτσι, το σύστημα εντοπίζει το κέντρο της βοθρίας όρασης, είτε μέσω του εντοπισμού του κέντρου της κόρης του οφθαλμού (pupil location method), ή μέσω του εντοπισμού της ανάκλασης του αμφιβληστροειδούς (glint location method) ή μέσω του εντοπισμού του διανύσματος του κέντρου της κόρης και της ανάκλασης του αμφιβληστροειδούς (pupil-glint vector). Η διαδικασία της αυτοβαθμονόμησης, η αναγκαιότητα της οποίας περιγράφηκε

παραπάνω, πραγματοποιείται μέσω της παρατήρησης σταθερών στόχων, υπό τη μορφή τετραγώνων στην οθόνη προβολής των οπτικών σκηνών. Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει διάφορες παραμέτρους, αναφέροντας χαρακτηριστικά το συνολικό αριθμό των απεικονιζόμενων σταθερών σημείων και το χρόνο εμφάνισης καθενός, οι οποίες καθορίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του πειραματικού σχεδιασμού. Τα δεδομένα που καταγράφονται δεν καλύπτουν μόνο την ανάγκη για καταγραφή συντεταγμένων μετακίνησης επί του οπτικού ερεθίσματος. Μέσω του συστήματος, παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής του ακριβή χρόνου που γίνεται κάθε δειγματοληψία, η δυνατότητα δημιουργίας ειδικών περιοχών ενδιαφέροντος (ROIs) όπου μπορούμε να εξετάζουμε αν υπάρχει κάποια καταγραφή, η δυνατότητα καταγραφής του εύρους της κόρης του παρατηρητή, του λόγου των διαστάσεων των επαπτόμενων πλευρών της κόρης, της στρέψης του οφθαλμού και φυσικά παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής της διάρκειας προσήλωσης της προσοχής του βλέμματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο (fixation), το οποίο αποτελεί και το βασικό μέγεθος ανάλυσης και παρατήρησης των αποτελεσμάτων της καταγραφής. Επιπλέον, το σύστημα συνοδεύει κάθε σημείο καταγραφής του από έναν δείκτη, ο οποίος δηλώνει την ποιότητα της συγκεκριμένης καταγραφής.



*Εικόνα 3.7: Εντοπισμός του κέντρου της κόρης (εικόνα στα αριστερά) και εντοπισμός της κόρης και της ανάκλασης του αμφιβληστροειδούς (εικόνα στα δεξιά)*

Η συχνότητα δειγματοληψίας του συστήματος ορίζεται από το χειριστή του, στη διάθεση του οποίου υπάρχουν δύο επιλογές (30Hz ή 60Hz). Το οπτικό εύρος της καταγραφής αντιστοιχεί σε  $\pm 44$  μοίρες του οπτικού τόξου κατά την οριζόντια διεύθυνση και αντίστοιχα σε  $\pm 20$  μοίρες κατά την κατακόρυφη. Η ακρίβεια του συστήματος καταγραφής που είναι δυνατόν να επιτευχθεί, κυμαίνεται στο διάστημα μεταξύ 0,25–1,00 μοίρας του οπτικού τόξου, με διακριτική ικανότητα που αντιστοιχεί σε 0,15 της μοίρας. Το σύστημα καταγραφής αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την διεξαγωγή χαρτογραφικών πειραμάτων αλλά και άλλων ομοειδών τα οποία βρίσκουν εφαρμογή τόσο στην ψυχολογική έρευνα όσο και σε άλλους τομείς, όπως στη διαφήμιση ή στην αξιολόγηση της σχεδίασης ενός λογισμικού περιβάλλοντος. Για να κατανοηθεί η σημαντικότητα του εργαλείου αυτού, αρκεί να σκεφτούμε ότι μας παρέχει τη δυνατότητα απόκτησης της εικόνας του οπτικού ίχνους με ταυτόχρονο προσδιορισμό του χρόνου, η οποία με τη σειρά της υποδεικνύει τον τρόπο και τα σημεία προσήλωσης της προσοχής κατά την παρατήρηση μιας σκηνής, ενός ερεθίσματος ή ενός φαινομένου [15].



Εικόνα 3.8: Καταγραφή του οπτικού ίχνους κατά τη διάρκεια αναζήτησης ενός συμβόλου σε χαρτογραφικό υπόβαθρο.

### 3.3 Ανάλυση δεδομένων οφθαλμικών σακκαδικών κινήσεων

Τα παραπάνω συστήματα ανίχνευσης του βλέμματος μετασχηματίζουν το βλέμμα και τις κινήσεις του σε δεδομένα τα οποία εκμεταλλεύονται οι διάφορες εφαρμογές σχετικών διεπαφών. Οι σταθεροποιήσεις μεταφράζονται σε σημεία εισόδου πληροφορίας:

- Αρχή της σταθεροποίησης του βλέμματος.
- Συνέχιση (κάθε 50 ms).
- Τέλος της σταθεροποίησης.
- Είσοδος σε περιοχές παρακολούθησης.

Τα σημεία σχηματίζουν γεγονότα που δημιουργούνται από το μάτι και τα γεγονότα εμπεριέχουν πληροφορία σχετικά με το αντικείμενο όπου είναι προσηλωμένο το βλέμμα.

### 3.3.1 Σημαντικά στοιχεία για την ανάλυση των δεδομένων

Ένα από τα σημαντικά σημεία στην ανάλυση στοιχείων είναι συνήθως η διάκριση μεταξύ των :

- **fixations** (χρόνοι όταν το μάτι είναι ουσιαστικά στάσιμο)
- **saccades** (γρήγορες επανακατευθυνόμενες μετακινήσεις του ματιού).

Τα εργαλεία λογισμικού χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά όπως:

- **την θέση ματιών** (διασπορά υπολογισμού μιας σειράς των σημείων στοιχείων θέσης ματιών γνωστών ως *ανάλυση εγγύτητας*).
- **την ταχύτητα ματιών** (αλλαγή στη θέση κατά τη διάρκεια του χρόνου).

Χρησιμοποιώντας τέτοια εργαλεία λογισμικού ο πειραματιστής μπορεί γρήγορα και εύκολα να ξέρει :

- Πότε τα μάτια **κινήθηκαν**.
- Πότε σταμάτησαν για να **σταθεροποιηθούν**.
- Που στο **οπτικό πεδίο** εμφανίστηκαν αυτές οι σταθεροποιήσεις.

Η συχνότητα σταθερού βλέμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σημασίας του αντικειμένου που βλέπουμε. Η διάρκεια σταθερού βλέμματος χρησιμοποιείται ως μέτρο της δυσκολίας της εξαγωγής πληροφορίας και της ερμηνείας. Το πρότυπο των μεταβάσεων του σταθερού βλέμματος μεταξύ των αντικειμένων θέασης χρησιμοποιείται ως μέτρο της αποτελεσματικότητας της διάταξης των επιμέρους στοιχείων οθόνης [16].

Στα συστήματα eye-tracking η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με απλή και κατανοητή μορφή και η αξιολόγησή τους συμβάλλει στη βελτιστοποίηση του συγκεκριμένου προϊόντος, προλαμβάνοντας, σε πολλές περιπτώσεις, μελλοντικές αλλαγές ή ακόμα και επανασχεδιασμό. Η ανάλυση των δεδομένων του Eye Tracking παρέχει στατιστικά στοιχεία και συγκεκριμένους αριθμούς, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές-συμβατικές μεθόδους ποιοτικής αξιολόγησης:

- 1) Οπτικό μονοπάτι (Scanpath).
- 2) Θερμικοί Χάρτες (Heatmaps) - Keyholes.
- 3) Περιοχές Ενδιαφέροντος.
- 4) Βίντεο.
- 5) Κόρη του οφθαλμού.
- 6) Πρωτόκολλο PEEP (Post Experience Eye Tracking Protocol).

## Κεφάλαιο 4: Τεχνικές ανάλυσης / Επεξεργασία των συλληχθέντων δεδομένων

Σκοπός του Κεφαλαίου 4 είναι η αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων επεξεργασίας εικόνας που εφαρμόζονται σε δεδομένα, τα οποία συλλέγονται με μεθόδους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

### 4.1 Επεξεργασία σακκαδικών κινήσεων με τη μέθοδο T.Moriyama

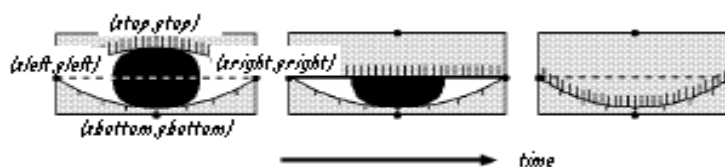
Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση του οφθαλμού σε μία αλληλουχία εικόνων video, βασίστηκε στην εφαρμογή αλγορίθμων επεξεργασίας όπως προτάθηκαν από τους T. Moriyama et al. (2002). Η διαδικασία λειτουργεί με υπολογισμό της κατανομής των επιπέδων του γκρι στην πάνω και κάτω περιοχή του οφθαλμού και συνδυασμό τους.

Με βάση αυτή τη μέθοδο, υπολογίζονται οι ακόλουθες παράμετροι που συνδέονται με την κατάσταση του οφθαλμού σε μια αλληλουχία εικόνων video:

- Αριθμός των ανοιγο-κλεισιμάτων (blinks) του οφθαλμού,
- Διάρκεια κάθε ανοιγο-κλεισίματος του οφθαλμού, και
- Διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών ανοιγο-κλεισιμάτων του οφθαλμού.

#### 4.1.1 Μέθοδος

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στον υπολογισμό της κατανομής των επιπέδων του γκρι στην άνω και κάτω περιοχή του οφθαλμού. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, ο οφθαλμός αποτελείται βασικά από την ίριδα, τον σκληρό χιτώνα, το άνω και κάτω βλέφαρο και τις βλεφαρίδες. Αν η περιοχή του οφθαλμού διαιρεθεί σε δύο τμήματα (άνω και κάτω περιοχές - διακεκομμένη γραμμή, Εικόνα 4.1), παρατηρείται μεταβολή στην κατανομή των επιπέδων του γκρι στο άνω και στο κάτω τμήμα καθώς ο οφθαλμός κλείνει και στη συνέχεια ανοίγει κατά τη διάρκεια ενός ανοιγο-κλεισίματος.

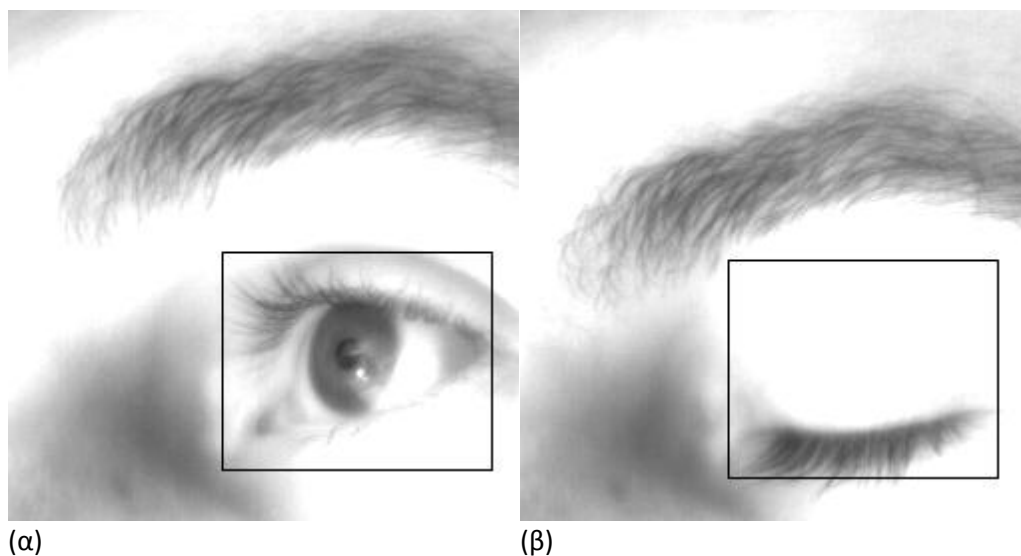




Εικόνα 4.1: Διδιάστατο Μοντέλο οφθαλμού με βάση τη μέθοδο των T. Moriyama et al.

Στην ακολουθία των εικόνων οφθαλμού του video που αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό που αναπτύχθηκε, ορίζεται χειροκίνητα ένα ορθογωνικό παράθυρο που περικλείει την περιοχή του οφθαλμού, για το οποίο έστω ότι ισχύει: όπου  $X_{left}$ ,  $X_{right}$  οι τιμές της συντεταγμένης  $x$  που ορίζουν, αντίστοιχα, την αριστερή και τη δεξιά πλευρά της περιοχής που περικλείει τον οφθαλμό και  $Y_{top}$ ,  $Y_{bottom}$  οι τιμές της συντεταγμένης  $y$  που ορίζουν, αντίστοιχα, την άνω και κάτω πλευρά της περιοχής. Υπολογίζουμε σε κάθε εικόνα οφθαλμού τη μέση φωτεινότητα για το άνω και κάτω τμήμα της περιοχής αυτής,  $I_{upper,mean}$  και  $I_{lower,mean}$ , αντίστοιχα, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις, όπου  $I(x,y)$  η φωτεινότητα της εικόνας στο εικονοστοιχείο  $(x,y)$ ,  $Y_{middle}$  η τιμή του  $y$  που καθορίζει τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο περιοχών του οφθαλμού: και  $N$  και  $M$  ο συνολικός αριθμός εικονοστοιχείων στην πάνω και κάτω περιοχή της εικόνας αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επιλογής της περιοχής του οφθαλμού και του διαχωρισμού της (διακεκομμένη γραμμή) σε άνω και κάτω τμήμα. Όπως εύκολα μπορεί να διακρίνει κανείς, η φωτεινότητα της κάτω περιοχής στην περίπτωση του ανοιχτού οφθαλμού είναι μεγαλύτερη από τη φωτεινότητα της πάνω περιοχής. Το αντίθετο ισχύει για την περίπτωση του κλειστού οφθαλμού.



Εικόνα 4.2: Παράδειγμα επιλογής της άνω και κάτω περιοχής του οφθαλμού σε πραγματικά δεδομένα για τις περιπτώσεις του ανοιχτού (α) και του κλειστού (β) οφθαλμού.

#### 4.1.2 Αποτελέσματα

Μετά τον υπολογισμό των δύο παραπάνω μέσων τιμών  $I_{upper,mean}$  και  $I_{lower,mean}$  για κάθε εικόνα οφθαλμού της ακολουθίας του video, παριστάνουμε γραφικά τις δύο αυτές τιμές συναρτήσει του χρόνου.

Από τη γραφική παράσταση που προκύπτει, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι καθώς ο οφθαλμός κλείνει, η μέση φωτεινότητα της πάνω περιοχής σταδιακά αυξάνεται, ενώ η φωτεινότητα της κάτω περιοχής αντίστοιχα μειώνεται. Τα σημεία, λοιπόν, στα οποία οι δύο γραφικές παραστάσεις τέμνονται, αντιστοιχούν στις περιπτώσεις που ο οφθαλμός κλείνει και ξανανοίγει, ενώ οι αντίστοιχες εικόνες που παρεμβάλλονται μεταξύ των σημείων αυτών είναι οι εικόνες στις οποίες παρατηρείται άνοιγμα/κλείσιμο του οφθαλμού. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να εντοπιστεί η χρονική στιγμή που πραγματοποιείται το άνοιγμα/κλείσιμο του οφθαλμού καθώς και η διάρκεια του [17].

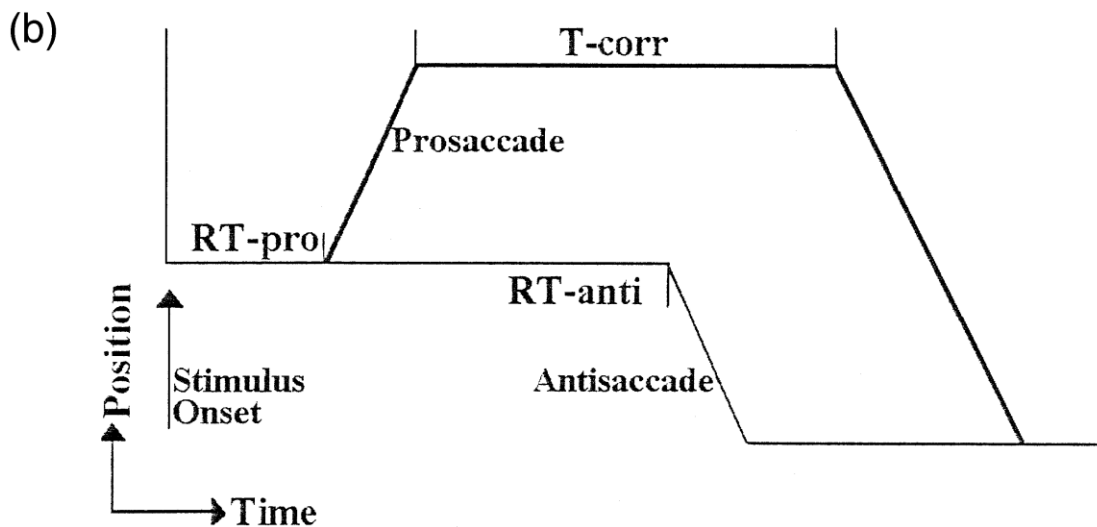
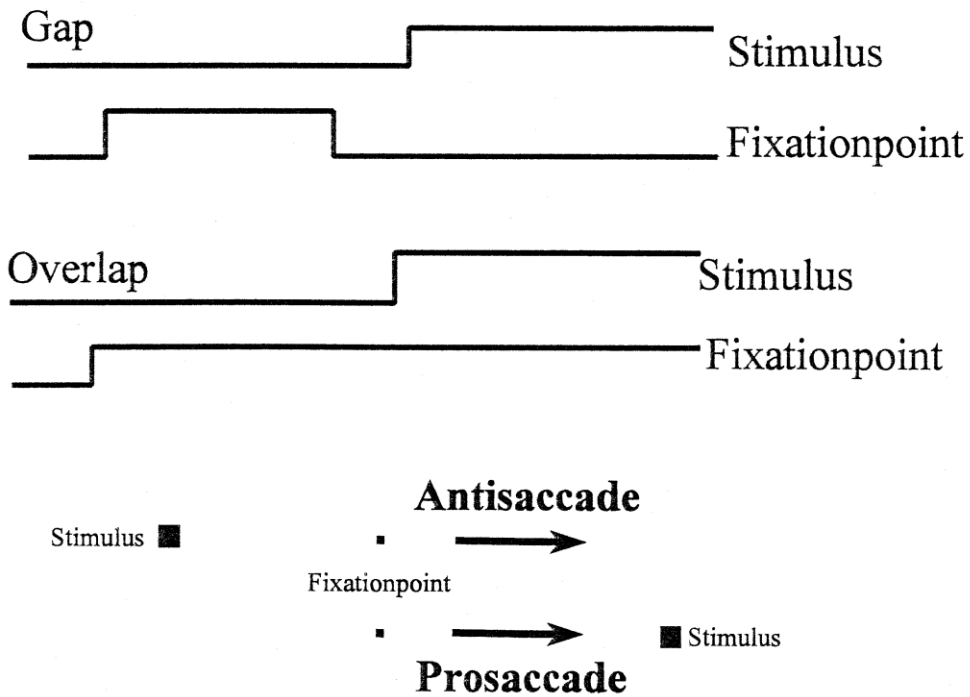
## 4.2 Η ανάλυση των σακκαδικών κινήσεων με παραδείγματα κενού και επικάλυψης

Σε αυτό το σημείο περιγράφεται η αξιολόγηση των δεδομένων των σακκαδικών κινήσεων των ματιών για χρήση στη βασική έρευνα στις νευροεπιστήμες και κλινική εφαρμογή. Τα παραδείγματα κενού και επικάλυψης περιγράφονται μαζί με τις οδηγίες για τη δημιουργία οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών ή αντισακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων. Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει τον τρόπο ανίχνευσης του μεγέθους της κίνησης, τον προσδιορισμό της αρχής, του τέλους, του μεγέθους, και της ταχύτητα της σακκαδικής, τον ακριβή τρόπο υπολογισμού της αναλογίας των διαφόρων ειδών των δοκιμών, καθώς και την αντιμετώπιση των ασταθών δοκιμών.

### 4.2.1 Λεπτομερής διαδικασία.

Οι σακκαδικές κινήσεις των ματιών μετρώνται σε δύο πειραματικές συνεδρίες, με δύο διαφορετικά καθήκοντα η καθεμία. Η χρονική και χωρική διαταξη των εργασιών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.3. Ένα σημείο στερέωσης παρουσιάζεται 1.2 sec πριν την εμφάνιση ενός ερεθίσματος. Το ερέθισμα εμφανίζεται σε εκκεντρικότητα 4 μοιρών τυχαία προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Στη διαδικασία της επικάλυψης, το σημείο στερέωσης παραμένει ορατό. Στη διαδικασία διακένου, το σημείο στερέωσης είναι απενεργοποιένο 200 msec πριν την εμφάνιση του οπτικού ερεθίσματος. Ο χρόνος μεταξύ του τέλους της εμφάνισης του σημείου στερέωσης και της εμφάνισης του οπτικού ερεθίσματος, ονομάζεται η διάρκεια του κενού. Τόσο το σημείο στερέωσης όσο και το ερέθισμα θα εξαφανιστούν στο τέλος της εγγραφής, 699 ms μετά την εμφάνιση του ερεθίσματος.

(a) *Gap and Overlap Trials for Pro- and Antisaccades*



Εικόνα 4.3: σχηματική απεικόνιση των χρονικών και χωρικών ρυθμίσεων των συνθηκών κενού και επικάλυψης για προ- και antisaccades. Β: σχηματικά ίχνη ενός antisaccade και ασταθούς prosaccade που ακολουθείται από ένα διορθωτικό saccade δείχνει τον ορισμό των αντίστοιχων T-μεταβλητών που περιγράφονται στο κείμενο.

Κατά τη διάρκεια των δύο εργασιών τα άτομα καλούνται να καθλώσουν το βλέμμα τους στο σημείο στερέωσης με ακρίβεια. Στη διαδικασία των “αντανακλαστικών” προ-σακκαδικών απαιτείται το άτομο να παρατηρήσει το ερέθισμα, όταν εμφανιστεί. Στην διαδικασία της αντί-σακκαδικής, το άτομο

απαιτείται να κοιτάξει προς την αντίθετη κατεύθυνση, όταν το ερέθισμα εμφανίζεται. Οι δύο πειραματικές συνθήκες που αναφέρονται εδώ είναι: η μελέτη της αντανάκλαστικής προ-σακκαδικής κίνησης με τη μέθοδο της επικάλυψης, και η μελέτη της αντίσακκαδικής κίνησης με τη μέθοδο του κενού. Φυσικά, οι άλλοι δύο συνδυασμοί είναι επίσης δυνατοί να πραγματοποιηθούν, και τα αντίστοιχα δεδομένα μπορούν να αντιμετωπιστούν με τον ίδιο τρόπο. Το άτομο έχει οδηγίες να ξεκινήσει τη σακκαδική κίνηση όταν βλέπει το ερέθισμα, και όχι "όσο το δυνατόν γρηγορότερα". Το διάστημα μεταξύ των δοκιμών είναι 1.0 s. Διακόσιες δοκιμές, 100 για κάθε πλευρά, συλλέγονται σε κάθε διαδικασία.

Το ερέθισμα στερεώσεως είναι  $0,18^\circ$  στο μέγεθος, και τα περιφερικά ερεθίσματα είναι  $0,28^\circ$ . Μπορούν να παράγονται από έναν προσωπικό υπολογιστή ή να προβάλλονται με συμβατικό τρόπο. Η φωτεινότητα όλων των ερεθίσματος θα πρέπει να είναι πολύ πάνω από το όριο  $11-37 \text{ cd/m}^2$  (candela/m<sup>2</sup>), σε φόντο φωτεινότητας  $3 \text{ cd/m}^2$ . Οι χρόνοι έναρξης ερεθίσματος πρέπει να προσδιορίζονται με ακρίβεια 1 ms. Χρησιμοποιώντας μια οθόνη υπολογιστή, το σημείο εκκίνησης για τη μέτρηση του χρόνου αντίδρασης, πρέπει να ορίζεται ως η στιγμή όπου η δέσμη ηλεκτρονίων αντλεί το ερέθισμα για πρώτη φορά. Έτσι, η κατακόρυφη θέση του ερεθίσματος στην οθόνη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

#### 4.2.2 Καταγραφή κίνησης των ματιών και ανάλυση.

Οι εξεταζόμενοι θα πρέπει να κάθονται άνετα σε μια καρέκλα (Η προβολή γίνεται από απόσταση 30-100 cm). Μόνο οι οριζόντιες κινήσεις ενός ματιού απαιτούνται για να τρέξει αυτό το πρωτόκολλο. Το αναλογικό σήμα θα πρέπει να αποθηκεύεται με τουλάχιστον 1 ms χρονική και  $0.28^\circ$  χωρική ανάλυση. Η βαθμονόμηση πρέπει να επιτευχθεί πριν κάθε πειραματική συνεδρία και να ελεγχθεί ξανά κατά τη διάρκεια της εκτός σύνδεσης ανάλυσης. Οι τιμές του δείγματος διαφοροποιούνται ανάλογα με την ταχύτητα των ματιών. Σακκαδικές εντός του χρόνου των 699 ms μετά το ερέθισμα έναρξης, ανιχνεύονται με κριτήριο ταχύτητας οφθαλμού  $30^\circ/\text{sec}$ . Η αρχή και το τέλος μιας σακκαδικής κίνησης ορίστηκαν ως ο χρόνος κατά τον οποίο η ταχύτητα των ματιών πέρασε τις  $20^\circ/\text{sec}$ .

#### 4.2.3 Ορισμός των μεταβλητών

Όλες οι μεταβλητές προσδιορίζονται χωριστά για τη δεξιά και την αριστερή πλευρά. Ο ορισμός ορισμένων από τις μεταβλητές απεικονίζεται στην εικόνα 4.3. Κατανομές χρόνου και πολυτροπικές αντιδράσεις μπορούν να απεικονιστούν με διακριτές κορυφές που καθορίζονται μαθηματικά. Αντιπροσωπεύουν τους διαφορετικούς σακκαδικούς πληθυσμούς που εμφανίζονται αλλού.

#### 4.2.4 Μελέτη οπτικά καθοδηγούμενης σακκαδικής με μέθοδο επικάλυψης.

Οι μεταβλητές T, περιγράφουν τις χρονικές διαστάσεις της απόδοσης και ορίζονται ως μέσες τιμές των χρόνων αντίδρασης. Υπολογίζονται με βάση το σύνολο των αντανάκλαστικών σακκαδικών με χρόνο αντίδρασης μεταξύ 80 και 699 ms. Οι μεταβλητές T είναι:

- Μέσος χρόνος αντίδρασης (SRT)
- Τυπική απόκλιση της μέσης τιμής ( SRT-SD)

Οι μεταβλητές P δίνουν το ποσοστό των σακκαδικών (επί τοις εκατό) συμβάλλοντας σε διαφορετικούς τύπους κινήσεων. Η πρώτη ομάδα των μεταβλητών P υπολογίζεται στη βάση του συνόλου των δοκιμών. Αυτές είναι οι εξής:

- σακκαδικές πρόβλεψης  $P_{-anticipatory}$  (με σφάλμα < 80 ms)
- Μη-σακκαδικές  $P_{-none}$

Οι μεταβλητές που αναφέρονται στη συνέχεια, υπολογίζονται στη βάση του συνόλου όλων των προ-σακκαδικών, στο εύρος μεταξύ 80 και 699 ms:

- Μεταβλητές Express.  $P_{-exp}$  με λανθάνουσα κατάσταση μεταξύ 80 και 134 ms
- Μεταβλητές ομαλές γρήγορες  $P_{-fast}$ : 135-179 ms
- Μεταβλητές ομαλές αργές  $P_{-slow}$ : 180 - 399 ms
- Αργές σακκαδικές  $P_{-late}$ : 400-699 ms

Τα χρονικά όρια ορίστηκαν από την ανάλυση των πολυτροπικών κατανομών SRT :

- Μεταβλητές υπερβάσεων  $P_{-over}$
- Μεταβλητές που υπολείπονται αυτών  $P_{-under}$

Οι δύο τελευταίες μεταβλητές υποδηλώνουν ότι η κύρια σακκαδική κίνηση είναι αντανάκλαστική προ-σακκαδική, και το διάστημα μεταξύ σακκαδικών είναι μικρότερο από 400 ms.

Μια μεταβλητή αυτή υπολογίζεται στη βάση όλων των σακκαδικών, μεταξύ 80 και 699 ms:

- Μεταβλητή λάθος κατεύθυνσης ( $P_{-dir}$ )

Οι μεταβλητές S περιγράφουν τη χωρική διάσταση των σακκαδικών. Έχουν υπολογιστεί στη βάση όλων των προ-σακκαδικών μεταξύ 80 και 699 ms:

- Μέση τιμή του μεγέθους της πρώτης οπτικά προκληθείσας σακκαδικής. (AMP1)

- Μέση τιμή της δεύτερης κίνηση (AMP2)
- Η μέση μέγιστη ταχύτητα (vel).

#### 4.2.5 Μελέτη αντί-σακκαδικής με μέθοδο κενού.

Στη μελέτη αντίσακκαδικών, θεωρούμε ένα κάπως διαφορετικό σύνολο μεταβλητών, επειδή σαφής πολυτροπικότητα δεν έχει ακόμη παρατηρηθεί.

Οι μεταβλητές T, περιγράφουν τις χρονικές διαστάσεις της απόδοσης.

Όλες οι λανθάνουσες μεταξύ 80 και 699 ms συμβάλλουν:

- Στη μέση τιμή των χρόνων αντίδρασης της αντίσακκαδικής ( $SRT_{anti}$ )
- Στην τυπική απόκλιση της εν λόγω μέσης τιμής ( $SRT-SD_{anti}$ )
- Στο μέσο χρόνο αντίδρασης των ακανόνιστων υπερσακκαδικών ( $SRT_{pro}$ )
- Στην τυπική απόκλιση της μέσης τιμής ( $SRT-SD_{pro}$ )
- Στη μέση τιμή όλων των χρόνων διόρθωσης ( $T_{corr}$ )
- Στην τυπική απόκλιση της μέσης τιμής ( $T-SD_{corr}$ )

Μια διορθωτική σακκαδική κίνηση μετά από μια ακανόνιστη οπτικά καθοδηγούμενη σακκαδική, ορίζεται από τα ακόλουθα κριτήρια: i.) το πλάτος της είναι μεγαλύτερο από το πλάτος της οπτικά καθοδηγούμενης σακκαδικής, ii.) πλάτος της έχει το αντίθετο πρόσημο, και iii.) χρόνος διόρθωσης της είναι κάτω από 400 msec. Ο χρόνος διόρθωσης ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ του τέλους της πρώτης σακκαδικής, και της αρχής της διορθωτικής σακκαδικής κίνησης.

Οι μεταβλητές P, περιγράφουν το ποσοστό των δοκιμών ή σακκαδικών διαφορετικών τύπων:

- Σακκαδικές πρόβλεψης, λανθάνουσα <80 ms. μεταξύ όλων των σακκαδικών.
- Μη σακκαδικές P-none. μεταξύ όλων των μη αναμενόμενων δοκιμών.
- Λάθη κατεύθυνσης P-pro. μεταξύ όλων των μη αναμενόμενων σακκαδικών.
- Διορθωτικές σακκαδικές; P-corr. μεταξύ όλων των μη αναμενόμενων σακκαδικών.

Οι μεταβλητές S, περιγράφουν τη χωρική διάσταση της μη αναμενόμενης σακκαδικής. Αυτές είναι :

- Μέση τιμή του μεγέθους της πρώτης οπτικά προκληθείσας σακκαδικής. (AMP1)
- Μέση τιμή της δεύτερης κίνησης (AMP2.) (η οποία συνήθως φέρνει το βοθρίο προς την αντίθετη πλευρά).

ˆ Η μέση μέγιστη ταχύτητα (*vel*)

Οι μεταβλητές AMP και *vel* μπορούν επίσης να προσδιοριστούν για τις σωστές αντισακκαδικές, αλλά η AMP δεν αναμένεται να είναι πολύ αξιόπιστη, διότι η σακκαδική κίνηση γίνεται σε μια θέση χωρίς στόχο. Η ταχύτητα, από την άλλη πλευρά, καθώς μειώνεται για την αντι-σακκαδική σε σύγκριση με τις αντανακλαστικές σακκαδικές μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε διαγνωστικά πλαίσια. Ωστόσο, το προφίλ της ταχύτητας συχνά δεν παρουσιάζει μοναδικό μέγιστο έτσι ώστε να χρησιμοποιείται ως ένα μέτρο της μέγιστης ταχύτητας. Ανάλογα με το πρόβλημα υπό εξέταση κάποιος μπορεί να επιλέξει ένα υποσύνολο αυτών των μεταβλητών.

Στο παράδειγμα που περιγράφεται παρακάτω εξάγαμε έξι μεταβλητές για κάθε κατεύθυνση (αριστερά, δεξιά), δύο από την μέθοδο επικάλυψης, και τέσσερα από την μέθοδο διακένου. Η εμπειρικές τιμές χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η «πραγματική» τιμή. Δεδομένου ότι ορισμένα είδη των δοκιμών μπορούν να υπάρχουν μόνο σε ένα μικρό τμήμα, θα πρέπει να συλλέγονται τουλάχιστον 100 τιμές για κάθε κατεύθυνση. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία κατά την εξέταση των ποσοστών ορισμένων τύπων σακκαδικών, π.χ., το ποσοστό των διορθωμένων σφαλμάτων ανάμεσα το ποσοστό του συνόλου των σφαλμάτων.

#### 4.2.6 Η ανάλυση των δεδομένων

Οι μεταβλητές που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση μιας διερευνητικής ανάλυσης δεδομένων με τη χρήση εμπορικού λογισμικού π.χ. (SPSS ή SAS) για τη μελέτη διαφορών στις μέσες τιμές μεταξύ των ομάδων ελέγχου και δοκιμών, για ανάλυση της διακύμανσης με ANOVA ή για μελέτη των κύριων επιδράσεων στα πρωτογενή δεδομένα με ανάλυση παράγοντα. Νεφελογράμματα αποκαλύπτουν συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών.

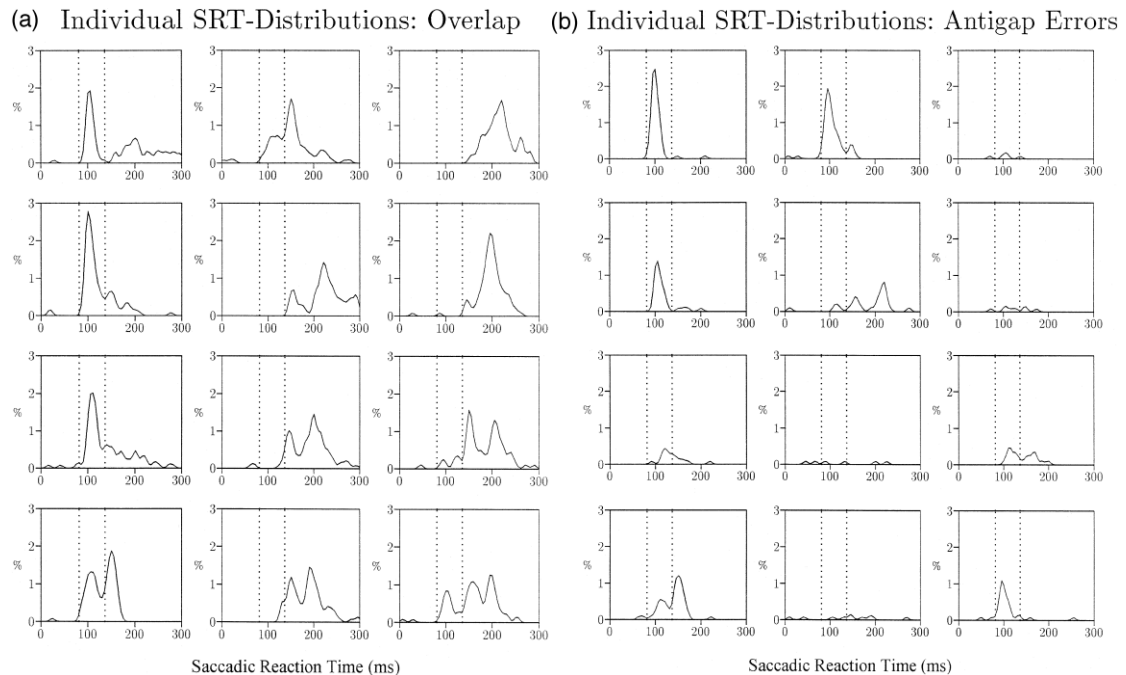
Διανομές: συχνές αποκλίσεις μιας ορισμένης μεταβλητής από μία δεδομένη τιμή που γίνονται εμφανείς μόνο κοιτάζοντας τις κατανομές. Ιστογράμματα χρησιμοποιούνται συχνά. Έχουν το μειονέκτημα ότι εκτιμούν την «πραγματική» διανομή ανεπαρκώς στα μακρινά άκρα όλων των μεταβλητών και ότι εξαρτώνται από την δύο αυθαίρετες παραμέτρους: Πλάτος και προέλευση μεταβλητής.

Εναλλακτικά, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο του πυρήνα (*kernel*). Σε αυτή τη μέθοδο κάθε μια από τις *N* τιμές συνεισφέρουν στην ενιαία λειτουργία του πυρήνα η οποία είναι επικεντρωμένη στην τιμή της διανομής, η οποία είναι το άθροισμα όλων των λειτουργιών του πυρήνα *N*, κανονικοποιημένες σε μία τιμή.

Στην περίπτωση των *T*-μεταβλητών επιλέγουμε ένα γκαουσιανού πυρήνα με ένα εύρος ζώνης 1,5 ms, το οποίο είναι περίπου η ακρίβεια με την οποία η λανθάνουσα κατάσταση μιας σακκαδικής μπορεί να προσδιοριστεί.

Η Εικόνα 4.4.α δείχνει κατανομές που παρουσιάζονται με τη μέθοδο kernel από 12 διαφορετικά άτομα που εκτελούν την μέθοδο επικάλυψης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η Εικόνα 4.4.β δείχνει τις κατανομές των σφαλμάτων που παράγονται από τα ίδια άτομα κατά τη διάρκεια το μεθόδου διακένου. Οι κάθετες γραμμές δείχνουν τα όρια για τις αναμενόμενες και express σακκαδικές.



Εικόνα 4.4: διανομές χρόνου αντίδρασης που λαμβάνονται από 12 διαφορετικά άτομα κατά τη διαδικασία της μελέτης οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών με τη μέθοδο επικάλυψης.

Οι καμπύλες έχουν κατασκευαστεί με τη μέθοδο kernel. Κάθε καμπύλη περιέχει 100 παρατηρήσεις. Οι κάθετες γραμμές δείχνουν τα όρια για express και γρήγορες ομαλές σακκαδικές. Β: διανομές του χρόνου αντίδρασης των ασταθών υπερσακκαδικών (των ίδιων 12 ατόμων), που έχουν εξαχθεί κατά τη μελέτη των αντισακκαδικών με τη μέθοδο του διακένου.

#### 4.2.7 Αποτελέσματα

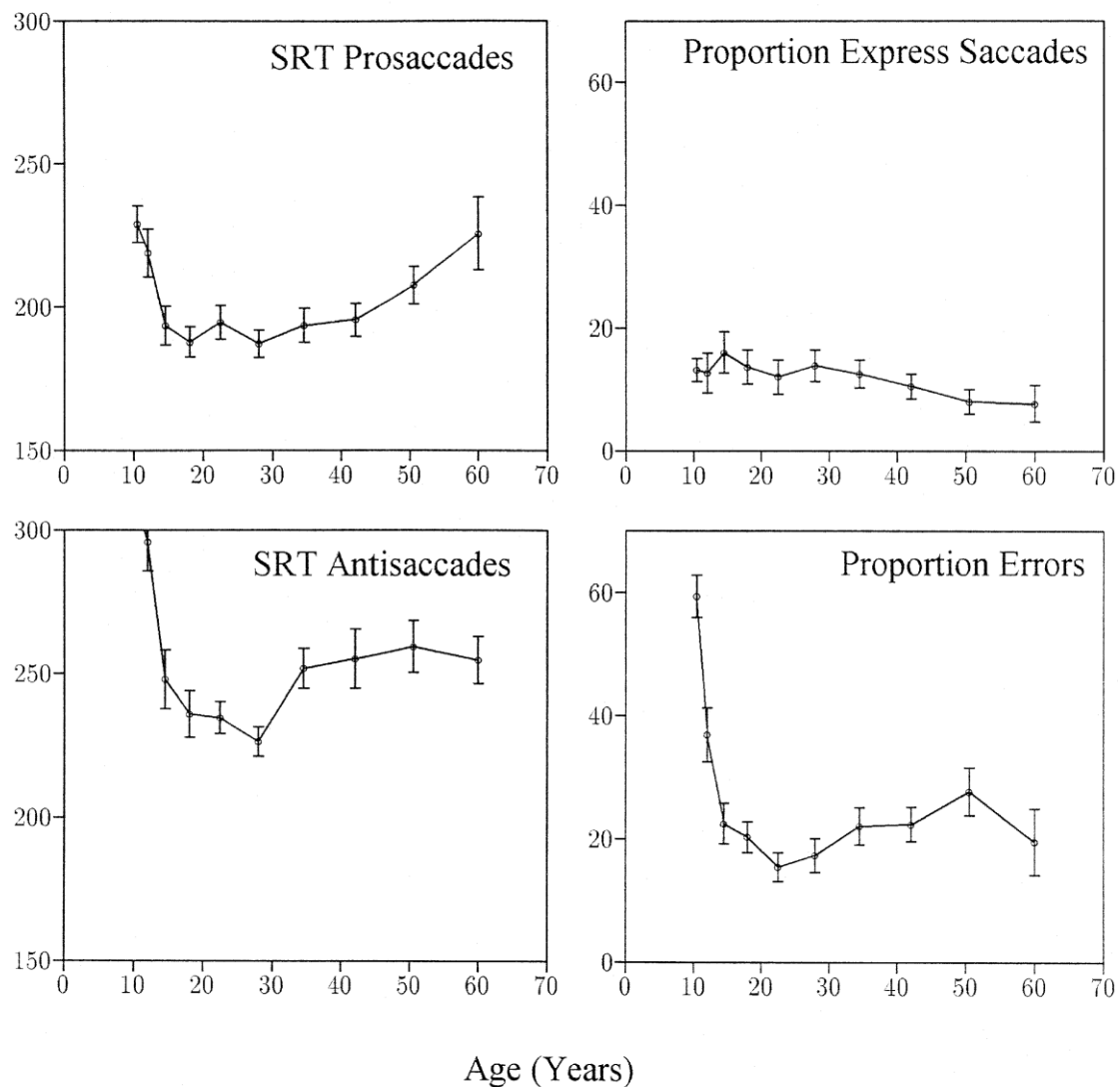
Οι αντιδράσεις διαφόρων ατόμων μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά όσον αφορά τις σακκαδικές κινήσεις τους, ακόμη και αν η πειραματική διαδικασία είναι πλήρως κατανοητή. Το παρόν πρωτόκολλο δημιουργήθηκε για τη διερεύνηση και ανάπτυξη του σακκαδικού συστήματος. Μια παραγοντική ανάλυση αποκάλυψε ότι η επιλεγμένες έξι μεταβλητές (στη μέθοδο επικάλυψης (P - exp και SRT), στη μέθοδο διακένου (P - pro, SRT - Pro, SRT -anti και T-corr)), προσδιορίστηκαν κυρίως από δύο μόνο παράγοντες.



Κατα τη μέθοδο μελέτης των αντισακκαδικών, παρουσιάστηκε ισχυρή και ταχεία ανάπτυξη των μεταβλητών η οποία προήλθε ανάλογα με την ηλικία, ενώ κατά τη διάρκεια της μελέτης των οπτικά καθοδηγούμενων, οι μεταβλητές μεταβάλλονται αρκετά πιο ήπια ανάλογα με την ηλικία.

Η Εικόνα 4.5 δείχνει στο ανώτερο τμήμα του το μέσο όρο των μέσων χρόνων αντίδρασης των οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικων, και το ποσοστό των express σακκαδικών που λαμβάνονται κατά τη μέθοδο της επικάλυψης ως συνάρτηση της ηλικίας των υποκειμένων. Οι δύο κάτω γραφικές παραστάσεις δείχνουν το μέσο όρο της μέσης αντιδράσεως των σωστών αντισακκαδικών, και τα ποσοστά σφάλματος που λαμβάνονται από τη μέθοδο του διακένου.

### Effects of Age (N = 290)



Εικόνα 4.5: Τέσσερις μεταβλητές ως συνάρτηση της ηλικίας. Τα άνω δύο γραφήματα δείχνουν το μέσος χρόνος αντίδρασης και τον αριθμό τοις εκατό των σακκαδικών express που υπολογίζεται κατα την εργασία επικάλυψης. Οι δύο κάτω γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν το χρόνο αντίδρασης των σωστών αντισακκαδικών και τον αριθμό επί τοις εκατό των σφαλμάτων στην εργασία διακένου.

Συγκεκριμένα υποκείμενα έχουν βρεθεί που παράγουν σχεδόν αποκλειστικά σακκαδικές προς το ερέθισμα. Ακόμη και με την παρουσία ενός ερεθίσματος στερέωσης (κατάσταση επικάλυψης) παράγουν αντανεκλαστικές σακκαδικές που συμβαίνουν σε άλλα υποκείμενα μόνο στην κατάσταση κενού. Στην κατάσταση κενού παρουσιάζουν σχεδόν αποκλειστικά διαταραχή παράγοντας περισσότερο από το 50% των σφαλμάτων .

Η μέθοδος διακένου εφαρμόστηκε επίσης σε ασθενείς με διαφορετικά είδη ψυχιατρικών ή νευρολογικών διαταραχών, όπως σχιζοφρένεια, νόσο του Parkinson, μετωπικής βλάβες λοβού, ή διαταραχής ελλειμματικής προσοχής [18].

### 4.3 Ανάλυση με χρήση ηλεκτροοφθαλμογραφήματος. Electrooculographic method (EOG)

Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζεται η μέθοδος του ηλεκτο-οφθαλμογραφήματος. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το συστημά CSGAAS5 (Cardiff Saccade Generating And Analysis System 5). Για τη μελέτη που αναφέρεται στη συνέχεια έλαβαν μέρος εκατόν είκοσι δύο φυσιολογικά άτομα (64 άνδρες, 58 γυναίκες), ηλικίας μεταξύ 16 και 72 χρόνων (μέσος όρος 36,7 χρόνια), οι οποίοι έδωσαν συγκατάθεση για μια ενιαία καταγραφή των σακκαδικών κινήσεων των ματιών τους. Οι περισσότεροι ήταν νοσοκομειακό ή ιατρικό προσωπικό ενός σχολείου ή συγγενείς τους, υγιείς, και απαλλαγμένοι από χρήση ουσιών.

#### 4.3.1 Μέθοδος

Ηλεκτρόδια κοντά στο βολβό του ματιού ανιχνεύουν την κίνηση του, καταγράφοντας τις αλλαγές στο ηλεκτρικό πεδίο που οφείλονται σε ενδεχομενη αλλαγή με του δυναμικού του αμφιβληστροειδούς. Αυτές οι αλλαγές είναι σχετικά μεγάλες σε σύγκριση με άλλα ηλεκτροφυσιολογικά σήματα που καταγράφονται από την ίδια περιοχή: κινήσεις των ματιών της τάξης των 40°, παράγουν πιθανώς διαφορές δυναμικού περίπου 1 mV οι οποίες καταγράφονται σε επιφανειακά ηλεκτρόδια (βλέπε παρακάτω) και έτσι είναι εύκολες να εντοπιστούν. Αλλαγή στο EOG δυναμικό είναι πιθανό να μεταβάλει τη μετατόπιση του βολβού του ματιού μέχρι περίπου 20 ° εκατέρωθεν της μέσης γραμμής.

Καταγραφές έγιναν χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια αργύρου/χλωριούχου αργύρου μιας χρήσης EOG (ηλεκτο-οφθαλμογραφήματος), με μία μικρή ποσότητα του ηλεκτρώματος ηλεκτροδίων. Αυτά τοποθετήθηκαν 1 εκατοστό πλευρικά προς το εξωτερικό κανθό του κάθε ματιού και στο μεσόφρυο, αφού στο δέρμα τοποθετήθηκε ειδική κρέμα. Οι σύνθετες αντιστάσεις των ηλεκτροδίων μετρήθηκαν και βρέθηκαν μικρότερες των 5 kΩ. Τα ηλεκτόδια συνδέονται στη συνέχεια με DC ενισχυτή με κέρδος 1000, και αφήνονται σε κατάσταση ηρεμίας έτσι ώστε τα

δυναμικά των ηλεκτροδίων να εξισωθούν. Η έξοδος του ενισχυτή δειγματίστηκε 256 φορές/sec μέσω ενός μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό, με ανάλυση 4096 μονάδες, και η προκύπτουσες ψηφιακές πληροφορίες αποστέλλονται σε ένα συμβατό με IBM προσωπικό υπολογιστή για ανάλυση.

Το υποκείμενο (το άτομο που συμμετέχει στην καταγραφή) έχει μια οθόνη σε απόσταση 67 εκατοστά απο το μεσόφρυο, έτσι ώστε κίνηση απο τη μία ακρη της οθονης μέχρι την άλλη να αντιστοιχεί σε κίνηση 40°. Αρχικά, εμφανίζεται ένα φωτεινό σημείο στη μέση της οθόνης, και ζητείται απο το υποκείμενο να εστιάσει σε αυτό. Στη συνέχεια εμφανίζονται διαδοχικά φωτεινά σημεία (LED), και ζητείται απο το υποκείμενο να εστιάζει κάθε φορά σε κάθε διαδοχικό σημείο, χωρίς όμως να προσπαθεί να προβλέψει το σημείο της επόμενης εμφάνισης. Τα φωτεινά σήματα εμφανίζονται αρχικά στα ακριανά σημεία της οθόνης, και διαδοχικά προς το κέντρο, περνώντας απο γωνίες που αντιστοιχούν σε 35°, 25°, 20° και 15°. Παρατηρήθηκε οτι μπορεί να συλληχθεί μια ακολουθία 24 σακκαδικών κινήσεων σε χρονο περίπου 36 sec. Συλλέγονται απο το σύστημα 2 τέτοιες ακολουθίες (με μικρό διάλλειμμα μεταξύ τους), έτσι ώστε να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα για περεταίρω ανάλυση. Σε αυτό το πρώτο γκρουπ δεδομένων παρουσιάζονται συχνά “ξαφνικές” σακκαδικές κινήσεις, και έτσι συνήθως απορρίπτονται. Η ίδια διαδικασία λαμβάνει χώρα και πάλι έπειτα απο χρόνο 5 λεπτών, και τα νέα δεδομένα συνήθως είναι πιο έγκυρα και χρησιμοποιούνται για περεταίρω ανάλυση. Η όλη διαδικασία διαρκεί περίπου 15 λεπτα.

Απο τις 48 μετρήσεις που απομένουν προς μελέτη, το σύστημα απορρίπτει αυτές κατα τις οποίες το μάτι του εξεταζόμενου κινούνταν κατά τη διάρκεια της αλλαγής θέσης του LED, ή κατά τις οποίες υπήρξε επιρροή οποιουδήποτε εξωγενή παράγοντα.

#### 4.3.2 Ανάλυση δεδομένων

Οι υπόλοιπες έγκυρες μετρήσεις αναλύθηκαν περαιτέρω. Για κάθε κίνηση του φωτός LED, το πρόγραμμα μετράει τη μέγιστη σακκαδική ταχύτητα, μέσω της διαφοροποίησης της καμπύλης μετατόπισης του EOG, τη μέγιστη επιτάχυνση και τη μέγιστη επιβράδυνση από περεταίρω διαφοροποίηση, και τη λανθάνουσα κατάσταση από την κίνηση του στόχου μέχρι την αρχή της σακκαδικής. Η αναλογία μεταξύ του χρόνου που δαπανάται στην φάση της επιτάχυνσης της σακκαδικής, και στη φάση της επιβράδυνσης υπολογίστηκαν επίσης. Η ακρίβεια των σακκαδικών προσδιορίστηκε με την υπόθεση ότι η θέση του ματιού στο τέλος της περιόδου των 1,5 δευτ ήταν στο στόχο, σε σύγκριση με την μετατόπιση του στο τέλος της πρώτης σακκαδικής. Δευτερεύουσες ή διορθωτικές σακκαδικές δεν μελετώνται σε αυτή τη μεθοδολογία.

Η σχέση μεταξύ της γωνίας μετατόπισης του βολβού του ματιού με μετρήσεις όπως η ταχύτητα κορυφής είναι σημαντική, επειδή αυτή η σχέση παραμένει ανέπαφη ακόμη και όταν επιχειρείται εκούσιος έλεγχος των σακκαδικών, και συνήθως αναφέρεται ως η μέση αλληλουχία. Κάθε μία από τις μετρήσεις που αναφέρονται ανωτέρω απεικονίζονται, κατά συνέπεια, συναρτήσσει της γωνίας μετατόπισης και μίας καμπύλης που προσαρμόζεται στις τιμές. Στη μελέτη που

αναφέρεται παρακάτω, τα κανονιστικά δεδομένα παρουσιάζονται για σακκαδικές των 15 °, 25 ° και 35 °. Αφού έχει δειχθεί ότι η κύρια καμπύλη αλληλουχίας έχει ασύμπτωτη περίπου στις 35 °C (Baloh et al. 1975, Ball et al. 1991, Glue et al. 1991, Mercer et al. 1991), οι τιμές που παρεμβάλλονται στις 35 ° χρησιμοποιήθηκαν για να εξεταστούν παράγοντες όπως η ώρα της ημέρας, οι διαφορές μεταξύ των φύλων και για αξιοπιστία ελέγχου-επανελέγχου.

Μέσα και τυπικά σφάλματα υπολογίστηκαν για όλες τις σακκαδικές παραμέτρους στις 15 °, 25 ° και 35 ° για όλα 122 υποκείμενα. Αποτελέσματα για άνδρες και γυναίκες για τις 35 ° συγκρίθηκαν χρησιμοποιώντας το Student t τεστ.

Για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της ηλικίας και των σακκαδικών παραμέτρων, οι τιμές στις 35 ° συσχετίστηκαν με την ηλικία χρησιμοποιώντας τη σχέση R του Pearson. Μετρήσεις μέγιστης ταχύτητας χρησιμοποιήθηκαν επίσης για να εξετάσει περαιτέρω αυτό το ενδεχόμενο, εάν δηλαδή η σχέση ηλικίας/μέγιστης ταχύτητας εξαρτάται σε σακκαδική γωνία. Ως εκ τούτου, υπολογίστηκαν μέγιστες τιμές ταχύτητας για σακκαδικές στις γωνίες 15 °-40 ° C με διαστήματα 5 °, και συσχετίστηκαν με την ηλικία. Γραμμές παλινδρόμησης υπολογίστηκαν για κάθε γωνία δεδομένων ηλικίας /μέγιστης ταχύτητας. Για να ερευνηθεί η επίδραση του χρονικού σημείου της ημέρας (που λαμβάνονται οι μετρήσεις), οι σακκαδικές τιμές ομαδοποιήθηκαν σε σχέση το χρόνο που λήφθηκαν, και αναλύθηκαν με μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Οι επιπτώσεις του χρονικού σημείου της ημέρας, αξιολογήθηκαν επίσης, συγκρίνοντας τις τιμές που λήφθηκαν το μεσημέρι, νωρίς το απόγευμα και αργά το απόγευμα, με χρήση post-hoc t ανάλυσης. Η αξιοπιστία επαναδοκιμασίας μελετήθηκε με τη σύγκριση των μετρήσεων σε 4 διαφορετικές περιπτώσεις από 11 άτομα, χρησιμοποιώντας μονόδρομη ANOVA. Το στατιστικό πακέτο SAS χρησιμοποιήθηκε για όλες τις αναλύσεις.

#### 4.3.3 Αποτελέσματα

Η μέση και τυπική απόκλιση για τις σακκαδικές παραμέτρους των 122 ατόμων στις 15 °, 25° και 35°, φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

TABLE I

Mean ( $\pm$  S.D.) saccade values for single sets of recordings of 15°, 25° and 35° saccades for all subjects (n = 122), for males (35° saccades; n = 64), and for females (35° saccades; n = 58).

	Peak velocity (°/sec)	Peak accel. (°/sec <sup>2</sup> )	Peak decel. (°/sec <sup>2</sup> )	A/D ratio	Saccade accuracy (°)	Saccade latency (msec)
All subjects (15°) (n = 122)	332 $\pm$ 20	51 $\pm$ 6	-48 $\pm$ 7	0.92 $\pm$ 0.1	-0.6 $\pm$ 1.7	136 $\pm$ 46
All subjects (25°) (n = 122)	445 $\pm$ 41	59 $\pm$ 8	-51 $\pm$ 9	0.85 $\pm$ 0.1	-0.8 $\pm$ 0.8	153 $\pm$ 41
All subjects (35°) (n = 122)	507 $\pm$ 55	63 $\pm$ 9	-48 $\pm$ 9	0.74 $\pm$ 0.1	-0.8 $\pm$ 1.0	160 $\pm$ 38
Males (35°) (n = 64)	510 $\pm$ 59	64 $\pm$ 9	-49 $\pm$ 9	0.74 $\pm$ 0.1	-0.9 $\pm$ 0.8	161 $\pm$ 38
Females (35°) (n = 58)	504 $\pm$ 49	62 $\pm$ 8	-48 $\pm$ 10	0.75 $\pm$ 0.1	-0.7 $\pm$ 1.1	158 $\pm$ 37

Πίνακας 4.1: Μέση και τυπική απόκλιση για τις σακκαδικές παραμέτρους των εξεταζόμενων

Ενώ οι τιμές μέγιστης ταχύτητας και επιτάχυνσης αυξήθηκαν σε μεγαλύτερες σακκαδικές γωνίες, οι τιμές μέγιστης επιβράδυνσης δεν άλλαξαν. Αυτό φαίνεται επίσης στην αναλογία τιμής επιτάχυνσης/επιβράδυνσης που τείνει να γίνει μικρότερη σε μεγαλύτερες σακκαδικές γωνίες. Η σακκαδική ακρίβεια και η λανθάνουσα κατάσταση ήταν σταθερή σε όλες τις 3 σακκαδικές γωνίες. Δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ανδρών και γυναικών σε καμία από τις σακκαδικές παραμέτρους που μελετήθηκαν για γωνία 35°.

Τα δεδομένα αξιοπιστίας επαναδοκιμασίας για σακκαδικές 35°, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, και αυτά δείχνουν ότι όλες οι μετρήσεις ήταν αξιόπιστες και για τις 4 δοκιμές.

TABLE II

Test-retest reliability of 35° saccade parameters over 4 occasions in 11 subjects.

	Peak velocity (°/sec)	Peak accel. (°/sec <sup>2</sup> )	Peak decel. (°/sec <sup>2</sup> )	A/D ratio	Saccade accuracy (°)	Saccade latency (msec)
<i>F</i>	0.23	0.32	0.33	0.28	0.36	0.34
<i>P</i>	0.99	0.96	0.96	0.97	0.94	0.95

Πίνακας 4.2: Δεδομένα αξιοπιστίας επαναδοκιμασίας

Συσχετίζοντας την ηλικία με τις σακκαδικές τιμές για 35° εμφανίζεται σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας και της μέγιστης ταχύτητας ( $r = -0,21$ ,  $P = 0,02$ ) (βλέπε Εικ. 4.6), της μέγιστης επιτάχυνσης ( $r = -0,21$ ,  $P = 0,02$ ) και της μέγιστης επιβράδυνσης ( $r = -0,22$ ,  $P = 0,01$ ), και μία θετική συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας και της λανθάνουσας κατάστασης ( $r = 0,23$ ,  $P = 0,01$ ).

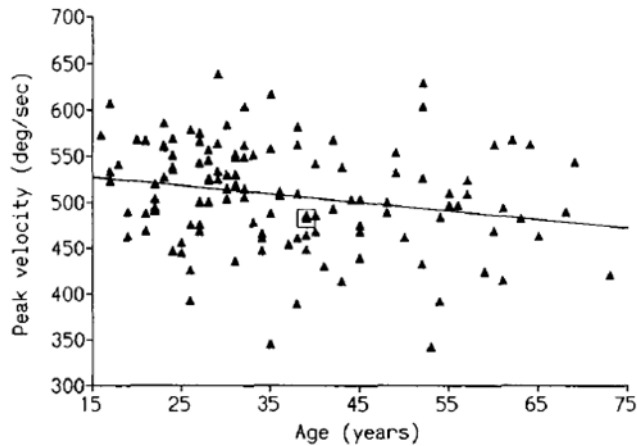


Fig. 1. Correlation between age and peak saccade velocity for 35° saccades (n = 122;  $r = -0.21$ ,  $P = 0.02$ ). The highlighted data points are from the monozygotic twins.

**Εικόνα 4.6: Συσχέτιση μεταξύ ηλικίας και μέγιστης σακκαδικής ταχύτητας για τις 35°**

Συσχέτιση της μέγιστης ταχύτητας σε σχέση με γωνίες από 15° έως 40° έδειξε προοδευτικά μεγαλύτερη αρνητική συσχέτιση και μικρότερες σημαντικές τιμές σε μεγαλύτερες σακκαδικές γωνίες, και τείνει να ισοπεδωθεί στις 35° (πίνακας 4.3).

**TABLE III**

The relationship between age and peak velocity values for saccade angles between 15° and 40° (n = 122).

Saccade angle (°)	$r$	$P$	Regression slope
15	-0.07	0.47	-0.10
20	-0.15	0.10	-0.34
25	-0.18	0.05	-0.54
30	-0.20	0.03	-0.71
35	-0.21	0.02	-0.84
40	-0.21	0.02	-0.94

**Πίνακας 4.3: Η σχέση μεταξύ ηλικίας και μέγιστης σακκαδικής ταχύτητας για γωνίες από 15° έως 40°**

Η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης των δεδομένων ηλικία/μέγιστη ταχύτητα δεδομένων συνεχίζει να αυξάνεται σε μεγαλύτερες σακκαδικές γωνίες, και έτσι δεν δείχνει τάση να είναι ασύμπτωτη (Πίνακας 4.3). Οι επιπτώσεις του χρονικού σημείου της ημέρας αναλύθηκαν με ANOVA, και παρουσιάστηκαν μόνο μικρές επιδράσεις (μέγιστη ταχύτητα:  $F = 0.32$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,96$ ) μέγιστη επιτάχυνση: ( $F = 0.31$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,97$ ) μέγιστη επιβράδυνση: ( $F = 0.33$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,96$ ) αναλογία επιτάχυνσης/επιβράδυνσης: ( $F = 0.28$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,98$ ) ακρίβεια: ( $F = 0.36$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,95$ ) λανθάνουσα κατάσταση: ( $F = 0,34$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,95$ ). Οπότε, ο χρόνος καταγραφής δεν έχει μεγάλη σημασία.

Ωστόσο, εάν εξετάσουμε τις μέσες τιμές στα διαφορετικά διαστήματα της ημέρας, παρατηρείται μια μικρή αλλά σημαντική μείωση στις περισσότερες σακκαδικές παραμέτρους (ειδικά στην περίοδο αργά το απόγευμα): (μέγιστη ταχύτητα  $t = 2,07$ ,  $P = 0,05$ ) μέγιστη επιτάχυνση, επιβράδυνση ( $t = 2,75$ ,  $P = 0,01$ ) αναλογία επιτάχυνσης/επιβράδυνσης ( $t = 2,31$ ,  $P = 0,03$  ns ακρίβειας), με μια αύξηση της λανθάνουσας σακκαδικής κατά τη διάρκεια της ημέρας (πρωί σε σχέση με αργά το απόγευμα): ( $U = 50$ ,  $0,02$ ,  $0,02 < P < 0,05$ , βλέπε Εικ. 4.7). Τα δεδομένα για τα χρονικά σημεία της ημέρας που έγιναν οι μετρήσεις είναι διαθέσιμα για μόνο 83 υποκείμενα [19].

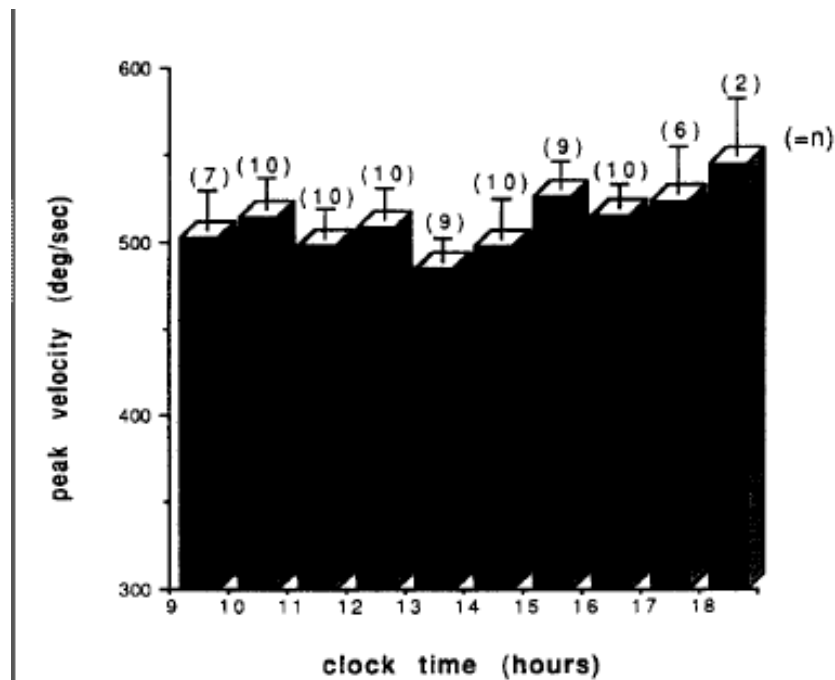


Fig. 2. Effect of time of day on peak velocity measures (n as indicated; all values = mean  $\pm$  S.D.).

Εικόνα 4.7: Επιρροή του παράγοντα του χρονικού σημείου της ημέρας

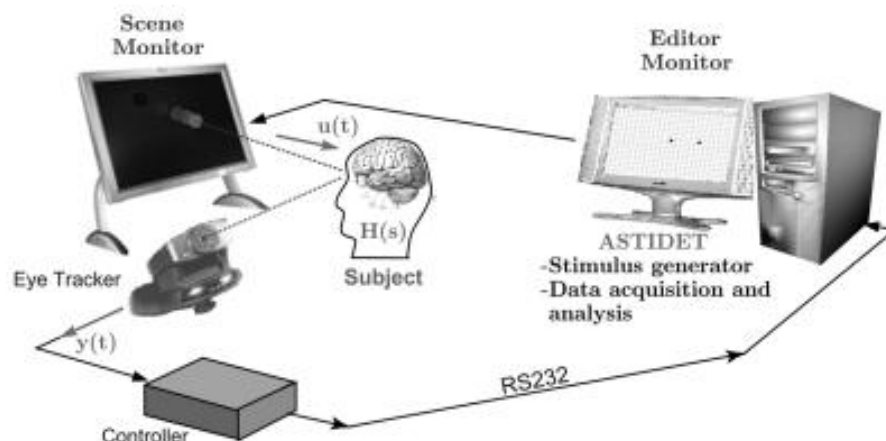
## 4.4 Video Based Eye Tracking. (Λογισμικό ASTIDET)

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ένα ανεξάρτητο, ευέλικτο και εύκολα προγραμματιζόμενο πρόγραμμα λογισμικού για τη μελέτη μεγάλου εύρους παραδειγμάτων οφθαλμικών κινήσεων, και σακκαδικών κατ'επέκταση. Το λογισμικό, που ονομάζεται ASTIDET (Advanced Stimuli Design for Eye Tracking), διασυνδέεται σε πραγματικό χρόνο με υψηλής ταχύτητας videobased σύστημα εντοπισμού, προκειμένου να αποκτηθεί μια αξιόπιστη μέτρηση και ανάλυση των σακκαδικών.

Δύο σακκαδικά παραδείγματα έχουν δοκιμαστεί (μέθοδος κενού και μνήμης) σε 10 φυσιολογικά άτομα. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το ASTIDET είναι ένα φιλικό προς το χρήστη λογισμικό, και μπορεί να διασυνδεθεί με μια video-based συσκευή, ώστε να αποκτήσει αξιόπιστη μέτρηση των σακκαδικών.

### 4.4.1 Περιγραφή Του Προγράμματος

Το ASTIDET επιτρέπει τη γρήγορη σχεδίαση δισδιάστατων αλληλουχιών βίντεο που χρησιμοποιούνται ως ερεθίσματα για ένα ευρύ φάσμα παραδειγμάτων οφθαλμικής παρακολούθησης. Το ASTIDET αναπτύχθηκε σε Visual C ++, προκειμένου να επωφεληθεί από την ευελιξία της, και επίσης να επιτρέψει την πιθανή μελλοντική ενσωμάτωση με προηγμένες βιβλιοθήκες γραφικών (όπως VTK ή Open GL) ή εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.



**FIGURE 1.** Eye-tracking functional scheme. ASTIDET acts as a stimulus generator for evoking eye movements and performs real-time acquisition of eye movements and blink removal.

### Εικόνα 4.8: Δομή του λογισμικού ASTIDET

Το ASTIDET τρέχει σε μια οθόνη υπολογιστή (οθόνη Editor), επιτρέποντας το διαδραστικό σχεδιασμό ενός οπτικού ερεθίσματος, το οποίο στη συνέχεια παρουσιάζεται σε μια δεύτερη οθόνη (οθόνη Monitor) μπροστά από την οποία κάθεται το υποκείμενο προς εξέταση. Στο πρόγραμμα αυτό, επιτρέπεται η



δημιουργία μιας στατικής εκδοχής της σακκαδικής κίνησης, (ευθείες γραμμές), και τη δημιουργία οπτικών στόχων (που προκαλούν το οπτικό ερέθισμα). Επιπρόσθετα όμως, επιτρέπεται η εισαγωγή οπτικών εφαρμογών, (π.χ. αρχεία MPEG, MPG, AVI) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς. Όπως φαίνεται στο λειτουργικό σύστημα (Εικόνα 4.8), το ASTIDET συνεργάζεται με ένα σύστημα παρακολούθησης οφθαλμικών κινήσεων, στο οποίο μια απομακρυσμένη υπέρυθρη pan-tilt κάμερα (μοντέλο ASL 504 πολλαπλών ταχυτήτων), με ταχύτητα έως και 240 Hz, παρακολουθεί το μάτι. Η υπέρυθρη κάμερα λειτουργεί με λήψη εικόνων βίντεο της κόρης και της αντανάκλασης του κερατοειδούς του ματιού του υποκειμένου. Αυτές οι εικόνες (καρέ βίντεο), υποβάλλονται σε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο από τη μονάδα ελέγχου που παρέχεται με το σύστημα παρακολούθησης. Τα κεκτημένα δεδομένα αρχικά φιλτράρονται για εύρεση τυχόν ανεπιθήμητων ανοιγοκλεισιμάτων με το πρόγραμμα ASTIDET, και στη συνέχεια φιλτράρονται και πάλι (γκουσιανό φίλτρισμα) για άλλες συνιστώσες θορύβου που μπορεί να υπάρχουν στο σήμα, χρησιμοποιώντας ILAB για Matlab 2, το οποίο περιλαμβάνει σήμερα λειτουργίες για την ανίχνευση και την ανάλυση των σακκαδικών.

#### 4.4.2 Μέθοδος

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων, είναι παρόμοια με αυτή που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το σημείο όμως, παρουάζονται μετρήσεις και συμπεράσματα που προέκυψαν από μελέτη 10 υποκειμένων (υγείων ατόμων), στο πανεπιστήμιο της Σιένα. Στο πειραματικό στάδιο, τα υποκείμενα βρίσκονται σε σκοτεινό δωμάτιο σε απόσταση 72 cm από την οθόνη. Η οπτική γωνία τέθηκε στις  $25^{\circ}$ . Το κεφάλι σταθεροποιήθηκε με ειδικό μηχανισμό ακινητοποίησης. Η χωρική ανάλυση του συστήματος καταγραφής είναι  $0,1^{\circ}$ , ενώ συχνότητα δειγματοληψίας 240 hz.

Κάθε υποκείμενο εξετάστηκε σε 2 διαδικασίες: μέθοδος διακένου, και διαδικασία σακκαδικών καθοδηγούμενων από μνήμης. Στην εφαρμογή του διακένου αξιολογήθηκε η μέγιστη ταχύτητα, η διάρκεια, η λανθάνουσα κατάσταση, και το κέρδος της κάθε σακκαδικής, ενώ στη μέθοδο των σακκαδικών καθοδηγούμενων από μνήμης, αξιολογήθηκε το πλάτος, η λανθάνουσα κατάσταση, τα σφάλματα, και το κέρδος της κάθε κίνησης.

### 4.4.3 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα αναφέρονται στον Πίνακα 4.4 για τις παραμέτρους της εργασίας του διακένου. Οι σακκαδικές κινήσεις ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας ως ταχύτητα κατωφλίου

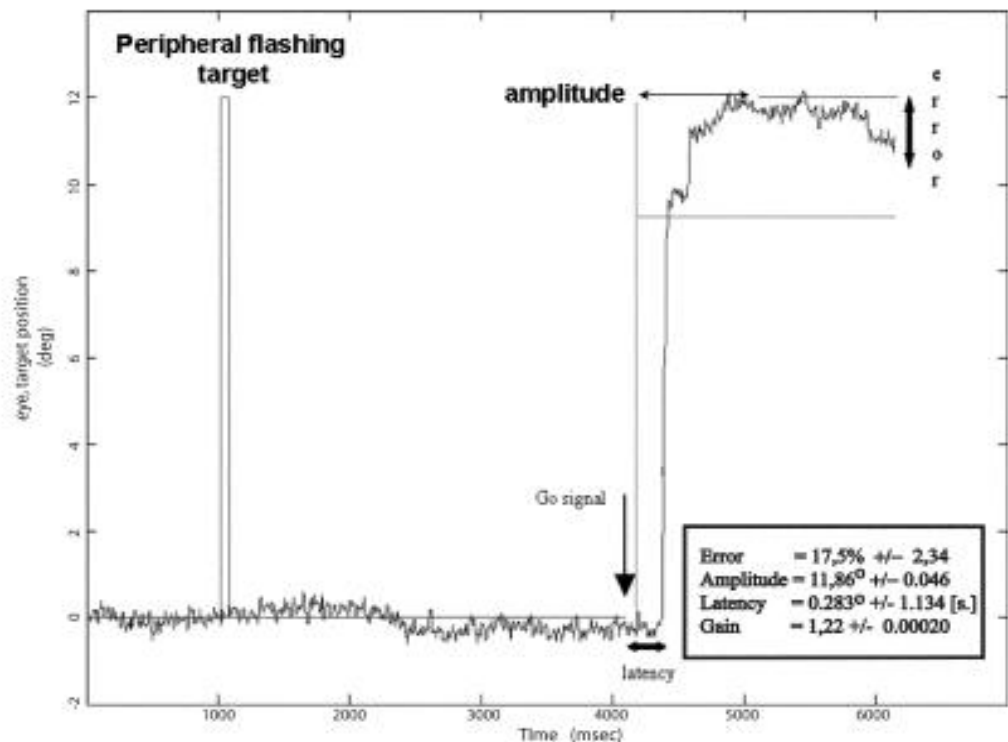
**TABLE 1. Saccade analysis (mean values  $\pm$  SD) for different amplitudes in terms of duration, latency, peak velocity, and gain**

Amplitude (deg)	<i>n</i>	Duration (ms)	Peak velocity (deg/s)	Latency (ms)	Gain
4	9	21.405 $\pm$ 3.611	84.22 $\pm$ 11.818	232.6 $\pm$ 1.505	1.107 $\pm$ 0.002
6	9	22.043 $\pm$ 3.354	104.37 $\pm$ 17.668	199.5 $\pm$ 1.980	1.207 $\pm$ 0.002
8	10	30.872 $\pm$ 4.352	127.22 $\pm$ 18.604	186.0 $\pm$ 2.107	1.207 $\pm$ 0.002
10	10	44.474 $\pm$ 2.861	195.92 $\pm$ 11.645	188.5 $\pm$ 0.011	1.200 $\pm$ 0.002
12	15	54.225 $\pm$ 6.853	270.92 $\pm$ 19.898	187.0 $\pm$ 3.360	1.107 $\pm$ 0.002

τις 30 deg/s.

*Πίνακας 4.4: Διάφορες παράμετροι που προκύπτουν με την μέθοδο του διακένου (ASTIDET)*

Σε αυτό το πείραμα δεν λήφθηκαν υπ' όψιν οι σακκαδικές express. Η Εικόνα 4.9 δείχνει την αντίδραση ενός υποκειμένου κατά τη διαδικασία της από μνήμης σακκαδικής μετά από μια δοκιμή.



**FIGURE 3.** Memory-guided task and results. While the subject looks at a central red dot, a second visual target is briefly (50 ms) presented laterally. After a period during which the fixation is maintained, the central dot is turned off (go signal), and the subject's eyes move to where the cue had been presented.

#### Εικόνα 4.9: Δοκιμασία σακκαδικών καθοδηγούμενων απο μνήμης και αποτελέσματα

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται, επιβεβαιώνουν ότι το λειτουργικό σύστημα ASTIDET μπορεί να διασυνδεθεί με μια συσκευή βίντεο - παρακολούθησης, προκειμένου να αποκτήσει αξιόπιστη μέτρηση σακκαδικων κινήσεων. Το σύστημα είναι πολύ εύκολο στη χρήση και η βαθμονόμησή του είναι αρκετά ακριβής. Αυτή την εποχή μελετώνται ακόμα οι παράμετροι σχετικά με την εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο ψηφιακού φιλτραρίσματος των δεδομένων στο περιβάλλον ASTIDET. Επιχειρείται επίσης η διασύνδεσή του με διακρανιακό μαγνητικό διεγερτή (TMS) και λειτουργική μαγνητική τομογραφία (MRI) [20].

### 4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ γνωστών τεχνικών/Συμπεράσματα

Παρακάτω, παρουσιάζεται μία σύγκριση αποτελεσμάτων, μετά από ανάλυση σακκαδικών δεδομένων με χρήση γνωστών μεθοδολογιών που έχουν αναφερθεί. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται στοιχεία για η μέγιστη σακκαδική ταχύτητα όπως προκύπτει μετά από την ανάλυση σακκαδικών δεδομένων με

- A) ηλεκτο-οφθαλμογράφημα
- B) βιντεο-οφθαλμογράφημα και
- Γ) τεχνική που βασίζεται σε φακούς επαφής (μικροσκοπικό επαγωγικό πηνίο).

#### 4.5.1 Εισαγωγικά

Η μέγιστη ταχύτητα των σακκαδικών κινήσεων των ματιών είναι μια κρίσιμη παράμετρος στην κλινική νευρολογία και την έρευνα νευρικού συστήματος. Ωστόσο, αυτή μπορεί να διαφέρει ανάλογα τεχνικές εγγραφής και ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων. Το ηλεκτο-οφθαλμογράφημα είναι μια εύκολη μέθοδος στο χειρισμό, αλλά το σήμα του συχνά μπορεί να εμπεριέχει θόρυβο, και πολλές φορές μπορεί να υπερεκτιμάται η μέγιστη ταχύτητα των σακκαδικών (Yee et al. 1985).

Το βιντεο-οφθαλμογράφημα και το επαγωγικό πηνίο αναζήτησης (SSC-Schlear search coil system) παρουσιάζουν υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση, αλλά επίσης έχουν κάποιες τεχνικές ατέλειες. Το βιντεο-οφθαλμογράφημα δεν λειτουργεί, όταν τα μάτια είναι κλειστά, ενώ η μέθοδος επαγωγικού πηνίου αναζήτησης είναι μια επεμβατική και σχετικά ακριβή μέθοδος, και μπορεί να παρουσιάσει μειωμένη μέγιστη ταχύτητα σε σύγκριση με το βιντεο-οφθαλμογράφημα (Frens και van der Geest 2002). Για αυτούς τους λόγους πραγματοποιήθηκε έρευνα κατά την οποία καταγράφηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα μεταξύ των τριών αυτών μεθόδων. [17]

#### 4.5.2 Έρευνα

Συγκρίθηκαν οι τεχνικές αυτές σε δύο συνεδρίες, μετά απο καταγραφή κατά σειρά με: ηλεκτροοφθαλμογράφημα, με επαγωγικό πηνίο αναζήτησης και βιντεοοφθαλμογράφημα (EyeLink II). 10 άτομα συμμετείχαν σε αυτή τη μελέτη (μέση ηλικία 24,5 χρόνια, εύρος ηλικίας 19-42). Οι σακκαδικές κινήσεις των ματιών καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια τεσσάρων προϋποθέσεων: i) αντανακλαστικές σακκαδικές, ii) καθοδηγούμενες απο μνήμης σακκαδικές απέναντι από στατικά σημεία μιας ακολουθίας, iii) προβλέποντας αυτή την ακολουθία με ανοιχτά μάτια και iv) με κλειστά ματια. Αυτές οι συνθήκες επιλέχθηκαν καθώς είναι γνωστό ότι η μέγιστη ταχύτητα μειώνεται κατά αυτή τη σειρά (Sprenger et al. 2009), γεγονός που υποδηλώνει ότι μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές.

Η καταγραφή με ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα παρουσίασε συστηματικά υψηλότερες ταχύτητες αιχμής από τις δύο άλλες τεχνικές: με τα μάτια ανοιχτά κατά περίπου 10 %, με κλειστά τα μάτια κατά 27 %. Οι σακκαδικές ταχύτητες αιχμής που λήφθηκαν με το βιντεο-οφθαλμογράφημα ήταν υψηλότερες κατά περίπου 12,8 % (καθοδηγούμενες από μνήμης, φανταστικοί στόχοι: 20 %) από ό, τι εκείνοι με καταγραφή επαγωγικού πηνίου αναζήτησης (peak = 0,001 ). Γενικώς, οι κινήσεις των

ματιών προς ένα ορατό στόχο ήταν πιο γρήγορες από ό, τι εκείνες σε φανταστικό στόχο είτε με ανοικτά ή με κλειστά μάτια, ανεξάρτητα από την τεχνική καταγραφής.

#### 4.5.3 Συμπεράσματα

Σε αντίθεση με αυτά που γνωρίζουμε ως τώρα, κατά τη χρήση ηλεκτροοφθαλμογραφήματος υψηλότερες ταχύτητες αιχμής βρέθηκαν μόνο με για τις καθοδηγούμενες από μνήμης σακκαδικές, αλλά όχι στις αντανακλαστικές. Έτσι, το ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα είναι μια έγκυρη μέθοδος μελέτης σακκαδικών, όχι μόνο με τα μάτια ανοικτά, αλλά επίσης και όταν είναι κλειστά. Επιπλέον, μετά από σύγκριση των μεθόδων, βρέθηκε ότι τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με μια σχετική μελέτη (Frens και van der Geest 2002), η οποία έδειξε πιο αργές μέγιστες ταχύτητες των αντανακλαστικών σακκαδικών (5 %) με τη χρήση SSC σε σύγκριση με μετρήσεις VOG [22].

Κατ' επέκταση αυτού του ευρήματος, παρουσιάζεται μια γενική μείωση της μέγιστης ταχύτητας για την μέθοδο επαγωγικού πηνίου αναζήτησης (SSC), ακόμα και στην περίπτωση μη ορατών ερεθισμάτων ή κλειστών ματιών. Εν κατακλείδι, τόσο η μέθοδος SSC επαγωγικού πηνίου, όσο και το βιντεο-οφθαλμογράφημα είναι εξαιρετικά ακριβείς μέθοδοι καταγραφής, αλλά έχουν τα αποδεκτά τους όρια (διάρκεια, ανοιγοκλείσιμο του ματιού). Το ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα τείνει να υπερεκτιμά τις μέγιστες τιμές ταχύτητας, αλλά μόνο στις από μνήμης καθοδηγούμενες σακκαδικές. Επιπλέον, το ηλεκτρο-οφθαλμογράφημα παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις σακκαδικής ταχύτητας ακόμη και στην περίπτωση κλειστών οφθαλμών. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν τα δεδομένα σακκαδικής ταχύτητας των διαφόρων μελετών συγκρίνονται [21].

## Κεφαλαίο 5: Επίλογος

Τα τελευταία τριάντα χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τις οφθαλμικές κινήσεις κατά τη διάρκεια στερέωσης, και πιο συγκεκριμένα για τις επιπτώσεις τους στην όραση. Το ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις των οφθαλμικών κινήσεων καθήλωσης έχει επικεντρωθεί γύρω από το ρόλο του αμφιβληστροειδούς κατά την κίνηση εικόνας.

Εξακολουθεί να υπάρχει σύμφωνη γνώμη, (πηγαίνοντας πίσω στις αρχικές μελέτες της όρασης με σταθεροποιημένες εικόνες) ότι η κίνηση του αμφιβληστροειδούς κατά τη διάρκεια παρατήρησης μιας κινούμενης εικόνας είναι κρίσιμης σημασίας για την όραση: μεγάλη κίνηση ενός στόχου μπορεί να υποβαθμίσει την ανάλυση, και πολύ μικρή κίνηση μπορεί να οδηγήσει σε εξασθένηση της εικόνας που παρατηρείται.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, όταν το κεφάλι είναι ελεύθερο να κινηθεί, η εικόνα του αμφιβληστροειδούς επηρεάζεται και από τις κινήσεις της κεφαλής, και ως εκ τούτου το κύριο καθήκον των αντισταθμιστικών κινήσεων των ματιών είναι να εμποδίζουν την κίνηση του αμφιβληστροειδούς από το να γίνει πάρα πολύ γρήγορα, έτσι ώστε να επιτρέπει σωστή οπτική.

Τα τελευταία χρόνια έχει επίσης εκφραστεί νέο ενδιαφέρον και για τις μικροσακκαδικές κινήσεις κατά τη διάρκεια της προσήλωσης, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου τους σε καθήκοντα αντίληψης. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι οι μικροσακκαδικές μπορεί να είναι χρήσιμες σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται μετατοπίσεις των ματιών μεταξύ διπλανά τοποθετημένων σημείων προσήλωσης, με τρόπο ανάλογο των σακκαδικών, που χρησιμοποιούνται σε ευρύτερες οπτικές συστοιχίες.

Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για τις επιπτώσεις των οφθαλμικών κινήσεων στους οπτικούς νευρώνες, αρχίζουν να αποκαλύπτουν συσχετισμούς μεταξύ σακκαδικών (καθώς και ομαλών οφθαλμικών κινήσεων), και νευρολογικών οπτικών αντιδράσεων.

Από τις προαναφερθείσες έρευνες, προσπαθούν στις μέρες μας να απάντηθούν δύο βασικά ερωτήματα που παραμένουν αναπάντητα: Έχουν οι σακκαδικές (ή οι παραλλαγές τους) κάποια ιδιαίτερη σημασία για την όραση η οποία δεν μπορεί να εντοπιστεί με τις ομαλές οφθαλμικές κινήσεις; και το δεύτερο: Πώς οι ομαλές κινήσεις υψηλής ταχύτητας (αυτές δηλαδή που παρουσιάζονται σε παρατηρητές ελεύθερους να κινηθούν) επηρεάζουν την οπτική λειτουργία σε διαφορετικές περιπτώσεις; [23]

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο να παρουσιάσει εκτενώς τις σακκαδικές κινήσεις. Είναι προφανής η ανάγκη για περεταίρω μελέτη και ανάπτυξη νέων μεθόδων καταγραφής και ανάλυσής τους, μιας και η γνώση για τις οφθαλμικές κινήσεις είναι σχετικά περιορισμένη, σε σχέση με οποιεσδήποτε άλλες κινήσεις του σώματος. Έτσι, νέες, σύγχρονες τεχνικές αναπτύσσονται μέχρι σήμερα, προκαλώντας μεγάλες προσδοκίες για καινούρια ευρήματα στην έρευνα του νευρικού οφθαλμικού συστήματος, και στον τομέα της ιατρικής γενικότερα.

# Βιβλιογραφία

- 1) <http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=913>
- 2) [http://panorasi.blogspot.gr/2008/10/blog-post\\_17.html](http://panorasi.blogspot.gr/2008/10/blog-post_17.html)
- 3) <http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=286>
- 4) <http://www.athenseyehospital.gr/gr/ofthalmikoi-myes-kai-ofthalmikes-kiniseis-p176.html>
- 5) Σ.Πλαΐνης, Ι.Βρεπτός, Ι.Παλληκάρης, «Δομή και λειτουργία του οφθαλμο-κινητικού συστήματος παρατήρησης», Ινστιτούτο Οπτικής και Όρασης(ΙΒΟ), Μάρτιος 2007
- 6) Ηλιάνα Καλαποθαράκου, «Ταξινομήση οφθαλμικών κινήσεων με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2013.
- 7) <http://en.wikipedia.org/wiki/Saccade>
- 8) <http://en.wikipedia.org/wiki/Microsaccade>
- 9) Susana Martinez-Conde, Stephen L.Macknik, Xoana G.Trncoso, David H.Hubel, "Microsaccades: a neurophysiological analysis", 2009.
- 10) Γ.Αποστολόπουλος, Κ.Σωτηρίου, Σ.Σοφού, Ι.Παπαναστασίου, Β.Μήρτσου-Φιδάνη, «Οι Σακκαδικές Οφθαλμικές Κινήσεις στη Σχιζοφρένεια», Νευρολογική Κλινική 417 ΝΙΜΤΣ,Εργαστήριο Φαρμακολογίας Ιατρικής Σχολής ΑΠΘ
- 11) [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CF%83%CE%BF%CF%82\\_%CF%84%CE%BF%CF%85\\_%CE%A7%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BD](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CF%83%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A7%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BD)
- 12) Mayumi Kitagawa, Junko Fukushima, Kario Tashiro, "Relationship between antisaccades and the clinical symptoms in Parkinson's disease", December 1994.
- 13) Καθηγητής Γεώργιος Θ. Παυλίδης Καθηγητής Μαθησιακών ΔυσκολιώνΑντιπρόεδρος της Διεθνούς Ακαδημίας Ερευνών Προβλημάτων Μάθησης“ΔΥΣΛΕΞΙΑ - ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ: Αίτια - Διάγνωση - Αντιμετώπιση” στο Βιβλίο των Βάμβουκα, Μ.Ι. & Πεδιαδίτη, Α.Δ. (2000) ‘Δύσκολες Μορφές Συμπεριφοράς στη Σχολική Τάξη’ Ρέθυμνο, σελ. 53-81
- 14) <http://ahci.wikispaces.com/Eye-tracking>
- 15) [http://users.ntua.gr/bnakos/Eye\\_Tracking.html](http://users.ntua.gr/bnakos/Eye_Tracking.html)
- 16) <http://ahci.wikispaces.com/Eye-tracking>
- 17) ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Υπολογισμός Παραμέτρων ΚίνησηςΟφθαλμού μέσω Κάμερας με ΧρήσηΤεχνικών Επεξεργασίας Εικόνας (ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μαρκάκη Βασιλική,Ιούλιος 2005)
- 18) The analysis of saccadic eye movements from gap and overlap paradigms B. Fischer ), S. Gezeck, K. Hartnegg Brain Research Unit, Institute of Biophysics, University of Freiburg, Hansastr. 9, 79104 Freiburg, Germany
- 19) Saccadic eye movement parameters in normal subjects Susan J. Wilson, Paul Glue, David Ball and David J. Nutt Reckitt and Colman Psychopharmacology Unit, School of Medical Sciences, University Walk, Bristol BS8 1 TD (UK) (Accepted for publication: 4 June 1992)
- 20) Video-Based Eye Tracking Our Experience with Advanced Stimuli Design for Eye Tracking SoftwareA. RUFA,a G.L. MARIOTTINI,b D. PRATTICCHIZZO,b D.

ALESSANDRINI, b A. VICINO, b AND A. FEDERICO<sup>aa</sup> Department of Neurological and Behavioral Sciences, Medical School, University of Siena, 53100 Siena, Italy<sup>b</sup> Department of Information Engineering, Robotics and Systems Lab, University of Siena, 53100 Siena, Italy

- 21) Comparison of saccadic peak velocities between electro-oculography, video-oculography and scleral search coil M Lappe-Osthege 1, A Sprenger 1, C Helmchen 1  
1Universität zu Lübeck, Klinik für Neurologie, Lübeck, Deutschland
- 22) Recording eye movements with video-oculography and scleral search coils: a direct comparison of two methods J.N. van der Geest \*, M.A. Frens Department of Physiology, Erasmus University Rotterdam, P.O. Box 1738, 3000 DR, Rotterdam, The Netherlands Received 24 September 2001; received in revised form 3 December 2001; accepted 7 December 2001
- 23) Eye movements: The past 25 years. Eileen Kowler  
Department of Psychology, 152 Frelinghuysen Road, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, United States