

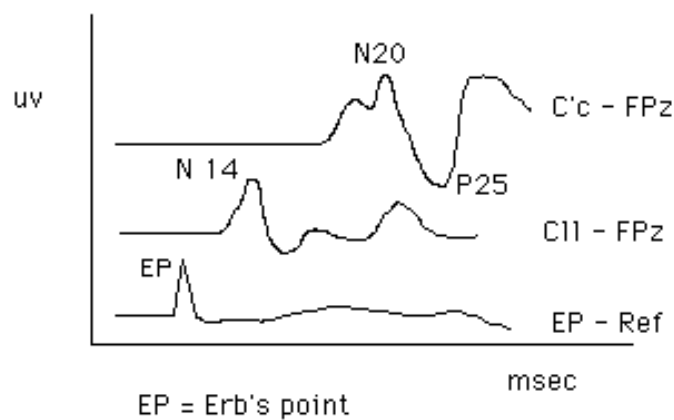


**Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ Σ.Ε.Υ.Π**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### « ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ »

#### SOMATOSENSORY EVOKED POTENTIAL RECORDS



#### **ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:**

Μπαχού Γεωργία σπουδάστρια  
Παπουτσή Δέσποινα σπουδάστρια

#### **ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:**

Δρ. Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος Επίκουρος Καθηγητής

**ΑΙΓΙΟ 2008**

***Αφιερώνεται στους γονείς μας***

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Κωνσταντίνο Κουτσογιάννη για την ευκαιρία που μας έδωσε μέσα από αυτήν την εργασία να ασχοληθούμε ενεργά και σε βάθος με την διαγνωστική αυτή μέθοδο των Προκλητών Δυναμικών. Μας βοήθησε να διαλέξουμε το συγκεκριμένο θέμα και μας καθοδήγησε έτσι ώστε να ολοκληρώσουμε με επιτυχία αυτήν την ερευνητική εργασία. Σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, μας βοήθησε σε επιστημονικά και τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίσαμε.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες πρέπει να αποδοθούν και στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αιγίου που μας προσέφερε τον τεχνολογικό εξοπλισμό έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί το κομμάτι της εφαρμογής αυτής της εργασίας.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε την εθελοντική ομάδα των κοριτσιών, φοιτήτριες του τμήματος Φυσικοθεραπείας για την ευγενική τους προσφορά στην καταγραφή των μετρήσεων στον εργαστηριακό τομέα της ερευνητικής μας εργασίας.

Ελπίζουμε αυτή η εργασία να δώσει το ερέθισμα σε φυσικοθεραπευτές και φοιτητές να εμβαθύνουν στη μελέτη των Σωματοαισθητικών Προκλητών Δυναμικών και να αντιληφθούν την χρησιμότητά τους στο χώρο της Φυσικοθεραπείας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	Σελ. 3
Περίληψη.....	Σελ. 7
Συνομογραφίες.....	Σελ. 8
Κατάλογος Εικόνων.....	Σελ. 9
Κατάλογος Σχημάτων.....	Σελ. 9
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	Σελ.10
Πίνακες.....	Σελ.10
Πρόλογος.....	Σελ. 11

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

1.1 Γενικά.....	Σελ. 13
1.2 Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα.....	Σελ. 14
1.3 Το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα.....	Σελ. 15
1.4 Αντιδράσεις σε βλάβη.....	Σελ. 16

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ

2.1 Ορισμός.....	Σελ. 17
2.2 Η χρησιμότητα των προκλητών δυναμικών.....	Σελ. 17
2.3 Κατηγορίες προκλητών δυναμικών.....	Σελ. 19
2.4 α.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	Σελ. 21
α.2 Τα χαρακτηριστικά των προκλητών δυναμικών.....	Σελ. 21
β. Το σήμα.....	Σελ. 21
2.5 α Διάδοση σήματος κατά μήκος μιας οδού.....	Σελ. 22
1. Αγωγή νευρικού παλμού – Γενικά.....	Σελ. 22
2. Ιδιότητες των αμμύελων νευραξόνων.....	Σελ. 23
3. Ιδιότητες εμμύελων ινών.....	Σελ. 24

4. Φαινόμενα κατωφλιού – Δυναμικά δράσης (action potentials)...	Σελ. 25
5. Νευρική αγωγή κατά μήκος ομοιόμορφων αξόνων.....	Σελ. 26
6. Αγωγή σε εμμύελες νευρικές ίνες.....	Σελ. 27
7. Αγωγή παλμού ηλεκτρικού δυναμικού κατά μήκους ενός αγώγιμου όγκου (νεύρου).....	Σελ.28
2.5 β Καταγραφή δυναμικών στην επιφάνεια του σώματος	
β.1 Περιφερικά νεύρα.....	Σελ. 31
β.2 Κρανιακά νεύρα.....	Σελ. 32
2.5 γ Σχέση νευρικού υποστρώματος με απόκριση.....	Σελ. 32

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

#### **ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ**

3.1 Ορισμός και χρησιμότητα.....	Σελ. 35
3.2 Περιγραφή της διαδικασίας.....	Σελ. 37
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	Σελ. 40

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

#### **ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΗ**

<b>ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ.....</b>	<b>Σελ. 42</b>
----------------------------	----------------

## **ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

#### **5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ**

α. Ιδιότητες θορύβου και κατάσταση του εξεταζόμενου.....	Σελ. 53
β. Ηλικία.....	Σελ. 54
γ. Φύλο.....	Σελ. 55
δ. Θερμοκρασία.....	Σελ. 55
ε. Μορφομετρικές διαφορές.....	Σελ. 55
στ. Νευρολογικές ανωμαλίες.....	Σελ. 56

#### **5.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΚΑΙ

ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	Σελ. 56
A. Πρωτόκολλο καταγραφής	
Σωματοαισθητικών Προκλητών Δυναμικών.....	Σελ. 56
B. Στατιστική επεξεργασία.....	Σελ. 59
<b>5.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ</b>	
<b>ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ</b>	
Γενικά.....	Σελ. 60
A. Εντοπισμός βλαβών στη νευρική οδό με τα	
Σωματοαισθητικά Προκλητά Δυναμικά.....	Σελ. 61
B. Δυνατότητες βελτίωσης της ειδικότητας.....	Σελ. 61
<b>5.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ</b>	
<b>ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ</b>	
5.4.1 Μέγεθος κεφαλιού (φυσιολογικός πληθυσμός).....	Σελ. 63
α. Πλάτος δυναμικού.....	Σελ. 63
β. Λανθάνων χρόνος.....	Σελ. 66
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	Σελ. 71
<b>Βιβλιογραφία</b>	
A. ΒΙΒΛΙΑ.....	Σελ. 73
<b>Αρθρογραφία</b>	
B. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ.....	Σελ. 74

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ΣΠΔ είναι μια διαγνωστική μέθοδος η οποία μας επιτρέπει να εντοπίζουμε βλάβες του ΚΝΣ και του ΠΝΣ. Η εφαρμογή τους είναι εύκολη και δεν προκαλεί πόνο ή δερματικούς ερεθισμούς στους ασθενείς. Η συμβολή τους στη φυσικοθεραπεία είναι αρκετά σημαντική, αφού ουσιαστικά είναι η αντικειμενική εκτίμηση της πορείας των ασθενών. Μέσα από την καταγραφή των ΣΠΔ μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη της πορείας μιας πάθησης ή της υγείας των ασθενών. Βέβαια, μια τέτοια καταγραφή, εκτελείται σε ειδικά διαγνωστικά κέντρα και από προσωπικό που είναι ειδικά εκπαιδευμένο – φυσίατροι και νευρολόγοι. Στις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν διαπιστώνουμε επίσης ότι τα ΣΠΔ είναι ιδιαίτερα χρήσιμα κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικών επεμβάσεων του νωτιαίου μυελού ή και ορθοπεδικών επεμβάσεων, ώστε να αναγνωριστούν έγκαιρα και να αποφευχθούν μόνιμες βλάβες κατά την διάρκεια της επέμβασης. Σε σχέση με την επιστήμη και την κλινική εφαρμογή της Φυσικοθεραπείας από την ανάλυση της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι μπορεί να συμπεριληφθεί η καταγραφή των ΣΠΔ στις διαγνωστικές εξετάσεις της εκτίμησης της βλάβης, αλλά και της παρακολούθησης της αποκατάστασης στις εξετάσεις ρουτίνας πρώτης γραμμής.

## Συντομογραφίες

- § ΑΠΔ : Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά
- § ΒΔ : Βιωματικά Δυναμικά
- § ΕΔ : Εκπεμπόμενα Δυναμικά
- § ΗΕΓ : Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
- § ΗΚΓ : Ηλεκτροκαρδιογράφημα
- § Θ10 – Θ11 : δέκατος και ενδέκατος Θωρακικός σπόνδυλος
- § ΚΝΣ : Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
- § ΚΠΔ : Κινητικά Προκλητά Δυναμικά
- § ΜΤ : Μαγνητική Τομογραφία
- § ΝΣ : Νευρικό Σύστημα
- § ΟΠΔ : Οπτικά Προκλητά Δυναμικά
- § Ο5 : πέμπτος Οσφυϊκός σπόνδυλος
- § ΠΔ : Προκλητά Δυναμικά
- § ΠΝΣ : Περιφερικό Νευρικό Σύστημα
- § ΣΚΠ : Σκλήρυνση Κατά Πλάκας
- § ΣΠΔ : Σωματοαισθητικά Προκλητά Δυναμικά
- § ΣΣ : Σπονδυλική Στήλη
- § Υ.Ε.ΣΠΔ : υψηλής επαναληπτικότητας ΣΠΔ
- § DBS : Deep Brain Stimulation
- § EDSS : Expanded Disability Status Scale



## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1: Το νευρικό κύτταρο.....	Σελ. 14
Εικόνα 2: Κυματομορφές σε φυσιολογική και παθολογική καταγραφή...	Σελ. 21
Εικόνα 3: Φυγόκεντρη- κινητική διέγερση και καταγραφή ΠΔ ΑΑ.....	Σελ. 36
Εικόνα 4: Κεντρομόλος καταγραφή ΠΔ.....	Σελ. 37
Εικόνα 5: Διαδικασία καταγραφής των ΣΠΔ.....	Σελ. 53
Εικόνα 6: Κλινικό σύστημα καταγραφής και ανάλυσης των ΣΠΔ.....	Σελ. 57
Εικόνα 7: Συσχέτιση καταγραφών ΣΠΔ και επεξεργασία παραμέτρων..	Σελ. 59
Εικόνα 8: Τοποθέτηση ηλεκτροδίου στο κνημιαίο νεύρο για τη σωστή διέγερσή του .....	Σελ. 61
Εικόνα 9: Συσκευή που ρυθμίζει την ένταση του ερεθίσματος.....	Σελ. 62
Εικόνα 10: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο κέντρο του κρανίου και στο μετωπιαίο λοβό για την καταγραφή των ερεθισμάτων των ΣΠΔ.....	Σελ. 63
Εικόνα 11: Τοποθέτηση ηλεκτροδίου για γείωση και καλύτερη Καταγραφή των ερεθισμάτων.....	Σελ. 63

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1: Ηλεκτρονική παρομοίωση νευρικού άξονα.....	Σελ. 24
Σχήμα 2: Δημιουργία και αγωγή του ηλεκτρικού παλμού.....	Σελ. 26
Σχήμα 3: Αγωγή νευρικού παλμού.....	Σελ. 27
Σχήμα 4: Δυναμικό σε εξωτερικό σημείο κυττάρου.....	Σελ. 29
Σχήμα 5: α) Διφασικό, β) Τριφασικό δυναμικού αγωγής.....	Σελ.30
Σχήμα 6: Το Δίπολο.....	Σελ.31
Σχήμα 7: Πεδία από πηγές α) μεγάλης, β) μικρής.....	Σελ.33
Σχήμα 8: ΣΠΔ άνω άκρων με καταγραφή των αποκρίσεων στο σημείο Erb (EP) και στον εγκέφαλο (N14, N20).....	Σελ.38
Σχήμα 9: ΣΠΔ κάτω άκρων με καταγραφή των αποκρίσεων στον εγκέφαλο.....	Σελ.40
Σχήμα 10: Πηγές παραγωγής ΣΠΔ.....	Σελ.40

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.....	Σελ. 64
Διάγραμμα 2.....	Σελ. 65
Διάγραμμα 3.....	Σελ. 65
Διάγραμμα 4.....	Σελ. 66
Διάγραμμα 5.....	Σελ. 68

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Λανθάνοντες χρόνοι και πλάτη δυναμικού για τα κύματα N1, N2 σε σχέση με το ύψος του εξεταζόμενου.....	Σελ. 64
Πίνακας 2: Κανονικοποιημένοι λανθάνοντες χρόνοι κυμάτων σε σχέση με το ύψος του εξεταζόμενου.....	Σελ. 67
§ Μέσες τιμές παραμέτρων πριν την κανονικοποίηση των τιμών.....	Σελ. 68
§ Μέσες τιμές παραμέτρων μετά την κανονικοποίηση των τιμών.....	Σελ. 68

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία είκοσι έτη παρουσιάζεται αυξημένο ενδιαφέρον για τη μελέτη των εγκεφαλικών διαδικασιών, οι οποίες προκαλούνται από συγκεκριμένα γεγονότα. Ονομάζουμε Βιωματικά Δυναμικά - ΒΔ (Event Related Potentials - ERP), τις διαφορές δυναμικού που μετρούμε, συνήθως στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού, οι οποίες προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένο γεγονός, το οποίο συμβαίνει είτε στον εξωτερικό φυσικό κόσμο, είτε λαμβάνει χώρα ως ψυχολογική διαδικασία. Τα διακρίνουμε σε Προκλητά Δυναμικά - ΠΔ (Evoked Potentials - EP), όταν το ερέθισμα, το γεγονός, προέρχεται απ' τον εξωτερικό κόσμο, και σε Εκπεμπόμενα Δυναμικά (Emitted Potentials) όταν σχετίζονται με μία ψυχολογική διαδικασία.

Εφόσον τα ΠΔ αντικατοπτρίζουν την εγκεφαλική δραστηριότητα σχετιζόμενη με ένα εξωτερικό ερέθισμα, μπορούμε να τα μελετήσουμε μέσω προδιαγεγραμμένων πειραματικών διαδικασιών στο εργαστήριο.

# **ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όλες οι λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος ρυθμίζονται από το νευρικό σύστημα, το οποίο σε συνεργασία με άλλα συστήματα, όπως το αναπνευστικό, το πεπτικό κλπ., ελέγχει και συντονίζει τα εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι ο οργανισμός μας, ανατομικά και λειτουργικά, αποτελεί ενιαίο σύνολο, όπου η ακεραιότητα του νευρικού μας συστήματος είναι μέγιστης σπουδαιότητας για την ομαλή λειτουργία του.

Το νευρικό σύστημα (ΝΣ) αποτελείται από μια ιδιαίτερα πολύπλοκη συνάθροιση κυττάρων, μέρος της οποίας σχηματίζει ένα δίκτυο επικοινωνίας και ένα άλλο μέρος της σχηματίζει ένα στρώμα στήριξης. Το δίκτυο επικοινωνίας της σχηματίζεται από νευρώνες (σχήμα 1). Τα κύτταρα που συμμετέχουν σε αυτή τη λειτουργία είναι εξειδικευμένα αφ' ενός στη λήψη πληροφοριών, αφ' ετέρου στη λήψη αποφάσεων και τη μετάδοση σημάτων σε άλλους νευρώνες ή σε κύτταρα-τελεστές. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει  $10^{12}$  νευρώνες. Τα ερειστικά κύτταρα του ΝΣ περιλαμβάνουν τη νευρογλοία ("κόλλα των νεύρων"). Αυτά τα κύτταρα βοηθούν στη διατήρηση ενός κατάλληλου τοπικού περιβάλλοντος για τους νευρώνες ή επενδύουν στους νευράξονες, αυξάνοντας τη ταχύτητα αγωγής της κεντρικής ώσης. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει 10 φορές περισσότερα νευρογλοιακά κύτταρα απ' ότι νευρώνες.

Επιπρόσθετα, το κεντρικό νευρικό σύστημα, και μάλιστα ο φλοιός του εγκέφαλου, αποτελεί την έδρα ανώτερων πνευματικών λειτουργιών (όπως η σκέψη, η βούληση, η μνήμη, η συνείδηση, οι συναισθηματικές καταστάσεις κλπ.), που συντελούν στη συγκρότηση της προσωπικότητας του ατόμου. Τα βασικά όργανα που απαρτίζουν το νευρικό σύστημα είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός με τα εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα και τα γάγγλια τους,

ενώ ο κύριος ιστός αυτών των οργάνων είναι ο νευρικός.

Το νευρικό σύστημα διαιρείται :

**α )** στο εγκεφαλονωτιαίο ή ζωικό και

**β )** στο αυτόνομο ή φυτικό νευρικό σύστημα.

Η διαίρεση αυτή είναι λειτουργικής κυρίως φύσης και μεταξύ των δυο μερών υπάρχει στενή ανατομική και φυσιολογική αλληλεξάρτηση.

Το εγκεφαλονωτιαίο σύστημα υποδιαιρείται σε δυο κύρια μέρη :

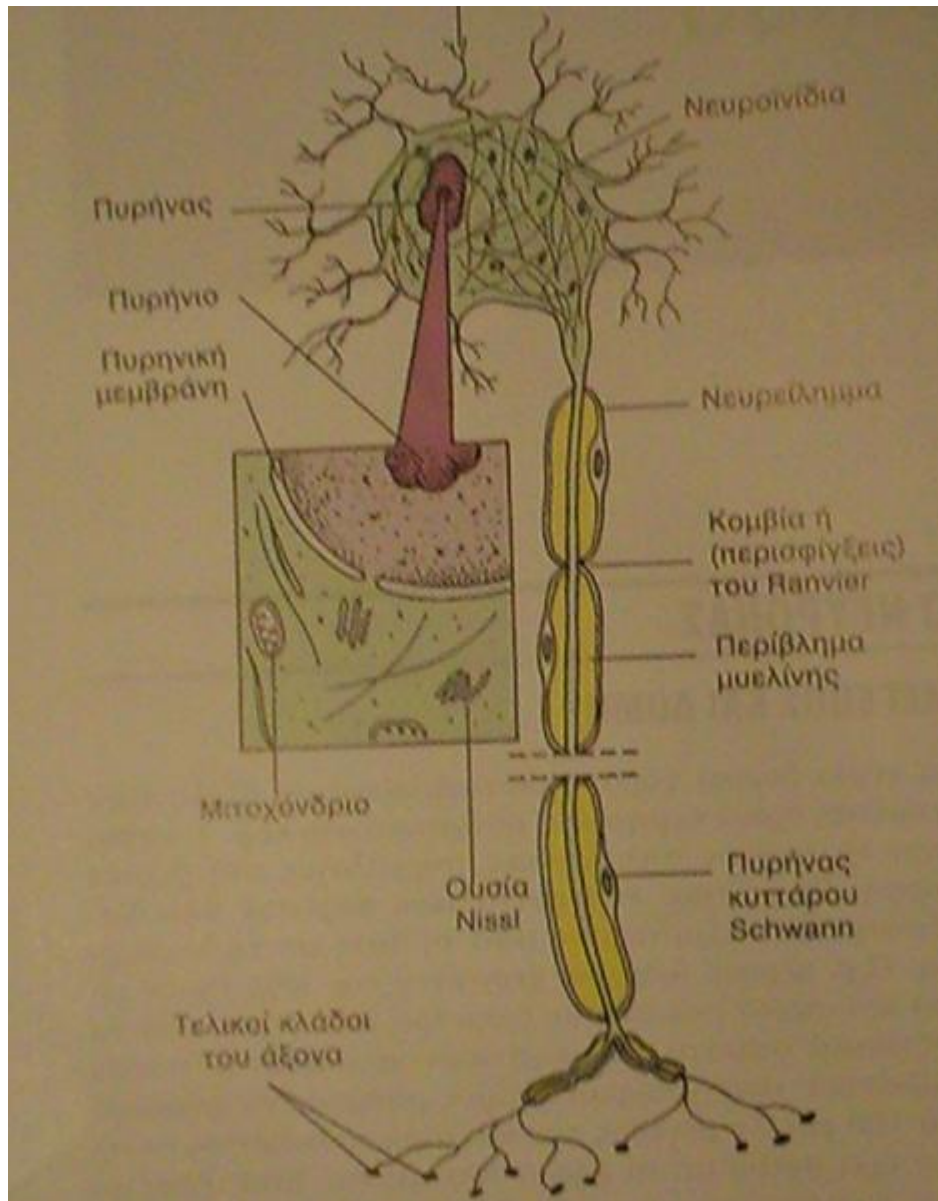
I. **Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) ή Α' νευρώνας**, που περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό, και

II. **Το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) ή Β' νευρώνας**, που αποτελείται από τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία νεύρα με τα νευρικά γάγγλια τους.

## **1.2 ΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΚΝΣ)**

Στο κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός είναι τα κύρια κέντρα, όπου γίνεται η διαπλοκή, η συσχέτιση και η ολοκλήρωση των νευρικών πληροφοριών. Για το λόγο αυτό, τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά είναι πολύ καλά προφυλαγμένο από ένα υγρό, το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, αλλά και από τα οστά του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης.

Το ΚΝΣ απαρτίζεται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων, τα οποία περιβάλλονται και στηρίζονται από ειδικό ιστό, που ονομάζεται νευρογλοία. Εσωτερικά είναι οργανωμένο σε φαιά και σε λευκή ουσία. Η φαιά αποτελείται από τα νευρικά κύτταρα, ενώ η λευκή ουσία αποτελείται από νευρικές ίνες.



**Εικόνα 1.** Το νευρικό κύτταρο

### **1.3 ΤΟ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΠΝΣ)**

Το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) είναι η φυσική συνέχεια του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ). Η περιφερική μοίρα του εγκεφαλονωτιαίου νευρικού συστήματος αποτελείται από 43 ζεύγη νεύρων, τα οποία χρησιμεύουν για τη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων προς το κέντρο και την περιφέρεια. Από τα 43 ζεύγη νεύρων τα 12 εκφύονται από τον εγκέφαλο και τα 31 από το νωτιαίο μελό. (Φραγκοράπτης, 2002)

#### 1.4 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΕ ΒΛΑΒΗ

Μια βλάβη σε νευρικό ιστό προκαλεί αποκρίσεις από τους νευρώνες και από τη νευρογλοία. Σοβαρή βλάβη προκαλεί κυτταρικό θάνατο. Εάν χαθεί ένας νευρώνας δεν μπορεί να αντικατασταθεί, γιατί οι νευρώνες είναι πλήρως διαφοροποιημένοι και δεν υπόκεινται πλέον σε κυτταρική διαίρεση. Οι περισσότεροι νευρώνες ολοκληρώνουν τη διαφοροποίησή τους πριν από τη γέννηση, αν και τα νευρογλοιακά κύτταρα εξακολουθούν να διαιρούνται ακόμη και στον ενήλικο οργανισμό. Για τον λόγο αυτό, οι περισσότεροι όγκοι του ΚΝΣ, πιθανολογείται ότι προέρχονται περισσότερο από πρόδρομα νευρογλοιακά κύτταρα παρά από νευρώνες. (Robert Berne, Matthew Levy, 1996)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ

#### 2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το ερέθισμα προς μια από τις πέντε αισθήσεις μεταφέρεται με τα αισθητήρια ή αισθητικά νεύρα στον εγκέφαλο. Για τη μεταφορά του και την επεξεργασία του στον εγκέφαλο διεγείρονται κύτταρα. Η ηλεκτρική δραστηριότητα αυτών των κυττάρων προκαλεί στην επιφάνεια του δέρματος δυναμικά. Από αυτά τα δυναμικά, τα «προκαλούμενα» ή «προκληθέντα» (evoked), όπως ονομάστηκαν από το αρχικό ερέθισμα, επικράτησε το επίθετο «προκλητά», δηλαδή αυτά που μπορούν να προκληθούν. (B. Πρώιμος, 2005)

Τα προκλητά δυναμικά (ΠΔ) είναι φλοιϊκά δυναμικά του νευρικού συστήματος με εκλεκτική αποκοπή και σταθερό λανθάνοντα χρόνο και εκλύονται μετά από διέγερση των οπτικών, ακουστικών ή σωματοαισθητικών κεντρομόλων οδών. Η αύξηση του λανθάνοντα χρόνου αυτών των δυναμικών υποσημαίνει βλάβη στη συγκεκριμένη οδό που εξετάζεται, αλλά είναι μη ειδική. (Harrison, 2001)

Στη νευροφυσιολογία ένα ΠΔ (ή «προκλητή απάντηση») είναι ένα ηλεκτρικό δυναμικό που καταγράφει ερεθίσματα, τα οποία είναι αδύνατο να διακριθούν με συνηθισμένες μεθόδους όπως είναι το Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) και το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ). Τα ΠΔ φθάνουν μέχρι 5  $\mu\text{V}$ , δηλαδή αποτελούν μικρό ποσοστό των δυναμικών του ΗΕΓ (5 μέχρι 100  $\mu\text{V}$ ), που δίνει το σύνολο των εγκεφαλικών κυττάρων, (ανεξάρτητα από την ανωτέρω διέγερση των αισθήσεων). Για το λόγο αυτό τα ΠΔ είναι δύσκολο να διακριθούν και να μετρηθούν.

#### 2.2. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

Τα προκλητά δυναμικά μπορούν να επιδείξουν βλάβες σε πολλές περιοχές της λευκής ουσίας και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, εάν ο ασθενής έχει

κλινικές ενδείξεις μίας μόνο βλάβης ή παραπονείται για ασαφή συμπτώματα με αμφίβολη οργανική βάση. Η ακριβής εντόπιση είναι δύσκολη, επειδή ο γενεσιουργός μηχανισμός πολλών προκλητών δυναμικών είναι άγνωστος (Harrison, 2001).

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμεύουν στην περιγραφή φυσιολογικών νευρικών λειτουργιών, την αποκάλυψη παθολογικών λειτουργιών, τον εντοπισμό της παθολογικής κατάστασης μέσα στην αγωγή οδό, στην πρώιμη διάγνωση αλλά και στην παρακολούθηση της εξέλιξης παθολογικών καταστάσεων που μπορούν να επηρεάσουν την αγωγή των νευρικών ινών εστιακά ή διάχυτα (σκλήρυνση κατά πλάκας, αγγειακά επεισόδια, όγκοι, εκφυλιστικά νοσήματα, τραύματα κλπ.). Εντοπίζουν την παρουσία ασθένειας ή εκφυλισμού, και μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό των τραυματισμένων νεύρων.

Η κυριότερη χρησιμότητα των Π.Δ. έγκειται στην διάγνωση ασθενειών. Έτσι Π.Δ. έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στον τομέα της επιληψίας. Ο συσχετισμός των μεταβολών μεταξύ Π.Δ. και κλινικών συμπερασμάτων μπορεί να βοηθήσει στη μελέτη της φυσιοπαθολογίας της επιληψίας. Χρήση των Π.Δ. γίνεται επίσης για την αναγνώριση ασθενών που πάσχουν από Alzheimer και την διάκρισή τους από άλλες ασθένειες. Επίσης χρησιμοποιούνται για την μελέτη της επίδρασης φαρμάκων που χορηγούνται για την νόσο αυτή.

Τα Π.Δ. εφαρμόζονται κυρίως για τον εντοπισμό ψυχιατρικών ασθενειών όπως η σχιζοφρένεια και η παράνοια. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι συνήθως η στατιστική μελέτη των κορυφώσεων των κυματομορφών (P300, P600 κλπ.). Τη στατιστική μελέτη των κορυφώσεων των Π.Δ. συνοδεύει συνήθως γραφική αναπαράσταση των κυματομορφών που αποτελούν το συνολικό μέσο όρο (grand average) κάθε απαγωγής για όλους τους εξεταζόμενους κάθε κατηγορίας ασθενών ή υγιών ατόμων. Οι συνολικοί μέσοι όροι δεν αποτελούν αξιόπιστο μέσο γιατί αποκόπτουν και εξομαλύνουν πολλές πληροφορίες των Π.Δ., παρουσιάζοντας ενίοτε εντελώς διαφορετική εικόνα από αυτή που πραγματικά έχει μια κατηγορία ασθενών.

Τα Π.Δ. όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ερευνητικούς σκοπούς στην κλινική νευροφυσιολογία. Λόγω υψηλού χρονισμού τους,

παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την εγκεφαλική λειτουργία. Διάφορες νοητικές διεργασίες όπως η αντίληψη, η προσοχή, η γλωσσική επεξεργασία και η μνήμη, λαμβάνουν χώρα σε χρονικές περιόδους της τάξεως δεκάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Οι περισσότερες τυπικές τεχνικές απεικόνισης απαιτούν την διατήρηση της δραστηριότητας του εγκεφάλου για κάποια δευτερόλεπτα και έτσι αδυνατούν να συλλάβουν τις διαδικασίες αυτές. Οι καταγραφές με Π.Δ., όμως παρέχουν απεικονίσεις με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου, οπότε αποτελούν ιδανική μεθοδολογία για τη μελέτη των πτυχών συγχρονισμού τόσο των φυσιολογικών όσο και των παθολογικών γνωστικών διεργασιών. Για την παρατήρηση των Π.Δ. κατασκευάζονται χάρτες με την κατανομή δυναμικού στην δερματική επιφάνεια του κεφαλιού, που στην απλούστερη περίπτωση μπορεί να λάβει τη μορφή ισοδυναμικών επιφανειών. Η τοπογραφική αναπαράσταση των Π.Δ. μέσω χαρτών προσδίδει μεγαλύτερη δυνατότητα εποπτείας των εξελισσόμενων γεγονότων στην επιφάνεια του κεφαλιού. Τα συστατικά των Π.Δ. μπορούν να μελετηθούν σχετικά εύκολα ως προς τη χωρική τους κατανομή.

Τα Π.Δ. αξιοποιούνται επίσης σε πειραματικό στάδιο σε διάφορες εφαρμογές όπως η εξέταση του βαθμού αναισθησίας που επιτυγχάνεται η οποία μέχρι στιγμής εφαρμόζεται σε ζώα.

### **2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ**

Υπάρχουν τέσσερις κυρίως κατηγορίες ΠΔ ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που τα προκαλεί.

§ Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials - VEP) όταν γίνεται οπτικός ερεθισμός, όπως εμφάνιση συγκεκριμένης εικόνας, λάμπεις.

§ Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Auditory Evoked Potentials - AEP) όταν τα ερεθίσματα σχετίζονται με την ακοή, όπως ήχοι, λέξεις, τόνοι διάφορων συχνοτήτων.

§ Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials - SEP): Τα εξωτερικά ερεθίσματα είναι μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικά ρεύματα που ερεθίζουν κάποια συγκεκριμένα νεύρα.

§ Κινητικά προκλητά δυναμικά (Motor Evoked Potentials - MEP ): Αυτά μπορούν να εντοπίσουν διαταραχές σε ένα κινητικό μονοπάτι του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού. Συνήθως δεν χρησιμεύουν στη διάγνωση της πολλαπλής σκλήρυνσης.

Τα Π.Δ. διαχωρίζονται, επίσης, σε εξωγενή και ενδογενή ανάλογα με το πώς σχετίζονται με το εξωτερικό ερέθισμα. Τα εξωγενή έχουν να κάνουν με την φύση του εξωτερικού ερεθίσματος (ένταση, συχνότητα κλπ.) και σχετίζονται με την ακεραιότητα των αισθητηριακών οδών. Παρατηρούνται σε χρόνο μικρότερο των 100 msec από την παραγωγή του ερεθίσματος. Αντίθετα τα ενδογενή έχουν τη βάση τους στην ψυχολογική επίδραση του εξωτερικού ερεθίσματος στον άνθρωπο καθώς σχετίζονται με διάφορα στάδια νοητικής επεξεργασίας των εξωτερικών ερεθισμάτων στο ΚΝΣ. Παρατηρούνται σε χρόνο μεγαλύτερο των 70msec. Αλλάζουν ανάλογα με το αν το ερέθισμα είναι γνωστό ή άγνωστο, αν είναι δυσάρεστο ή ευχάριστο, αν θυμίζει στον εξεταζόμενο μία προγενέστερη προσωπική του εμπειρία κλπ.

Η μελέτη των ΠΔ γίνεται πιο συστηματοποιημένη αν στηριχθεί κανείς στα επι μέρους συστατικά που έχουν τα σήματα αυτά. Αυτά τα συστατικά είναι μερικές κυματομορφές του συνολικού σήματος, οι οποίες καθορίζονται βάσει:

- § Κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του πλάτους δυναμικού
- § Της χρονικής στιγμής της οποίας κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση
- § Του χρονικού εύρους το οποίο καταλαμβάνει η μερική κυματομορφή που περιέχει τη συγκεκριμένη κορύφωση.

(Σκουλαρίκης Γ., 2006).

## **2.4 α.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Π.Δ.**

Τα πλεονεκτήματα της καταγραφής των Π.Δ. είναι ότι μπορεί να μελετηθεί η λειτουργική κατάσταση κάποιου νευρικού υποσυστήματος και να μετρηθεί η νευρική δραστηριότητα αντικειμενικά, μέσω μιας μη επεμβατικής μα και ιδιαίτερα σύντομης διαδικασίας. Επιπλέον διαπερνά τις δομές ολόκληρων σωμάτων χωρίς την δημιουργία μεγάλων ηλεκτρικών πεδίων επιφάνειας. Τα μειονεκτήματα της καταγραφής των Π.Δ. είναι ο δαπανηρός και ο ογκώδης εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της διαγνωστικής αυτής μεθόδου καθώς και το κόστος εξέτασης για τον εξεταζόμενο.

### **α.2 Τα χαρακτηριστικά των Π.Δ. είναι :**

α. Το χαμηλό πλάτος δυναμικού (0.1 - 20  $\mu$ V)

β. Ο μικρός λανθάνων χρόνος μετά την διέγερση (μέχρι και 100 ms).

γ. Η πραγματική “εξαφάνισή” τους μέσα σε ηλεκτρικό θόρυβο, ο οποίος προέρχεται από πηγές εξωτερικές του σώματος (εξωγενής θόρυβος) ή και εσωτερικές διαφορετικές από το εξεταζόμενο σύστημα (ενδογενής θόρυβος).

### **β. Το σήμα**

Έτσι ονομάζεται η ηλεκτρική νευρική δραστηριότητα που σχετίζεται με την συλλογή, διάδοση και επεξεργασία της διέγερσης.

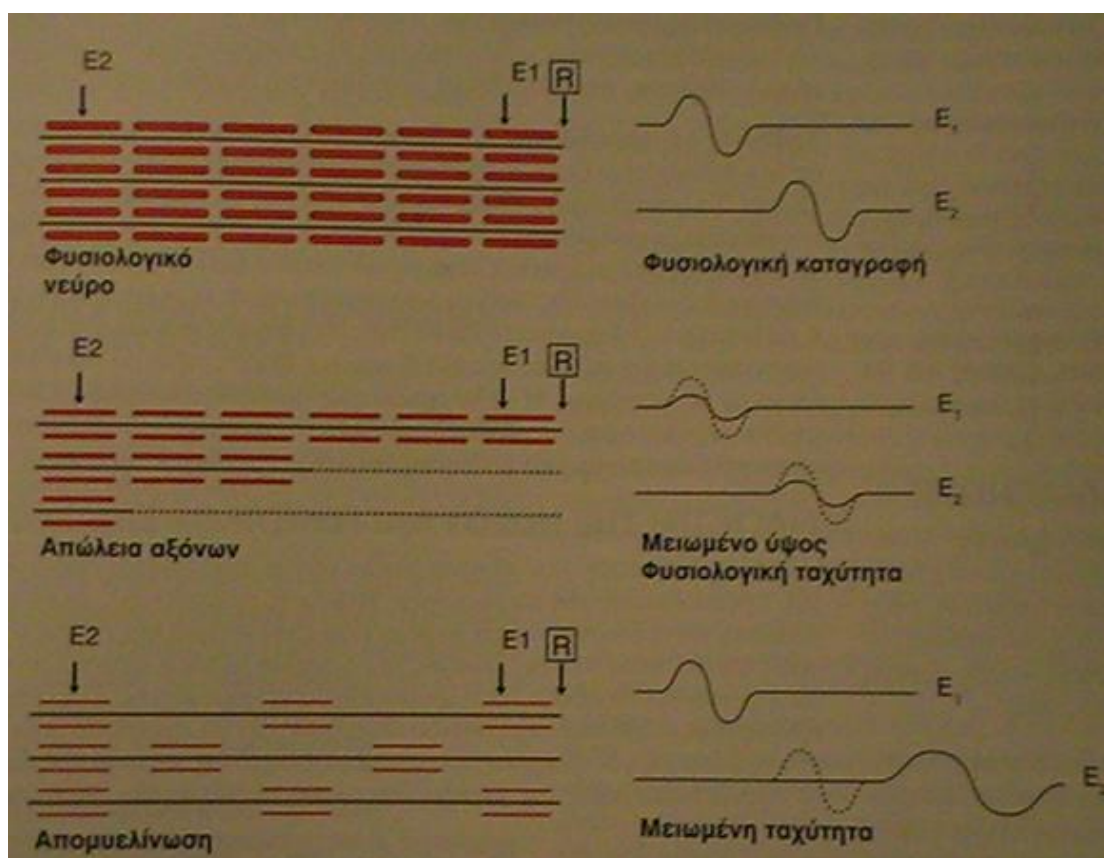
α. Η ηλεκτρική δραστηριότητα στην επιφάνεια του κεφαλιού έχει σχέση άμεσα με τις διαδικασίες στα νευρικά κύτταρα και τις νευρικές οδούς.

β. Ορισμένοι παράγοντες επιτρέπουν την δημιουργία αλλά και μεταβίβαση από τις ενεργές περιοχές που είναι ηλεκτρικές πηγές δυναμικού στα πεδία της επιφάνειας του κεφαλιού. Τέτοιος παράγοντας είναι και η εύκολη σχετικά διάδοση ρευμάτων από τον εγκέφαλο στην επιφάνεια μέσω του εγκεφαλονωτιαίου υγρού, του κρανίου και του δέρματος.

## 2.5. α . Διάδοση σήματος κατά μήκος μιας οδού

### 1. Αγωγή νευρικού παλμού – γενικά

Όλα τα περιφερικά νεύρα στις απολήξεις τους κάτω από το δέρμα καταλήγουν σε κύτταρα τα οποία ονομάζονται «υποδοχείς». Όταν τα κύτταρα αυτά με την επίδραση ενός εξωτερικού αιτίου (διέγερσης) αποπολωθούν με κατάλληλο μηχανισμό πέρα από κάποια τιμή δυναμικού (ηρεμίας) και επαναπολωθούν στην συνέχεια πυροδοτούν τις νευρικές ίνες με τις οποίες συνδέονται. Τελικά άγεται κεντρικότερα ηλεκτρικός παλμός μέσω των νευρικών ινών που αποτελούν την εκάστοτε νευρική οδό (εικόνα2).



Εικόνα 2. Κυματομορφές σε φυσιολογική και παθολογική καταγραφή

Ένας απλός τρόπος για να καταγράψει κανείς ηλεκτρικά σήματα της δραστηριότητας μιας ομάδας νευρικών ινών είναι να διεγείρει τη μια άκρη με έναν συγκεκριμένο παλμό και σε κάποια απόσταση να τοποθετηθούν

ηλεκτρόδια καταγραφής. Με κατάλληλη μόνωση των νευρικών ινών και γειωμένο το ηλεκτρόδιο E1 καταγράφουμε την διαφορά δυναμικού μεταξύ του E1 και E2. Η μεταφορά ενός παλμού μέσα από ένα νεύρο δημιουργεί μια ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο υγρό μέσο που το περιβάλλει. Η ροή αυτή έχει φορά από το E2 στο E1 ανεβάζοντας το δυναμικό στο E2 σχετικά με το E1 για μια μικρή χρονική περίοδο. Τα ρεύματα που δημιουργούνται από πολλές ίνες ταυτόχρονα υπερπροστίθενται στον ενδοκυττάριο χώρο και δημιουργούν δυναμικό δράσης (action potential). Από το σήμα διαπιστώνουμε ότι όταν η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και η ένταση του ερεθίσματος ικανή να διεγείρει όλες τις ίνες, τότε το δυναμικό δράσης έχει πολλές κορυφές. Ο χρόνος μεταξύ των διαφόρων κορυφών εξαρτάται από τις ταχύτητες αγωγής μέσα στις ίνες. Η σχέση επίσης μεταξύ ταχύτητας αγωγής και διαμέτρου της ίνας είναι γραμμική. Επιπλέον για τις εμμύελες ίνες η απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών κόμβων Ranvier αυξάνει καθώς αυξάνει η διάμετρος της ίνας.

## 2. Ιδιότητες των αμύελων νευραξόνων

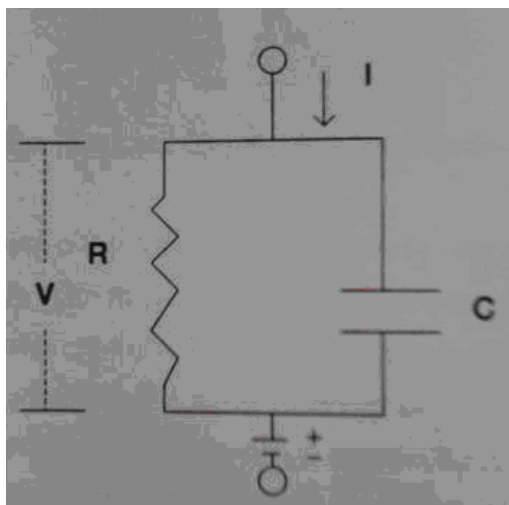
Με τη βοήθεια ενός μικροηλεκτροδίου το οποίο μπορεί να βυθιστεί μέσα σε έναν άξονα μπορεί να διαπιστωθεί ότι το δυναμικό του αξοπλάσματος είναι χαμηλότερο από αυτό του εξωκυττάρου χώρου και σταθερό. Ονομάζεται “δυναμικό ηρεμίας” και σύμφωνα με τον νόμο του Ohm αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ροή ρεύματος από το αξόπλασμα όταν αυτό είναι σε ηρεμία. Αντίθετα όταν ένας παλμός εφαρμόζεται στο αξόπλασμα το ηλεκτρόδιο καταγράφει ένα δυναμικό που είναι μεγαλύτερης τιμής από αυτό της ηρεμίας. Το δυναμικό αυτό είναι ανεξάρτητο της θέσης του ηλεκτροδίου μέσα στο αξόπλασμα, γεγονός που δείχνει ότι οδεύει μέσα στο χώρο αυτό με σταθερό ύψος. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσεγγίσεις εξομοίωσης του νευρικού άξονα. Έτσι ο I.Tasaki σε σχετικές του μελέτες αλλά και άλλοι ερευνητές έχουν περιγράψει το σύστημα αυτό με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Εδώ τελικά το συνολικό ρεύμα που διαρρέει το ανάλογο ηλεκτρονικό σύστημα πυκνωτή αντίσταση είναι  $I=C*dV/Dt +V/R$ . Με το ρεύμα, τη χωρητικότητα και την αντίσταση σταθερά η μεταβολή της τάσης  $V$  δίνεται από τη σχέση  $V=I*R*(1-e^{-t/RC})$  όπου  $RC$  η σταθερά χρόνου του κυκλώματος που προσεγγιστικά είναι 1 – 2.5 msec. Η

αντίσταση τώρα και η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους είναι  $r_m = R_m/\pi^*D$  και  $C_m = \pi^*D^*C_m$  όπου  $D$  είναι η διάμετρος της ίνας.

### 3. Ιδιότητες εμμύελων ινών

Μεγάλες ίνες σε πολλά νεύρα έχουν εξωτερικά του αξοπλάσματος ένα παχύ στρώμα που ονομάζεται μυελίνη. Αυτό διακόπτεται από περιοχές που δεν υπάρχει καθόλου σχηματίζοντας έτσι κόμβους κατά μήκος του άξονα που ονομάζονται κόμβοι Ranvier. Το πλάτος τους είναι 0.5-1  $\mu$ . έχει παρατηρηθεί ότι το στρώμα της μυελίνης έχει πολύ μεγάλη αντίσταση και δρα μονωτικά ενώ διεγείρονται τα τμήματα της ίνας που δεν έχουν μυελίνη. Με πειράματα που έγιναν διαπιστώθηκε ότι καταγράφεται και στη περιοχή μυελίνης μια σχετικά μεγάλη ροή ρεύματος η οποία αποτελούταν από δυο κορυφές που αντιστοιχούσαν σε εξωτερική ροή και ένα ασθενές ρεύμα εισροής. Με διάταξη όπως του σχήματος 1 διαπιστώθηκε ότι η ροή του ρεύματος αποτελείται από μια εξωτερική ροή, μια εσωτερική και πάλι μια εξωτερική διαδοχικά. Δεδομένου ότι στο στρώμα της μυελίνης έχουν μόνο εξωτερική ροή και ότι όσο ρεύμα εξέρχεται τόσο πρέπει να εισέρχεται βγαίνει το συμπέρασμα ότι το ρεύμα που αντισταθμίζει την εξωτερική ροή εισέρχεται από τους δυο γειτονικούς κόμβους Ranvier με αμελητέα επίδραση των πιο απομακρυσμένων κόμβων. Οι κόμβοι επομένως είναι τα σημεία όπου έχουν την κατά μήκος διέγερση μιας εμμύελης ίνας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αγωγή δυναμικού είναι η ύπαρξη μιας κατάλληλης διέγερσης που με ορισμένη ένταση και διάρκεια μπορεί να ξεπεράσει ένα κατώφλι ώστε να δημιουργηθεί ένα δυναμικό δράσης .





Σχήμα 1: Ηλεκτρονική παρομοίωση νευρικού άξονα

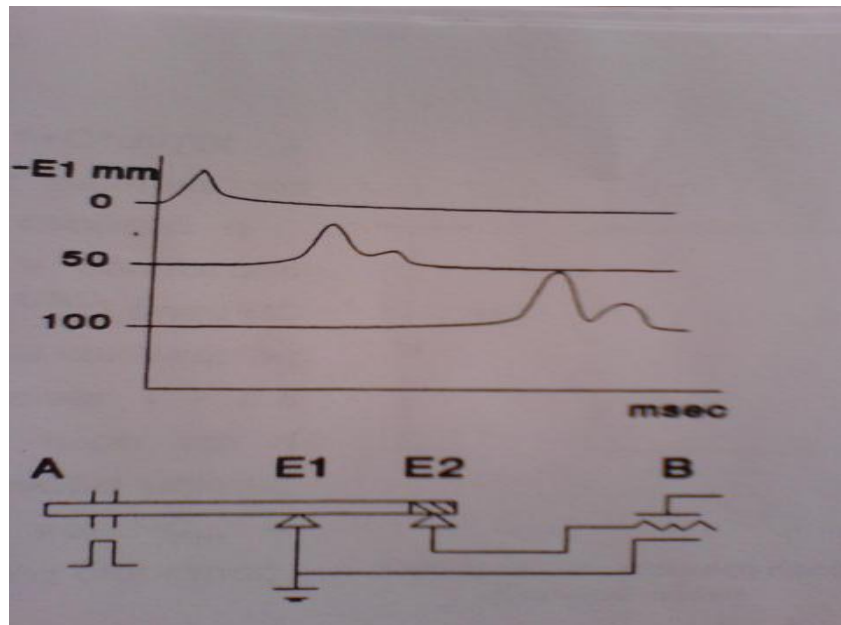
#### 4. Φαινόμενα κατώφλιού-Δυναμικά δράσης (action potentials)

Όλα τα εξωτερικά ερεθίσματα δεν διεγείρουν τις νευρικές ίνες προκαλώντας αγωγή δυναμικού δράσης. Έτσι το αν ένα μεμβρανικό δυναμικό εξελιχθεί σε τέτοιο εξαρτάται από τον μηχανισμό διέγερσης. Ορίζουμε σαν μεμβρανικό δυναμικό κατώφλιου το υψηλότερο δυναμικό το οποίο εάν εφαρμοσθεί σαν παλμός φθεীরεται γρήγορα χωρίς να παραχθεί δυναμικό δράσης. Σαν βάση μέτρησης χρησιμοποιείται το επίπεδο του δυναμικού ηρεμίας που συχνά ονομάζεται κατώφλι αποπόλωσης. Όταν ο παλμός είναι πολύ μικρής διάρκειας τότε χρειάζεται μεγάλη ένταση διέγερσης έτσι ώστε να αυξηθεί το δυναμικό 15 mV πάνω από αυτό που έχει στην κατάσταση ηρεμίας. Γενικά λόγω των μεγάλων χωρητικότητων των κόμβων Ranvier απαιτούνται διεγέρσεις μεγάλης έντασης και μικρής χρονικής διάρκειας. Η παραγωγή του δυναμικού δράσης μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αυτοκαταλυτική διαδικασία. Έτσι όταν η χρονική διάρκεια του παλμού είναι ικανοποιητικά μεγάλη, η απόκριση στο σημείο της διέγερσης τείνει να αυξήσει το μεμβρανικό δυναμικό μαζί με την εφαρμοζόμενη διέγερση. Αν η εξωτερική πηγή ρεύματος διατηρείται, αυτή η διαδικασία τελικά αυξάνει το μεμβρανικό δυναμικό σε ένα κρίσιμο σημείο. Αν ο εφαρμοζόμενος παλμός αποσυρθεί πριν από το κρίσιμο σημείο το δυναμικό επιστρέφει σε αυτό της ηρεμίας, αλλιώς δημιουργείται το δυναμικό δράσης (action potential). Η σχέση του κατώφλιου έντασης και χρονικής διάρκειας του παλμού δεν είναι τυχαία. Όταν

ένας τετραγωνικός παλμός εφαρμοστεί τότε το μεμβρανικό δυναμικό αυξάνει εκθετικά και πρέπει να φτάσει την κρίσιμη τιμή  $V_c$  στο τέλος του παλμού. Έτσι στη γνωστή σχέση  $V_c = I \cdot R \cdot (1 - e^{-T/RC})$ ,  $T$  η διάρκεια του παλμού,  $I$  η ένταση του ρεύματος και  $RC$  η σταθερά χρόνου της μεμβράνης. Από αυτή τη σχέση έχουμε  $T = RC \log(I / (I - (V_c/R)))$  που είναι προσεγγιστική μιας και υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ ρεύματος διέγερσης και απόκρισης της μεμβράνης. Για τις εμμύελες ίνες η παραπάνω σχέση δεν ισχύει γιατί το σύστημα περιπλέκεται πάρα πολύ με τους κόμβους. Υπάρχει όμως ένας εμπειρικός τύπος:  $S = b(1 + (\sigma/T))$  όπου  $S$  είναι η τάση κατωφλίου,  $b$  η τάση ηρεμίας και  $\sigma$  μια σταθερά.

## 5. Νευρική αγωγή κατά μήκος ομοιόμορφων αξόνων

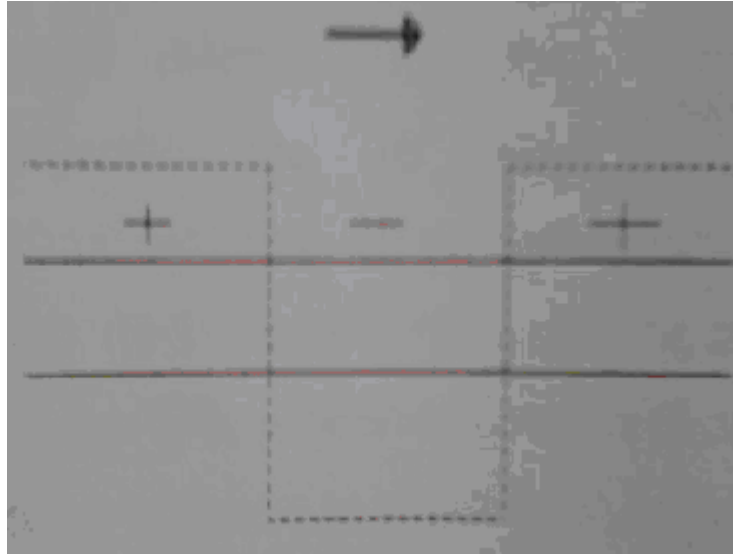
Σε έναν άξονα στον οποίο υπάρχει ένα δυναμικό δράσης η κορυφή του αντιστοιχεί σε αύξηση του μεμβρανικού δυναμικού 100 – 120 mV ενώ η κρίσιμη τιμή της αποπόλωσης, η αναγκαία για να δημιουργηθεί δυναμικό δράσης, είναι 12 – 15 mV (σχήμα 2). Ακόμα η αντίσταση της μεμβράνης στην ενεργοποιημένη περιοχή είναι πολύ μικρότερη από αυτή στην λεγόμενη κατάσταση ηρεμίας. Αυτό διευκολύνει την αλλαγή των συγκεντρώσεων των ιόντων μέσα και έξω από την μεμβράνη. Έτσι όταν σε ένα τμήμα του άξονα εφαρμοστεί μέσα από κάποια σύναψη ή ηλεκτρόδιο ηλεκτρικός παλμός αυτή η περιοχή γίνεται αυτομάτως ενεργή. Μέσω όμως του κυκλώματος που συνδέει όλα τα τμήματα του άξονα και το γειτονικό τμήμα ενεργοποιείται. Με την επανάληψη του φαινομένου διαδίδεται η δραστηριότητα κατά μήκος όλου του άξονα. Η όλη διαδικασία λειτουργεί επειδή υπάρχει το εξωτερικό αγώγιμο ρευστό μέσο. Η αγωγή θα σταματήσει μόνο όταν με κάποιο τρόπο η ίνα απομονωθεί από το περιβάλλον της. Το πεδίο δυναμικού στον περιβάλλοντα χώρο γύρω από τον άξονα μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια του νόμου του Ohm σε έναν αγώγιμο όγκο.



Σχήμα 2. Δημιουργία και αγωγή του ηλεκτρικού παλμού

## 6 . Αγωγή σε εμμέλες νευρικές ίνες

Φυσικό είναι η διάδοση νευρικών παλμών σε τέτοιες ίνες να διαφέρει λόγω της ύπαρξης των κόμβων του Ranvier. Είδαμε ότι η διέγερση των ινών αυτών πραγματοποιείται στους κόμβους με αποτέλεσμα όταν όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε ενεργώ κατάσταση η δραστηριότητα να απλωθεί από κόμβο σε κόμβο κατά μήκος της ίνας. Το πρόβλημα όμως βρίσκεται στον εντοπισμό του τρόπου με τον οποίο διαδίδεται από κόμβο σε κόμβο. Παρατηρήθηκε ότι τα ρεύματα που καταγράφονται σε δύο διαφορετικά σημεία φτάνουν την μέγιστη τιμή σε διαφορετικό χρόνο και μειώνονται με διαφορετική κλίση. Αυτό είναι συνέπεια της διαρροής ρεύματος διαμέσου του μυελινικού στρώματος. Έτσι δεν μπορεί να θεωρηθεί πιθανό το γεγονός ότι ο παλμός “πηδά” από κόμβο σε κόμβο χωρίς να υπάρχει καμία διεργασία ενδιάμεσα στους κόμβους. Εδώ το δυναμικό στον περιβάλλοντα χώρο είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί. Οι καταγραφές που έχουν γίνει κοντά σε κόμβους έχουν δείξει ότι το πεδίο διαφέρει κατά τις διάφορες διευθύνσεις. Μεγαλύτερο δυναμικό εμφανίζεται σε αποστάσεις πολύ κοντινές στον κόμβο.

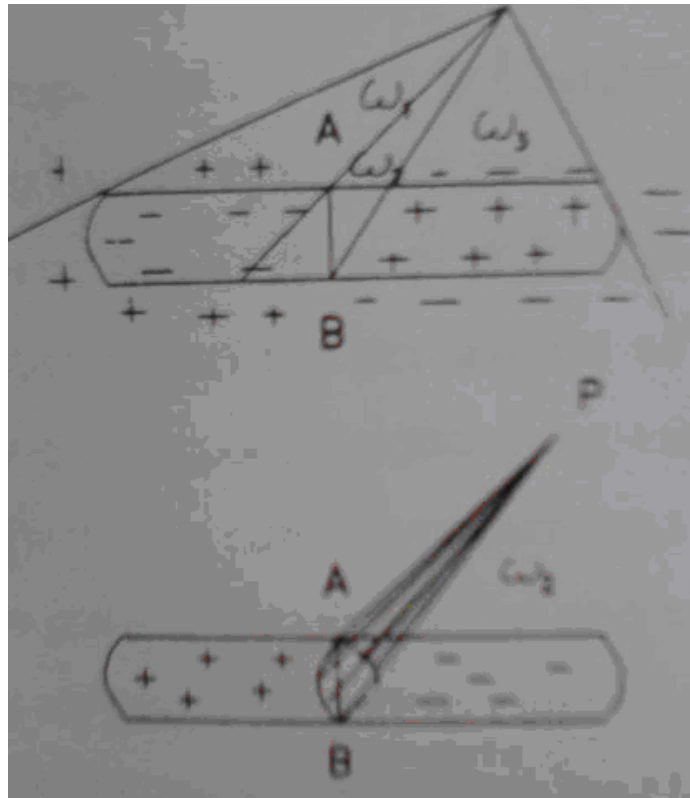


**Σχήμα 3:** Αγωγή νευρικού παλμού

## **7 . Αγωγή παλμού ηλεκτρικού δυναμικού κατά μήκος ενός αγώγιμου όγκου (νεύρου).**

Εάν τοποθετήσουμε ένα ενεργό ηλεκτρόδιο εξωκυτταρικά σε μια δεσμίδα νευρών και ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο σε μακρινή απόσταση, τότε θα καταγράψουμε μια διαφορά δυναμικού που οφείλεται στον αριθμό των παλμών που πλησιάζει και προσπερνά το πρώτο ηλεκτρόδιο που ονομάζεται και ενεργό. Η διαφορά αυτή δυναμικού είναι δύσκολο να ερμηνευτεί για τρεις κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι γιατί είναι δύσκολο να εντοπίσουν τις ενεργές νευρικές ίνες από τις υπόλοιπες της δέσμης, των οποίων τα δυναμικά απλώνονται σε όλο το σώμα. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ ενεργού ηλεκτροδίου και αυτού της αναφοράς, το δυναμικό γίνεται χαμηλότερο. Τέλος, ο τρίτος λόγος είναι ότι η σχέση που συνδέει την διαφορά του δυναμικού μέσα και έξω από την μεμβράνη και το ρεύμα που οφείλεται στην αλλαγή αυτή είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και ξεφεύγει από το αντικείμενο της παρούσης ανάλυσης. Ωστόσο μπορούμε να κάνουμε κάποιες απλοποιήσεις με βάση ένα μοντέλο, ώστε να μπορέσουμε να εξηγήσουμε την πηγή αυτών των δυναμικών. Ας υποθέσουμε ότι στιγμιαία ένα κύτταρο σε σχήμα κυλίνδρου του οποίου η επιφάνεια η οποία αντιστοιχεί στην κυτταρική μεμβράνη είναι φορτισμένη με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 4. Η

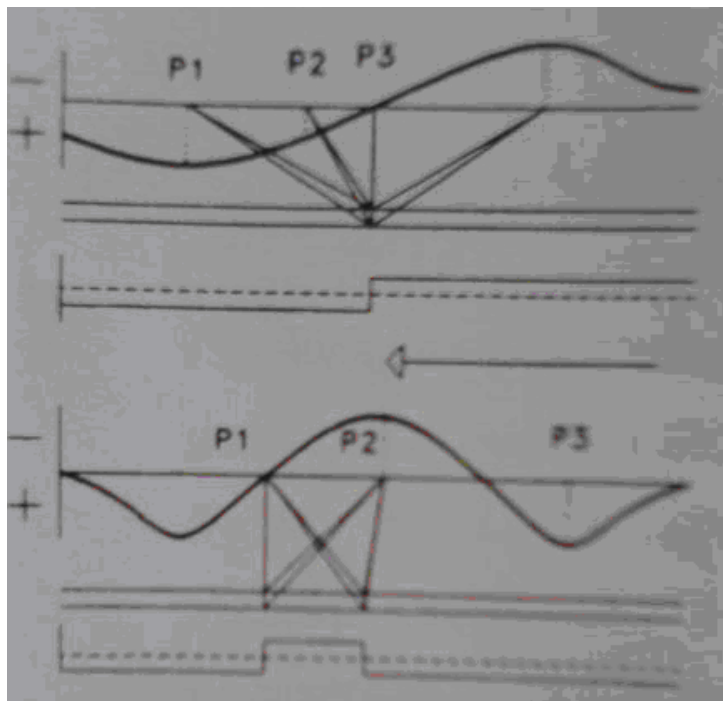
γραμμή AB αντιπροσωπεύει το μέτωπο κύματος το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποπόλωση και την επαναπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης και είναι το όριο στο οποίο το διαμεμβρανικό δυναμικό αλλάζει έστω ξαφνικά. P είναι το σημείο στο οποίο μετράται το δυναμικό. Η στερεά γωνία  $\Omega$  χωρίζεται σε τρεις  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ ,  $\Omega_3$ , εκ των οποίων μόνο η  $\Omega_2$  συνεισφέρει στο δυναμικό που μετράται στο P, μιας και τα δυναμικά που οφείλονται στις  $\Omega_1$  και  $\Omega_3$  αλληλοαναιρούνται. Αυτά αναφέρονται, όπως προαναφέρθηκε, στιγμιαία. Νευρικός παλμός όμως, είναι ένα κύμα που ταξιδεύει με μια σταθερή ταχύτητα αλλάζοντας έτσι με ένα συστηματικό τρόπο και την στερεά γωνία που φαίνεται από το P. Το επόμενο σχήμα (5) δείχνει τον υπολογισμό της αλλαγής του δυναμικού που οφείλεται α) σ' ένα απλό μέτωπο κύματος και β) σ' ένα παλμό που ταξιδεύει από δεξιά προς τα αριστερά με μια σταθερή ταχύτητα. Στην περίπτωση α) P1 – P5 είναι οι θέσεις που τοποθετείται ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο που καταγράφει τις διαφορές του δυναμικού καθώς το μέτωπο πλησιάζει, περνά και φεύγει από το σημείο κοντά στο ηλεκτρόδιο. Η ίδια καμπύλη θα προκύψει εάν θεωρηθεί ακίνητο το κύμα και κινούμενο με την ίδια ταχύτητα το ηλεκτρόδιο αλλά με αντίθετη κατεύθυνση. Το δυναμικό μπορεί να σχεδιαστεί σε εξάρτηση με το χρόνο ή με την απόσταση, ανάλογα με όποιο μέγεθος θέλουμε να είναι σταθερό.



**Σχήμα 4:** Δυναμικό σε εξωτερικό σημείο κυττάρου

Στην περίπτωση (β) έχουμε μια διαφορά δυναμικού όπως αυτή αναμένεται από έναν νευρικό παλμό. Το τριφασικό κύμα (+ - +) της διαφοράς δυναμικού διαγράφεται λόγω του ότι το κύμα αποπόλωσης και επαναπόλωσης είναι πολύ κοντά και έτσι και τα δύο συνεισφέρουν στο δυναμικό. Αριστερά του P1 το πρώτο τμήμα του παλμού κυριαρχεί και έτσι το δυναμικό είναι θετικό. Στο P1 οι δυο στερεές γωνίες που αντιστοιχούν στο κύμα αποπόλωσης και επαναπόλωσης είναι ίσες και έτσι το δυναμικό είναι 0. Στο P2 υπάρχει μόνο η συνεισφορά από το αρνητικό τμήμα του παλμού και συνεπώς το δυναμικό είναι αρνητικό. Στο P3, τέλος, το κύμα επαναπόλωσης κυριαρχεί και το δυναμικό είναι ξανά θετικό. Στην πράξη β) γραφική παράσταση το τελευταίο θετικό τμήμα είναι πολύ μικρότερο και μακρύτερο από το πρώτο λόγω του ότι το κύμα επαναπόλωσης είναι πιο αργό από το κύμα αποπόλωσης. Τα περιφερικά νεύρα γενικά αποτελούνται από νευρικές ίνες που σχηματίζουν δεμάτια. Η ενεργοποίηση αυτών των ινών εξαρτάται από την διάμετρό τους και από το εάν είναι μυελωμένες. Η μεγαλύτερη διάμετρος σημαίνει και παχύτερο στρώμα μυελίνης. Γενικά μεγαλύτερες ίνες έχουν υψηλότερες ταχύτητες αγωγής και χαμηλότερο κατώφλι ενεργοποίησης.

Με την διέγερση ενός νεύρου δεν ενεργοποιούνται όλες οι ίνες. Έτσι με πρώτες τις μεγαλύτερες αυξανόμενης της έντασης του ερεθίσματος αυξάνεται και ο αριθμός ενεργών ινών.



Σχήμα 5: α) Διφασικό, β) Τριφασικό δυναμικό αγωγής

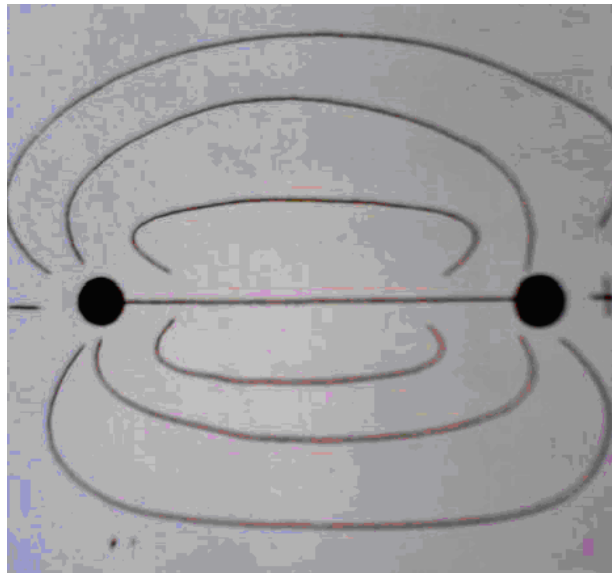
## 2.5β . Καταγραφή δυναμικών στην επιφάνεια του σώματος

### β.1 Περιφερικά νεύρα

Για την καταγραφή ηλεκτρικών σημάτων στην επιφάνεια του δέρματος χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια συνήθως με μορφή μικρών δίσκων σε κατάλληλες θέσεις κοντά στα σημεία αγωγής παλμών μέσα στο νεύρο ή κοντά σε πυρήνες παραγωγής δυναμικών ώστε η αντίσταση μεταξύ δέρματος και ηλεκτροδίου να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρή. Τα υπό καταγραφήν σήματα ακολούθως ενισχύονται από κατάλληλες συσκευές με ένα κέρδος περίπου 10,000 - 50,000 και φιλτράρονται έτσι ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο ο ηλεκτρικός θόρυβος που υπεισέρχεται στο σήμα λόγω άλλων παραγόντων. Το μέσο πεδίο των φίλτρων κυμαίνεται από 1 Hz έως και 5 KHz.

## β.2 Κρανιακά νεύρα

Η πιο συνηθισμένη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, αφού έχει άμεση εξάρτηση από το υπόστρωμα, είναι στην επιφάνεια του κεφαλιού για την καταγραφή και μελέτη αγωγής κατά μήκος των κρανιακών νεύρων ή και επεξεργασμένων σημάτων από πυρήνες του στελέχους ή και σε διάφορες περιοχές του φλοιού.



Σχήμα 6: Το δίπολο

### 2.5.γ. Σχέση νευρικού υποστρώματος με απόκριση

Όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε τα νεύρα έχουν ηλεκτρικά πεδία με τα οποία σχετίζονται. Είναι γεγονός επίσης ότι οι περιοχές των θετικών και των αρνητικών φορτίων είναι διαχωρισμένες πάνω στην επιφάνεια ενός νευρώνα (generator). Ένα ηλεκτρικό πεδίο γενικά ακολουθεί τον νόμο του Ohm στην κατανομή του στο χώρο  $E = Q/R^2$ . Η έντασή του είναι ανάλογη του φορτίου και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από τα φορτία. Υπάρχει επίσης ροή ρεύματος μεταξύ των διαχωρισμένων περιοχών αρνητικών και θετικών φορτίων (σχήμα 2.6). Στην επιφάνεια του κεφαλιού η ένταση του πεδίου και η κλίση του εξαρτώνται κυρίως από την απόσταση της πηγής και τον προσανατολισμό της. Έτσι :



- 1) τα πεδία που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις (near field) χαρακτηρίζονται από παρουσία σε μικρή έκταση στην επιφάνεια και μεγάλη κλίση
- 2) τα πεδία που προέρχονται από πηγές μεγάλης απόστασης χαρακτηρίζονται από μεγάλη έκταση και μικρή κλίση (σχήμα 2.7 α)

Επίσης η διάδοση μέσω του εγκεφαλονωτιαίου υγρού, τις μεμβράνες που περιβάλλουν τον εγκέφαλο και τα οστά του κρανίου προκαλούν πτώση του πλάτους του πεδίου και τοπική διασπορά στην επιφάνεια που είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη λόγω κυρίως των αγωγιμοτήτων που παρουσιάζουν (σχήμα 2.7 β).

Στην πράξη όμως, οι νευρικές πηγές και οι διαδικασίες στις πηγές των επιφανειακών πεδίων, όπως ήδη παραπάνω περιγράφηκαν, δεν είναι γνωστές. Αυτό που γνωρίζουμε είναι η τελική καταγραφή των πεδίων στην επιφάνεια του κεφαλιού. Είναι δυνατή όμως η αντίστροφη προσέγγιση; Είναι δυνατόν δηλαδή με τη βοήθεια του καταγραφόμενου δυναμικού στην επιφάνεια του κεφαλιού να προσδιορίσει κανείς τις πηγές του και τις διαδικασίες που σε αυτές λαμβάνουν χώρα;

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που υπεισέρχονται στην προσπάθεια αυτή :

- α ) Η ύπαρξη πεδίων που αλληλοκαλύπτονται στον χώρο και τον χρόνο και προέρχονται από πολλαπλές πηγές που ενεργοποιούνται ταυτόχρονα.
- β ) Η ύπαρξη εκτός από τα ανοικτά και κλειστά πεδία αφού η γεωμετρία, το μέγεθος και ο συγχρονισμός των νευρικών κέντρων δεν επιτρέπουν πάντα την δημιουργία εξωτερικών μακροσκοπικών πεδίων στην επιφάνεια .
- γ ) Οι ελλειπείς γνώσεις πάνω στον ανθρώπινο εγκέφαλο και στις υποκειμενικές διαφορές ανάμεσα σε κάθε εξεταζόμενο.

Τελικά είναι πολύ δύσκολο να προσεγγίσει κανείς τη θέση μιας νευρικής πηγής δυναμικού παρά τις προσπάθειες που έχουν γίνει. Παρόλα όμως τα παραπάνω στοιχεία που περιορίζουν αρκετά τις τελικά χρησιμοποιούμενες πληροφορίες των ΠΔ, μπορούν όμως να αποτελέσουν ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στον έλεγχο του νευρικού συστήματος και του εγκεφάλου. Έτσι μια φυσιολογική καταγραφή Προκλητών Δυναμικών μας πληροφορεί :

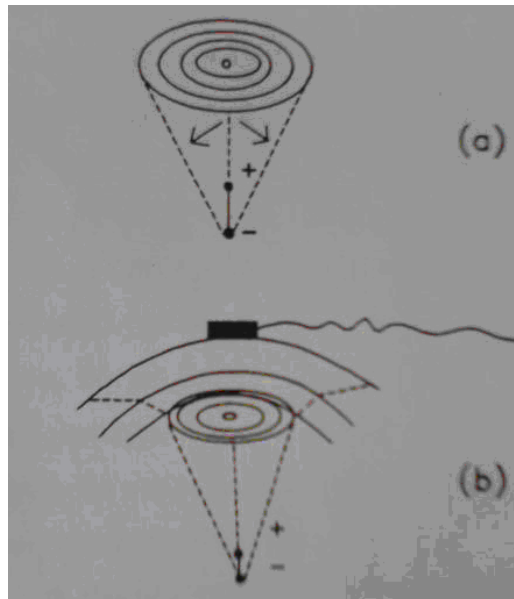
α . Ότι ένα ερέθισμα μετατράπηκε κατάλληλα και μεταβιβάστηκε στον εγκέφαλο.

β . Η νευρική δραστηριότητα που παράγεται από την μεταβίβαση του ερεθίσματος έφθασε σε συγκεκριμένα σημεία σταθμούς σε συγκεκριμένους χρόνους.

γ . Η ταχύτητα διάδοσης ήταν φυσιολογική.

δ . Ο συγχρονισμός των νευρικών ινών που έχει άμεση σχέση με την διάρκεια του προκλητού δυναμικού ήταν καλός.

ε . Πληροφορίες για τον αριθμό των αγώγιμων ινών αφού το πλάτος του καταγραφόμενου δυναμικού σχετίζεται με τον αριθμό των ενεργών ινών.



**Σχήμα 7:** Πεδία από πηγές (a) μεγάλης, (b) μικρής απόστασης

Αντίθετα μια μη φυσιολογική καταγραφή ΠΔ μπορεί με μεγάλη ευαισθησία να μας πληροφορήσει για :

α . πιθανά τεχνικά προβλήματα στη διέγερση και την καταγραφή,

β. βλάβες που προκαλούν μη φυσιολογική μετάδοση του ερεθίσματος κατά μήκος μιας οδού. (Κουτσογιάννης Κ. ,1993)

### ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ

#### 3.1 Ορισμός και χρησιμότητα

Τα Σωματοαισθητικά Προκλητά Δυναμικά (ΣΠΔ) αποτελούν αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας και είναι μια ευαίσθητη μέθοδος που ελέγχει και διαχωρίζει ασθένειες ανάμεσα στο περιφερικό και κεντρικό νευρικό σύστημα. Η μέθοδος συνδυάζεται με τα αποτελέσματα από μια δοκιμασία ταχύτητας της αγωγιμότητας των νεύρων, η οποία μετράει την νευρική λειτουργία στα άκρα. Εντοπίζει κυρίως δυσκοπότητες, νευροπάθειες, όγκους, εκφυλιστικά νοσήματα κ.τ.λ., καθώς επίσης μπορεί να διαγνώσει νευρομυϊκές και απομυελυνωτικές παθήσεις, καθώς και μερική ή ολική καταστροφή των νευρικών ριζών μετά από τραυματισμό σε ασθενείς με Σκλήρυνση Κατά Πλάκας (ΣΚΠ). Επίσης, μπορεί να καταγράψει το δυναμικό της λειτουργίας της περιφέρειας και τα γεγονότα που συμβαίνουν κεντρικά και προέρχονται από τη Σπονδυλική Στήλη (ΣΣ), το εγκεφαλικό στέλεχος, το θάλαμο και τον εγκεφαλικό φλοιό και να παρακολουθήσει τις αντιδράσεις των ασθενών κατά τη διάρκεια επεμβάσεων στην αυχενική και θωρακική μοίρα.

Τα ευρήματα των ΣΠΔ, μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευση και στον εντοπισμό των αλλοιώσεων των κεντρικών σωματοαισθητικών μονοπατιών, αλλά δεν είναι παθογνωμικά συγκεκριμένων ασθενειών. Στη ΣΚΠ η παρουσία σωματοαισθητικών ανωμαλιών μπορεί να αποκαλύψει υποκλινικές αλλοιώσεις που συμπεριλαμβάνουν τα κεντρικά σωματοαισθητικά μονοπάτια και επιπλέον, βοηθούν στην πρόωμη διάγνωση. Σε ασθενείς με διαγνωσμένη ΣΚΠ η επίπτωση της ανωμαλίας των ΣΠΔ είναι περίπου 80% εκτιμώντας ότι στην κατηγορία της πιθανής ΣΚΠ η απόδοση είναι περίπου 30%. Επομένως, η ερμηνεία των ηλεκτροφυσικών αποτελεσμάτων πρέπει πάντα να εξετάζεται σε κλινικό πλαίσιο.

Τα ΣΠΔ είναι ευρέως χρησιμοποιημένα στην κλινική διάγνωση απ' το 1970 καθώς και στην ενδοχειρουργική νευροφυσιολογία. Μπορούν να

χρησιμοποιηθούν είτε μόνα τους, είτε μαζί με τα κινητικά ΠΔ, τα οποία καταγράφουν έγκαιρα κάποιες αλλοιώσεις της σπονδυλικής στήλης. Κάποιες φορές όμως, μπορούν να επηρεαστούν από τα υψηλά επίπεδα αναισθητικού και τη χαμηλή πίεση του αίματος και για το λόγο αυτό να μην μπορούν να αναγνωρίσουν το πρόβλημα.

Η καταγραφή των ενδοχειρουργικών ΣΠΔ με ή χωρίς τα κινητικά προκλητά δυναμικά, μπορεί να είναι κατάλληλη για τους παρακάτω τύπους χειρουργείων :

*1 ) χειρουργεία σπονδυλικής στήλης (ΣΣ)*

- α . αποσυμπίεση της ΣΣ όπου η λειτουργία της είναι σε κίνδυνο
- β . μετακίνηση όγκων ΣΣ
- γ . χειρουργείο σαν αποτέλεσμα τραυματισμού ΣΣ
- δ . διόρθωση σκολίωσης ή δυσπλασίας ΣΣ

*2 ) Ενδοκρανιακές εγχειρήσεις*

- α . διέγερση εγκεφάλου
- β . αποσυμπίεση των κρανιακών νεύρων (π.χ. οπτικών)
- γ . μετακίνηση όγκων που επηρεάζουν τα κρανιακά νεύρα
- δ . χειρουργείο ως αποτέλεσμα τραυματισμού του εγκεφάλου

*3 ) Αγγειακά χειρουργεία*

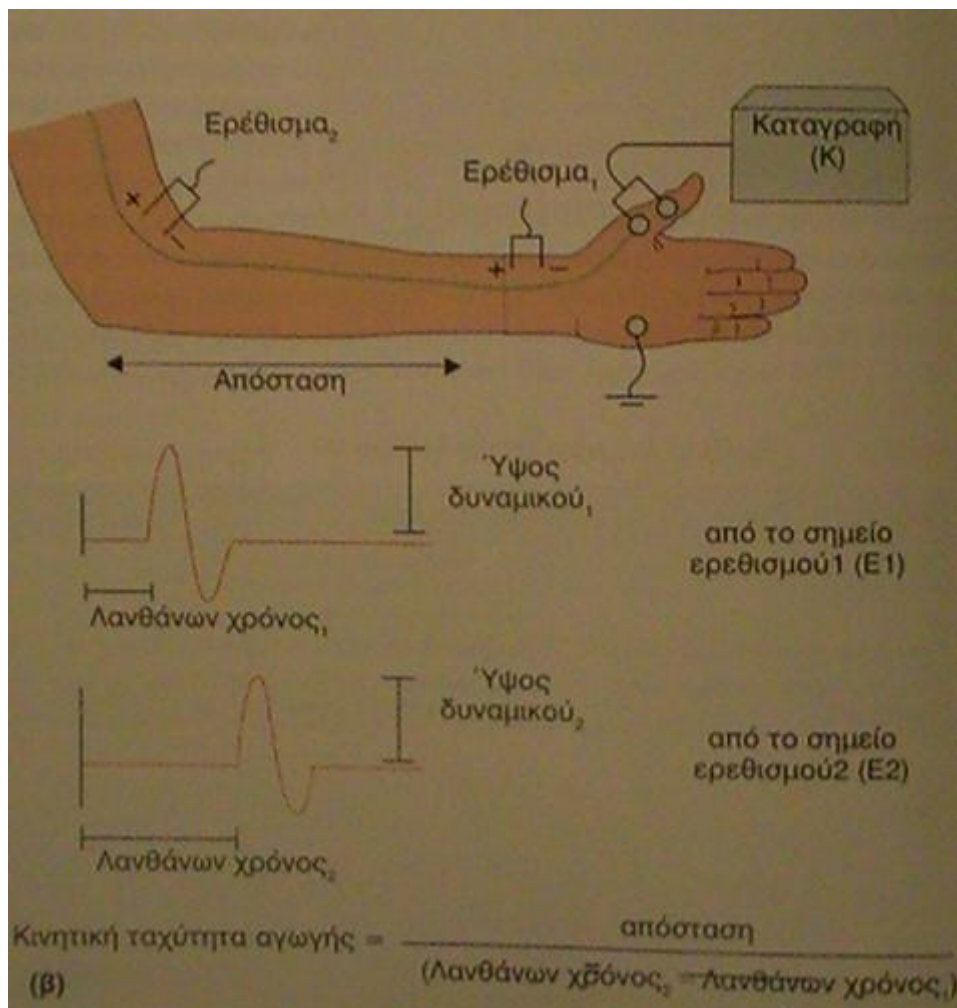
α . αρτηριογραφία κατά τη διάρκεια της οποίας υπάρχει ένα τεστ απόφραξης της καρωτιδικής αρτηρίας.

Τα ΣΠΔ ή Δερματοαισθητικά Προκλητά Δυναμικά (ΔΠΔ) θεωρούνται ιατρικά απαραίτητα για τις επόμενες ενδείξεις :

- 1 ) εντοπίζουν μυελοπάθεια αγνώστης αιτιολογίας
- 2 ) αξιολογούν επείγουσες χειρουργικές επεμβάσεις σε τραύματα ΣΣ, σε ασθενείς με συγκεκριμένες δομικές καταστροφές στο σωματοαισθητικό τους σύστημα.
- 3 ) διαχειρίζονται ασθενείς με παρεγκεφαλιδονωτιαίο εκφυλισμό.

### 3.2 Περιγραφή της διαδικασίας

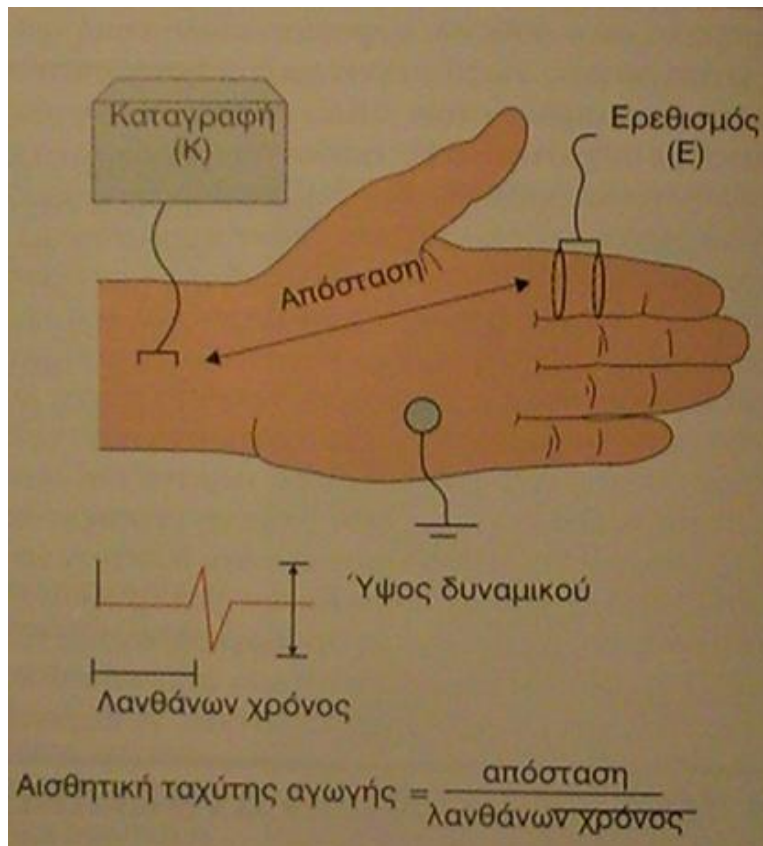
Τα ΣΠΔ καταγράφουν τη μεταφορά των νευρικών ώσεων από τα άκρα στον εγκέφαλο με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο φλοιό του εγκεφαλικού ημισφαιρίου, ετερόπλευρα στο εφαρμοσμένο ερέθισμα. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετηθούν σε διάφορα σημεία πάνω στο κρανίο. Γίνεται μια σταθερή μέτρηση στη περιοχή της κεφαλής μέσω ΗΕΓ για να καθοριστούν τα σωστά σημεία. Κατά τη τοποθέτηση ηλεκτροδίων, χρησιμοποιείται ένα ειδικό υγρό, το οποίο είναι υπεύθυνο για την προστασία του δέρματος, ενώ τα ηλεκτρόδια σταθεροποιούνται στην επιφάνεια του δέρματος με αυτοκόλλητη ταινία (εικόνα 3).



**Εικόνα 3:** Φυγόκεντρη-κινητική διέγερση και καταγραφή ΠΔ άνω άκρων

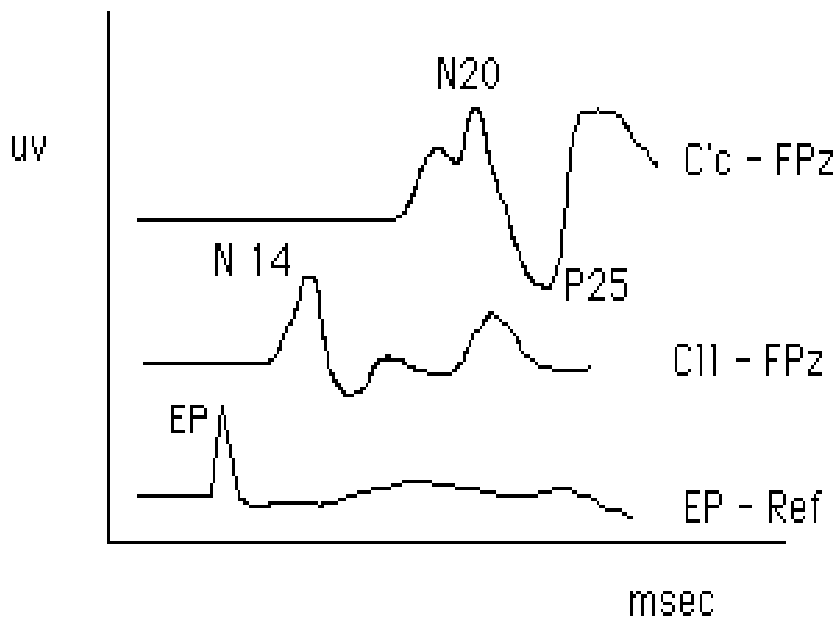
Στα άνω ή στα κάτω άκρα συμβαίνουν ήπια ηλεκτρικά ερεθίσματα που μπορεί να προκαλέσουν αίσθημα παλμού, σύσπαση ή αίσθημα καψίματος. Αν και το ερέθισμα μπορεί να είναι ασυνήθιστο ή ελαφρώς δυσάρεστο, οι περισσότεροι ασθενείς δεν το θεωρούν επίπονο. Το ερέθισμα διαρκεί περίπου 2 λεπτά και όλη η διαδικασία περίπου 30 λεπτά. Μετά τη δοκιμασία τα ηλεκτρόδια αφαιρούνται με ακετόνη ώστε η κεφαλή να καθαριστεί.

Για το **άνω άκρο** εφαρμόζονται δύο ηλεκτρόδια στην εσωτερική επιφάνεια του καρπού, κοντά στον αντίχειρα. Αυτά τα ηλεκτρόδια θα λάβουν χρονομετρημένους ηλεκτρικούς παλμούς που θα προκαλέσουν ακούσια σύσπαση του αντίχειρα. Ένα πρόσθετο αισθητήριο ηλεκτρόδιο, εφαρμόζεται στην οπίσθια επιφάνεια του ώμου, κοντά στο συνδετικό σημείο της κλείδας. Παρόμοια με τα ΟΠΔ, ο υπολογιστής χρονομετρά τους ηλεκτρικούς παλμούς και παίρνει τις απαντήσεις από το κατάλληλο ηλεκτρόδιο που βρίσκονται στο κρανίο. Επιπλέον καθορίζει τον ακριβή χρόνο που χρειάζεται το ερέθισμα για να φτάσει στον άλλο βραχίονα (εικόνα 3).



Εικόνα 4: Κεντρομόλος καταγραφή ΠΔ

Οι τεχνικές προστίθενται η μία πάνω στην άλλη αθροιστικά (averaging), για να διευκολύνουν την καταγραφή αυτών των μικρών δυναμικών. Στο άνω άκρο το ερέθισμα συνήθως εφαρμόζεται στο μέσο ή ωλένιο νεύρο, ενώ στο κάτω άκρο εφαρμόζεται συνήθως στο κνημιαίο νεύρο (εικόνα 4). Η διέγερση του μέσου νεύρου στο καρπό καταγράφει μια απάντηση στο βραχιόνιο πλέγμα σε περίπου 9 msec (N9), στο σφηνοειδή πυρήνα σε 12 msec (N12) και στο σωματοαισθητικό φλοιό σε 20 msec (N20). Τα φυσιολογικά ΣΠΔ, αποκαλύπτονται από τη διέγερση του μέσου νεύρου και καταγράφονται στο σημείο Erb (EP). Το σημείο του Erb μπορεί να υπολογίσει την απάντηση του περιφερικού συστήματος για να ελέγξει μεταβλητές όπως η ηλικία, η θερμοκρασία, η δύναμη των άκρων κ.τ.λ. Μπορεί επίσης να υπολογίσει τις λανθάνουσες καταστάσεις στο ΚΝΣ για να δώσει ένα κεντρικό χρονοδιάγραμμα της διαδικασίας (λανθάνων χρόνος). Ο λανθάνων χρόνος μετρείται από το σημείο του Erb μέχρι το N20 και συγκρίνεται με φυσιολογικές πληροφορίες (σχήμα 8).



**Σχήμα 8:** ΣΠΔ άνω άκρων με καταγραφή των αποκρίσεων στο σημείο Erb (EP) και στον εγκέφαλο (N14, N20)

Στο **κάτω άκρο** εφαρμόζονται δυο ηλεκτρόδια ερεθισμάτων στην εσωτερική επιφάνεια της ποδοκνημικής, με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλέσει ακούσια σύσπαση του μεγάλου δακτύλου. Επιπρόσθετα, αισθητήρια ηλεκτρόδια

τοποθετούνται στην οπίσθια και έξω επιφάνεια του γόνατος, στο κατώτερο και ανώτερο σημείο της ΣΣ. Έπειτα, οι ηλεκτρικοί παλμοί στέλνονται ως ένα ποσοστό πολλών φορών το λεπτό και οι απαντήσεις καταγράφονται με τον τρόπο που προαναφέρθηκε από διάφορα σημεία του εγκεφάλου ανάλογα με την περιοχή παραγωγής τους από συγκεκριμένες «πηγές» μέσα στον εγκέφαλο (σχήμα 9 και σχήμα 10).

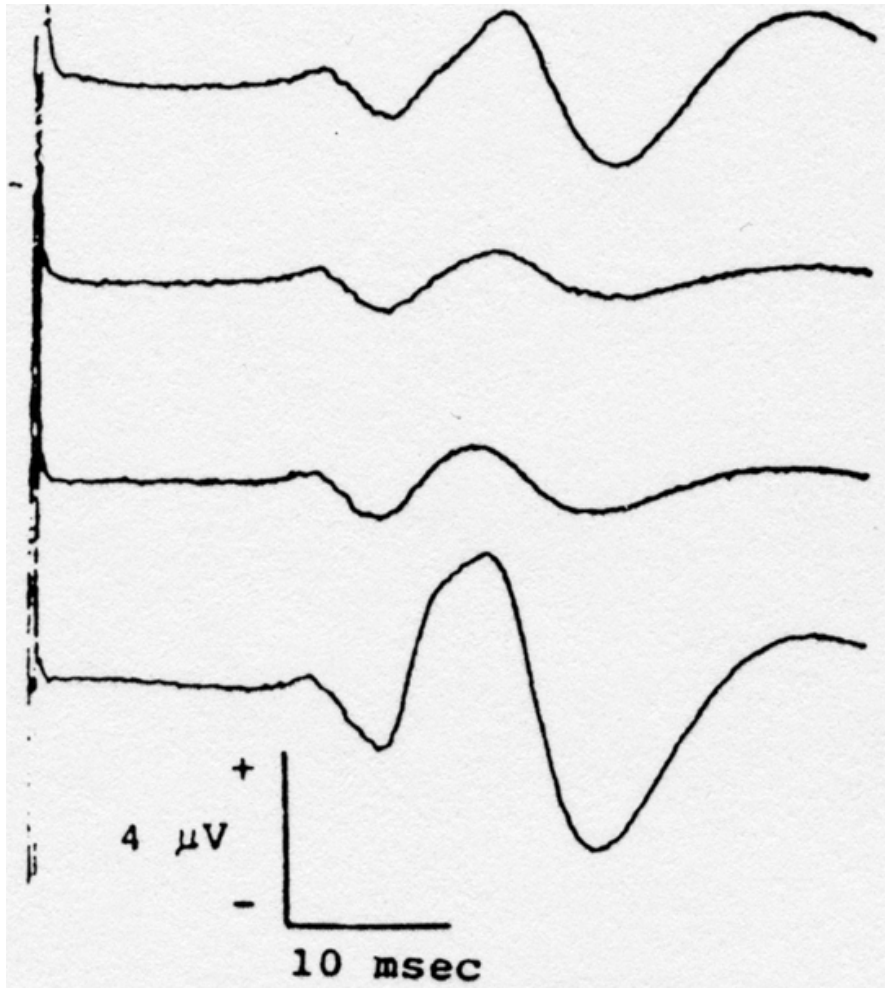
### **3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Τα θετικά και τα αρνητικά σημεία των ΠΔ έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και ισχύουν και για τα ΣΠΔ. Έτσι σε αυτή την παράγραφο προστίθενται κάποια εξίσου σημαντικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν μόνο τα ΣΠΔ.

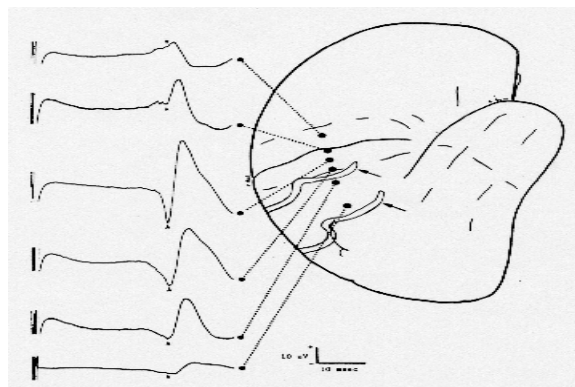
Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι τα ΣΠΔ καταγράφουν συνεχώς αισθητικά νευρολογικά μονοπάτια και κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης. Έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους ιδιαίτερα στην καταγραφή των μονοπατιών της ραχιαίας επιφάνειας της ΣΣ. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο πιθανής απόφραξης της κυκλοφορίας του αίματος ή ένας ασθενής βρίσκει τις αισθήσεις του πολύ πιο εύκολα μετά την διαδικασία.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση των ΣΠΔ περιορίζεται επειδή ενώ τα ηλεκτρόδια είναι συνδεδεμένα με την λειτουργία της ΣΣ, δεν αναγνωρίζουν πιθανές αλλαγές στα νευρολογικά, κινητικά μονοπάτια. Υπήρξαν περιπτώσεις στις οποίες τα ΚΠΔ έδειξαν αλλαγές, ενώ τα ΣΠΔ παρέμειναν αμετάβλητα. Ωστόσο υπάρχει ένδειξη ότι οι καταγραφές μπορεί να διακόπτονται από τα αναισθητικά ή την πίεση του αίματος. Για το λόγο αυτό τα ΣΠΔ απαιτούν εκπαιδευμένο προσωπικό για την ορθή τους χρήση.





Σχήμα 9: ΣΠΔ κάτω άκρων με καταγραφή των αποκρίσεων στον εγκέφαλο



Σχήμα 10: Πηγές παραγωγής ΣΠΔ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Τα ΣΠΔ, όπως προαναφέρθηκε, είναι μια διαγνωστική μέθοδος η οποία μας επιτρέπει να εντοπίζουμε βλάβες του ΚΝΣ και του ΠΝΣ. Η εφαρμογή τους είναι εύκολη και δεν προκαλεί πόνο ή δερματικούς ερεθισμούς στους ασθενείς. Η συμβολή τους στη φυσικοθεραπεία είναι αρκετά σημαντική, αφού ουσιαστικά είναι η αντικειμενική εκτίμηση της πορείας των ασθενών. Μέσα από την καταγραφή των ΣΠΔ μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη της πορείας μιας πάθησης ή της υγείας των ασθενών. Βέβαια, μια τέτοια καταγραφή, εκτελείται σε ειδικά διαγνωστικά κέντρα και από προσωπικό που είναι ειδικά εκπαιδευμένο – φυσίατροι και νευρολόγοι.

Η εφαρμογή της χειρουργικής τεχνολογίας ξεκίνησε το 1970 και συνεχίστηκε για την θεραπεία σοβαρών σπονδυλικών δυσμορφιών. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της ενδοχειρουργικής παρακολούθησης της ΣΣ με ορθοπεδικές σπονδυλικές εγχειρήσεις. Το 1972, ο Tamaki και συνεργάτες (2007) μετά από μια άμεση διέγερση με ΣΠΔ στην ΣΣ, ανακάλυψαν πόσο χρήσιμη είναι αυτή η μέθοδος και αποτέλεσαν το εναρκτήριο λάκτισμα για την εξέλιξη των ΠΔ σε αυτό τον τομέα. Ακολουθώντας τα βήματά τους, το 1980 η Merton και ο Morton διέγειραν μια εγκεφαλική περιοχή και κατάφεραν να παρακολουθήσουν το κινητικό μονοπάτι.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της μεγάλης ανάπτυξης του μηχανικού και του λογισμικού μέρους του Η/Υ, πραγματοποιήθηκαν ιδιαίτερες παρακολουθήσεις των κινητικών λειτουργιών. Επιπλέον, επειδή καμία μέθοδος από μόνη της δεν μπορεί να καλύψει επαρκώς τις πολύπλοκες λειτουργίες της ΣΣ, οι συνδυασμοί των διαθέσιμων τεχνολογιών θεωρούνται απαραίτητοι για την πρακτική και αποτελεσματική ενδοχειρουργική παρακολούθηση.

Ο Jου και συνεργάτες (2007) αξιολόγησαν τις ηλεκτροφυσιολογικές αλλαγές της κατάφυσης του μυός μετά από οσφυϊκή πεταλοτομή σε αρουραίους. Σκοπός της μελέτης ήταν να αποσαφηνίσουν τις άμεσες και μακροχρόνιες ηλεκτροφυσιολογικές και νευρολογικές απαντήσεις στην μεταπεταλοτομική ίνωση. Στα πειραματόζωα, μιμούμενοι αυτή την επιπλοκή, χρησιμοποίησαν πολλές προσεγγίσεις (προχωρημένες απεικονίσεις, λειτουργικές παρατηρήσεις, ιστολογικές εξετάσεις), οι οποίες ωστόσο, δεν ανέφεραν καμία αλλαγή. Οι αρουραίοι χειρουργήθηκαν, (εφαρμόστηκε μια αριστερή Ο5 ημιπεταλοτομή ή μια αριστερή Ο5 ημιπεταλοτομή μαζί με εξωσκληρίδιο τοπικό κολλαγόνο), και στη συνέχεια καταγράφηκαν τα ΣΠΔ των μικτών και δερματικών νεύρων στη θωρακοσφυϊκή συνένωση μετά από διαδερματική διέγερση του οπίσθιου κνημιαίου νεύρου αμφοτερόπλευρα στο μέσο της ποδοκνημικής και του Ο5 δερμοτόμιου αντίστοιχα. Οι καταγραφές στις χειρουργήσιμες και μη- χειρουργήσιμες πλευρές συγκρίθηκαν πριν και μετά το χειρουργείο και τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση του εύρους των μετεγχειρητικών ΣΠΔ των δερματικών νεύρων. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα ΣΠΔ είναι πολύτιμα για τον εντοπισμό των ηλεκτροφυσιολογικών αλλαγών μετά από πεταλοτομική ίνωση, αλλά η ακρίβεια απαιτεί σωστή διέγερση και σωστές τοποθεσίες καταγραφής.

Ο Titlic και συνεργάτες (2007) χρησιμοποιώντας ΣΠΔ, κλινικές εξετάσεις και Μαγνητική Τομογραφία (ΜΤ) κατάφεραν να διαγνώσουν μια φυματιώδη σπονδυλοδισκίτιδα, καθώς και να παρακολουθήσουν την ανάρρωσή της. Η σπονδυλοδισκίτιδα βρίσκεται στο Θ10-Θ11 θωρακικής ακανθώδους απόφυσης, σύμφωνα με την ΜΤ, και αναφέρονται μεσοπλάτιοι πόννοι στο ιστορικό. Τα ΣΠΔ εφαρμόστηκαν στο κνημιαίο νεύρο, όπου δεν παρατηρήθηκε κάποια ιδιαίτερη δυναμική αγωγιμότητα λόγω πάθησης της θωρακικής ακανθώδους απόφυσης. Επίσης καταγράφηκε παρατεταμένος λανθάνων χρόνος με μειωμένο εύρος της προκλητής απάντησης. Λόγω της φυματιώδους κατάστασης, χορηγήθηκαν αντιφυματιώδη θεραπευτικά φάρμακα και η αξιολόγηση της κατάστασης συνεχίστηκε με την χρήση ΣΠΔ μέχρι την πλήρη ανάρρωση.

Το 2003 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα (Leocani και συνεργάτες, 2003) με σκοπό την σύγκριση κλινικών ευρημάτων (με χρήση ΣΠΔ) με τα

ποσοτικά τεστ αισθητικότητας σε ασθενείς με ΣΚΠ. Οι αισθητικές διαταραχές είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα ευρήματα στη ΣΚΠ και συνήθως αξιολογούνται μόνο με μια συγκεκριμένη νευρολογική εξέταση. Στην έρευνα συμμετείχαν 19 ασθενείς με κλινικά διαγνωσμένη ΣΚΠ, όπου εξετάστηκε η αισθητικότητά τους με εφαρμογή της αίσθησης της δόνησης και της θερμοκρασίας, οι οποίες αποτελούν πιο αντικειμενική εκτίμηση. Κατά την κλινική εξέταση και την καταγραφή ΣΠΔ παρατηρήθηκαν αισθητικές διαταραχές και στα τέσσερα άκρα. Η συχνότητα των ανωμαλιών των κλινικών σημείων, της αίσθησης της δόνησης και των ΣΠΔ ήταν 69%, 33% και 55% αντίστοιχα. Η σχέση μεταξύ του βαθμού της ανωμαλίας των ΣΠΔ και της κλινικής αξιολογήσιμης αίσθησης της δόνησης ήταν στατιστικά σημαντική, όπως επίσης και μεταξύ των ΣΠΔ και της αντίληψης της αίσθησης της δόνησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η κλινική αξιολόγηση της αίσθησης του θερμού παρουσίασε ψευδή αρνητικά αποτελέσματα (35%). Επίσης η συνδυασμένη χρήση της αίσθησης της δόνησης και της εφαρμογής των ΣΠΔ επιτρέπουν μια καλύτερη αντικειμενική εκτίμηση της αισθητικής λειτουργίας, εντοπίζουν τις κλινικές ανωμαλίες και πιθανόν μειώνουν τις μετρήσεις των ψευδών θετικών αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν κατά την κλινική αξιολόγηση. Τέλος, τα ποσοτικά αισθητικά τεστ τείνουν να προτιμηθούν στην κλινική αξιολόγηση στην εκτίμηση της αίσθησης του θερμού εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας τους.

Η χρησιμότητα των ΣΠΔ στην αξιολόγηση των αισθητικών και κινητικών μονοπατιών στην ΣΚΠ επιβεβαιώνεται και σε μια ακόμη μελέτη (Leocani και συνεργάτες, 2006). Σκοπός της ήταν η εξέταση της χρησιμότητας των ΣΠΔ στην εκτίμηση της σοβαρότητας της πάθησης και σαν προγνωστικός παράγοντας στην ΣΚΠ. Στην έρευνα συμμετείχαν 84 ασθενείς με κλινικά διαγνωσμένη ΣΚΠ οι οποίοι αξιολογήθηκαν με βάση την κλίμακα εκτεταμένης ανικανότητας (Expanded Disability Status Scale- EDSS) για 30 περίπου μήνες. Αισθητικά και κινητικά ΠΔ εφαρμόστηκαν σε όλους τους ασθενείς, 64 των οποίων αξιολογήθηκαν με συμβατική βαθμολογία. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας έδειξαν ότι η EDSS συσχετίστηκε σημαντικά με τις μετρήσεις των ΠΔ καθώς και ότι οι μετρήσεις των ΣΠΔ συσχετίστηκαν σημαντικά με τις αλλαγές του αισθητικού λειτουργικού συστήματος. Τέλος, τα ΠΔ είναι καλός προγνωστικός παράγοντας όσον

αφορά τη σοβαρότητα της καταστροφής των νεύρων στη ΣΚΠ και την εξέλιξη της ανικανότητας.

Οι Hamada και συνεργάτες (2007), ερεύνησαν τις αισθητικές αλλαγές του φλοιού στη μυϊκή ατροφία της ετερόπλευρης σκλήρυνσης και μελέτησαν τα ΣΠΔ και τα δυναμικά των υψηλόσυχων παλμών τους. Στην έρευνα συμμετείχαν 15 υγιείς εθελοντές και 26 παθολογικοί ασθενείς, οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες σύμφωνα με το επίπεδο αδυναμίας του βραχύ εκτείνοντα τον αντίχειρα. Εφαρμόστηκαν ΣΠΔ στο μέσο νεύρο και καταγράφηκαν μερικές κορυφώσεις των παλμών. Ο λανθάνων χρόνος και το εύρος των κύριων και παλμικών συστατικών των ΣΠΔ συγκρίθηκαν ανάμεσα στους υγιείς εθελοντές και στις ομάδες των ασθενών. Η πρώιμη απάντηση του φλοιού είχε μεγαλύτερη διάρκεια στην ομάδα με τη μέτρια αδυναμία ενώ ήταν εξασθενημένη στην ομάδα με τη σοβαρή αδυναμία. Δεν σημειώθηκαν διαφορές στα μεγέθη των παλμών στα ΣΠΔ ανάμεσα στους ασθενείς και στους υγιείς. Ένα επιπλέον αποτέλεσμα αυτής της έρευνας ήταν ότι η κεντρική αισθητική διεξαγωγή χρόνου και η διάρκεια της κορύφωσης παλμού ήταν παρατεταμένα παρά τους φυσιολογικούς λανθάνοντες χρόνους.

Πραγματοποιήθηκε μια άλλη έρευνα από τους Jones και συνεργάτες (2007) για τη δυναμική χρησιμότητα στη κλινική αξιολόγηση των ΣΠΔ σε 600 ασθενείς με δυστονία και μυόκλωνο. Τα ΣΠΔ που εφαρμόστηκαν στο μέσο νεύρο κατέδειξαν ότι εκτός από τις περιπτώσεις του μυόκλωνου δεν υπήρχε καθαρή σχέση στην διάρκεια κορυφώσεων των παλμών. Το συμπέρασμα της έρευνας έδειξε ότι η καταγραφή των ΣΠΔ σε τέτοιες καταστάσεις μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εύρημα, βοηθώντας στον εντοπισμό διαταραγμένης αισθητικοκινητικής ολοκλήρωσης.

Ο Trotsenburg και συνεργάτες (2006) προσπάθησαν να αποσαφηνίσουν εάν η θεραπεία με θυροξίνη θα μπορούσε να βελτιώσει την αγωγιμότητα του νεύρου σε βρέφη με σύνδρομο Down. Στα νεογνά χορηγήθηκε θυροξίνη ή θεραπεία με εικονικό φάρμακο (placebo) για δυο χρόνια. Οι ημερήσιες δόσεις θυροξίνης ήταν ρυθμισμένες ώστε να διατηρήσουν τα επίπεδα θυροτροπίνης- πλάσματος και τις συγκεντρώσεις ελεύθερης θυροξίνης σε φυσιολογικό εύρος και στη συνέχεια καταγράφηκαν τα ΣΠΔ σε βρέφη 24 μηνών (81 νεογνά με θεραπεία θυροξίνης και 84 νεογνά με θεραπεία placebo). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η

ταχύτητα αγωγιμότητας του μέσου νεύρου και ο χρόνος κεντρικής αγωγιμότητας δεν ήταν σημαντικά διαφορετικός ανάμεσα στα δυο γκρουπ θεραπείας (στην ταχύτητα νευρικής αγωγιμότητας υπήρχε μια διαφορά της τάξεως του 0.9 m/s και στον χρόνο κεντρικής αγωγιμότητας 0.1 msec). Με βάση τα παραπάνω οι ερευνητές συμπέραναν ότι η μετεμβρυϊκή-μεταγεννητική θεραπεία με θυροξίνη σε βρέφη με σύνδρομο Down δεν άλλαξε τις καταγραφές των ΣΠΔ. Παρόλα αυτά όμως παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση στη νευρική αγωγιμότητα σε μετεμβρυϊκό υποθυροειδισμό.

Στην έρευνα που διεξήγε ο Slater και συνεργάτες (2006), καταγράφηκαν απαντήσεις πόνου στο σωματοαισθητικό φλοιό νηπίων. Πιο συγκεκριμένα, στην μελέτη αυτή εξετάστηκαν 18 νήπια 25 -45 εβδομάδων. Τα νήπια αυτά χωρίστηκαν σε δύο ομάδες (9 νήπια που κοιμόντουσαν και 9 νήπια που δεν κοιμόντουσαν) και δέχτηκαν ένα “αιχμηρό” ερέθισμα στην πτέρνα. Η διέγερση αυτή παρήγαγε μια ξεκάθαρη απάντηση του φλοιού, που μετρήθηκε σαν αύξηση στο σύνολο της συγκέντρωσης αιμοσφαιρίνης στον αντίπλευρο σωματοαισθητικό φλοιό. Χρησιμοποιήθηκαν φασματοσκόπια σε αληθινό χρόνο για την μέτρηση των απαντήσεων, οι οποίες ήταν σημαντικά σπουδαιότερες στα νήπια που δεν κοιμόντουσαν συγκριτικά με αυτά που κοιμόντουσαν (με μια διαφορά των 6,63 micromol/L). Στα νήπια που δεν κοιμόντουσαν η απάντηση του αντίπλευρου σωματοαισθητικού φλοιού αυξήθηκε με την ηλικία ενώ ο λανθάνων χρόνος μειώθηκε με την ηλικία. Έτσι το συμπέρασμα που προέκυψε έδειξε ότι οι βλαβερές πληροφορίες μεταφέρθηκαν στον φλοιό των νηπίων από την ηλικία των 25 εβδομάδων και καταγράφηκε η διαδικασία υψηλού επιπέδου πόνου που προκλήθηκε από την πλαστικότητα στον ανθρώπινο εγκέφαλο σε μια τόσο πολύ μικρή ηλικία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Schmidt και συνεργάτες (2007), με σκοπό την αξιολόγηση των ΣΠΔ και τα ενδοδερμικά ΠΔ του πόνου κατά την επήρεια αναισθησίας. Στην μελέτη αυτή συμμετείχαν 10 υγιείς άντρες, οι οποίοι εξετάστηκαν σε ένα διπλό τυφλό διαγώνιο σχέδιο κατά τη διάρκεια τριών περιόδων με χορήγηση ρεμιφεντανόλης, προποφόλης και εικονικού φαρμάκου. Όλες οι δοσολογίες αυξήθηκαν σταδιακά. Οι καταγραφές των ΣΠΔ και των ενδοδερματικών ΣΠΔ εκτελέστηκαν ακολουθούμενες από υποκειμενικά ποσοστά πόνου και από τη μέτρηση του επιπέδου του

ηρεμιστικού. Οι αλλαγές στα συστατικά των ΠΔ από τα αρχικά στάδια, τα ποσοστά του πόνου και την κλίμακα ηρεμιστικού, αξιολογήθηκαν από τις δοκιμασίες Bonterroni-Holms-corrected Wilcoxon. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ΣΠΔ επηρεάζονται σημαντικά από την χορήγηση αναισθησιογόνων ουσιών. Πιο συγκεκριμένα τα ποσοστά του πόνου ήταν σημαντικά μειωμένα από την ρεμιφεντανόλη και από την προποφόλη. Τα πρώιμα συστατικά των ΣΠΔ δεν επηρεάστηκαν από την φαρμακευτική αγωγή. Τα εύρη από τα μακριά συστατικά των ΣΠΔ αυξήθηκαν σημαντικά με την ρεμιφεντανόλη, μειώθηκαν με την προποφόλη και έμειναν σταθερά με το εικονικό φάρμακο.

Το 2006 ο Klodowska-Duda και συνεργάτες, συγκέντρωσαν κάποιες κλινοπαθολογικές σκέψεις με κύριο θέμα την φλοιοβασική εκφύλιση. Πρόκειται για μια σπάνια σποραδική 4- επαναλαμβανόμενη αυτοάνοση πάθηση, με δύσκολη θεραπευτική εξέλιξη. Για την διάγνωση αυτής της πάθησης χρησιμοποιήθηκε μαγνητική τομογραφία, ΣΠΔ και γενική νευροπαθολογική εξέταση σε έναν ασθενή 63 χρονών. Η μαγνητική έδειξε την παρουσία ασύμμετρης ατροφίας του φλοιού αντίπλευρα στην κλινικά περισσότερο επηρεασμένη δεξιά πλευρά. Τα ΣΠΔ έδειξαν αμφοτερόπλευρα σημαντική μείωση των ΠΔ που εφαρμόστηκαν στον φλοιό στο εύρος που κατέγραψαν τα ηλεκτρόδια από το αριστερό μέρος του κρανίου. Η νευροπαθολογική εξέταση έδειξε ατροφία στο φλοιό του μετωπιαίου και βρεγματικού λοβού με τεχνητή σηραγγίτιδα και διάχυτη φλοιϊκή γλοιομάτωση. Πολλοί διογκωμένοι νευράξονες βρέθηκαν στον μετωπιαίο και βρεγματικό φλοιό. Η πιο αξιοσημείωτη παθολογία ήταν η εκτεταμένη αυτοάνοση αντίδραση αντιγόνου-αντισώματος από τη νευρογλοιακή και νευροαξονική κυτταρική επεξεργασία. Σημαντικά αναφέρθηκε στον μετωποκροταφικό λοβό, τα βασικά γάγγλια, το θάλαμο και το εγκεφαλικό στέλεχος. Πρόσφατες ερευνητικές μελέτες κατέληξαν σε καλύτερο κλινικό και γενετικό χαρακτηρισμό των σποραδικών αυτοάνοσων νοσημάτων.

Μια πρόσφατη μελέτη (Restuccia και συνεργάτες, 2007), υποστηρίζει την άποψη ότι η συνεισφορά της παρεγκεφαλίδας στην αισθητική διαδικασία δεν περιορίζεται από την κινητική συμπεριφορά του ατόμου. Μια προηγούμενη εργασία (Restuccia D, Valeriani M, Barda C, Le Pera D, Capecci M, Filippini V, Molinary M. Functional changes of the primary somatosensory cortex in patients with unilateral cerebellar lesions. Brain

2001;124:757-68) έδειξε ότι οι σωματοαισθητικές επιρροές της παραγκεφαλίδας εισάγουν διεργασίες σε πολύ πρώιμα στάδια. Σκοπός της παρούσας μελέτης αποτελεί η εξέταση για το αν συμβαίνει ανάλογη επιρροή στα υψηλότερα επίπεδα. Η επιρροή της παρεγκεφαλίδας στην διαδικασία των εισαγόμενων σωματοαισθητικών ερεθισμάτων αξιολογήθηκε πρώτα με την ηλεκτρική διέγερση των δακτύλων. Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσαν 8 υγιείς εθελοντές, στους οποίους αναλύθηκαν οι απαντήσεις του κρανίου κατά τη διάρκεια συχνής και σπάνιας ηλεκτρικής διέγερσης του πρώτου και του πέμπτου δακτύλου αντίστοιχα. Η επιβεβαίωση ότι οι απαντήσεις στο ερέθισμα οφείλονταν στις αλλαγές των μηχανισμών εντοπισμού, αναλύθηκαν ξεχωριστά οι απαντήσεις σε σπάνια ερεθίσματα. Οι απαντήσεις που ήταν συνδεδεμένες με τις αλλαγές στους μηχανισμούς εντοπισμού, ονομάστηκαν σωματοαισθητική μη ταιριαστή αρνητικότητα. Όταν όμως η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε σε 6 ασθενείς μετά από ερέθισμα στο επηρεασμένο ημισφαίριο της παρεγκεφαλίδας, βρέθηκε ότι η σωματοαισθητική μη ταιριαστή αρνητικότητα καταγράφηκε με ανωμαλίες. Κλείνοντας, η αξιοπιστία της καταγεγραμμένης σωματοαισθητικής μη ταιριαστής αρνητικότητας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παρεγκεφαλιδική ζημιά μπορεί να ελαττωθεί κατά τη φλοιϊκή διεργασία των εισαγόμενων σωματοαισθητικών ερεθισμάτων.

Την ίδια χρονιά πραγματοποιήθηκε μια έρευνα από τους Kitagawa και συνεργάτες (2007) με σκοπό την αξιολόγηση της τοπογραφικής διανομής των ΣΠΔ στην υποθαλαμική περιοχή. Ο καθορισμός αυτής της διανομής μπορεί να οδηγήσει στη διέγερση του εν τω βάθει εγκεφάλου (Deep Brain Stimulation- DBS). Τα ενδοχειρουργήσιμα ΣΠΔ εφαρμόστηκαν σε 41 ασθενείς, οι τρεις εκ των οποίων εμφάνιζαν βασικό τρόμο και οι 38 έπασχαν από τη νόσο του Πάρκινσον. Όλοι οι ασθενείς υποβλήθηκαν σε εμφύτευση των ηλεκτροδίων DBS με σκοπό την ανακούφιση των συμπτωμάτων τους. Από την καταγραφή των ΣΠΔ ξεχώρισαν δυο ευδιάκριτα δυναμικά στην υποθαλαμική περιοχή. Το πρώτο περιλάμβανε μια μονοφασική θετική συχνότητα με λανθάνων χρόνο  $15.8 \pm 0.9$  msec, που οι ερευνητές σχεδίασαν υποθαλαμικό P16. Το δεύτερο είναι ένα θετικό-αρνητικό ΣΠΔ που καταγράφηκε μέσα σε όλη την υποθαλαμική περιοχή. Ο λανθάνων χρόνος της αρχικής θετικής και της μείζον αρνητικής κορυφής βρέθηκε ότι είναι  $13.6 \pm 1.1$  msec, αντίστοιχα. Μερικές μικρές εντομές είχαν υπερεπιβληθεί στις



κορυφές και τα εύρη τους ήταν μεγαλύτερα στην επαφή κοντά στον μέσο λημνίσκο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ενδοχειρουργήσιμα ΣΠΔ σε συνδυασμό με τα ηλεκτρόδια DBS βοηθούν στη βελτίωση των στερεοτακτικών στόχων στις περιοχές του θαλάμου και του υποθαλάμου.

Ο Taday και συνεργάτες (2006), έκαναν μια μελέτη με αντικείμενο την συλλογή ποσοτικών στοιχείων από την πρόκληση μαγνητικών δυναμικών που ακολουθούν μόνο μια κατεύθυνση στα περιφερικά νεύρα των ανθρώπων. Η διέγερση προκλήθηκε σε μια ομάδα ανθρώπων, όπου ένα μαγνητικό σπείραμα βρέθηκε στο άνω άκρο και σωματικά αποτελέσματα συνδέθηκαν με τη δημιουργία μιας ενεργοποίησης δυναμικών μόνο μιας κατεύθυνσης. Τα συμπεράσματα των ερευνητών αυτών έδειξαν ότι τα σχετικά εύρη του ΗΜΓ και τα σημάδια των ΣΠΔ άλλαξαν αντίθετα, όταν η πρόσφατη κατεύθυνση στο μαγνητικό σπείραμα αντιστράφηκε. Το αποτέλεσμα ήταν μόνιμο με την πρόσφατη κατεύθυνση στο σπείραμα που σχετίζεται με το άνω άκρο. Έτσι το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η μαγνητική διέγερση σε κινητικές και αισθητικές ίνες δείχνει ότι μπορεί να προκληθεί ενεργοποίηση δυναμικών μιας μόνο κατεύθυνσης στις περιφερικές νευρικές ίνες που περιέχουν μυελίνη.

Οι Hirata και συνεργάτες (2006) διεξήγαγαν μια έρευνα in vivo, η οποία κατέγραψε τις μακροχρόνιες αλλαγές στις θαλαμοφλοιώδεις συνάψεις. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι ένα θ-ερέθισμα ξεσπάσματος στον θάλαμο, προκαλεί μια μακροχρόνια ενίσχυση στις απαντήσεις του δυναμικού πεδίου που προκλήθηκαν στο νεοχιτώνιο (οι τέσσερις εγκεφαλικοί λοβοί) ενήλικων τρωκτικών. Επειδή ο θάλαμος και το νεοχιτώνιο αποτελούν ένα περίπλοκο ενδοεπικοινωνιακό δίκτυο, είναι πολύ πιθανόν ένα ερέθισμα στον θάλαμο να αντανakλούσε στο νεοχιτώνιο. Παρατηρήθηκε ότι όταν ο θάλαμος ήταν ανενεργός απουσίαζε η θαλαμοφλοιώδη μακροχρόνια ενίσχυση. Καταγραφές από τα θαλαμοφλοιώδη κύτταρα αποκάλυψαν ότι το θ-ερέθισμα ξεσπάσματος προκαλεί σημαντική μείωση στην εκτέλεση λειτουργιών των θαλαμοφλοιωδών κυττάρων και αυθόρμητα ενισχύει τα αποτελέσματα στο θαλαμοφλοιώδες μονοπάτι γιατί αποκαλύπτει το τονικό εντύπωμα της θαλαμοφλοιώδους σύνδεσης, που προκλήθηκε από την θαλαμοφλοιώδη δραστηριότητα. Επειδή οι αλλαγές αυτές προκλήθηκαν από την

φλοιοθαλαμική δραστηριότητα, μπορεί να αποτελέσουν έναν μηχανισμό για την κεντρομόλα εισαγωγή αισθητικών δεδομένων στο νεοχιτώνιο.

Οι μελέτες που πραγματοποίησαν ο Achouh και συνεργάτες (2007), απέδειξαν πόσο χρήσιμα είναι τα ΣΠΔ στην κατιούσα θωρακική και θωρακοκοιλιακή αορτική επέμβαση. Η μελέτη έγινε σε 444 ασθενείς ηλικίας 68 χρόνων (270 με θωρακοκοιλιακή αορτή και 174 σε κατιούσα θωρακική αορτή). Αναλύθηκαν μόνο οι αλλαγές που προέρχονται από τους σπονδύλους. Οι αλλαγές ταξινομήθηκαν ως :

- 1) καμία αλλαγή
- 2) παροδικές αλλαγές που επιστρέφουν στα αρχικά στάδια μετά το τέλος της διαδικασίας.
- 3) μόνιμες αλλαγές που δεν επιστρέφουν στα αρχικά στάδια μετά το τέλος της διαδικασίας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν αλλαγές των ΣΠΔ σε 87 ασθενείς, 22 των οποίων δεν επέστρεψαν στα αρχικά στάδια. Άμεσο νευρολογικό έλλειμμα παρουσιάστηκε σε 8 από τους 444 ασθενείς. Επίσης παρουσιάστηκαν 5 ελλείμματα σε ασθενείς με αλλαγές των ΣΠΔ, τα οποία συγκρίθηκαν με ασθενείς που παρουσίασαν 3 ελλείμματα, στους οποίους δεν συνέβησαν αλλαγές.

Οι αλλαγές των ΣΠΔ επίσης συσχετίστηκαν με μηνιαία θνησιμότητα και χαμηλό ποσοστό σπειραματικής διήθησης. Το συμπέρασμα που απορρέει από αυτή την έρευνα είναι ότι η παρακολούθηση των ενδοχειρουργήσιμων ΣΠΔ ήταν αξιόπιστη στον αποκλεισμό πιθανού σπονδυλικού τραυματισμού στην κατιούσα θωρακική και θωρακοκοιλιακή αορτική επέμβαση. Παρόλα αυτά παρουσίασαν χαμηλή ευαισθησία. Τέλος, η αλλαγή στις καταγραφές των σπονδυλικών ΣΠΔ ήταν ένας ανεξάρτητος παράγοντας πρόληψης της θνησιμότητας και συσχετίστηκε με χαμηλό προεγχειρητικό ποσοστό σπειραματικής διήθησης.

Οι Tierra και συνεργάτες (2006) ερεύνησαν την ταλάντωση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας η οποία έχει σχετιστεί με την αισθητική και αντιληπτική λειτουργία. Στόχος ήταν να ερευνήσουν την χαμηλή συχνότητα των ταλαντώσεων (<300 Hz), συγκεκριμένα με μια γάμμα ζώνη (30-110 Hz), κατά τη διάρκεια διέγερσης της κνήμης. Σε 29 εθελοντές εφαρμόστηκε ερέθισμα συχνότητας 5 Hz με παλμό ρεύματος 0.2 msec

συνεχές. Η ελάχιστη ένταση του ερεθίσματος προκάλεσε λεία νευρική σύσπαση. ΗΕΓ κανάλια και συνεχή ερεθίσματα καταγράφηκαν από πρωτογενή σωματοαισθητική περιοχή. Η ανάλυση της συχνότητας του χρόνου ήταν ένδειξη για ψευδή ευρήματα των ΣΠΔ σε συχνότητες άνω των 5 ms μετά τη διέγερση. Οι ταλαντώσεις άνω των 100 Hz παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες για τα ΣΠΔ. Ωστόσο, όσον αφορά τη μορφολογία των ΣΠΔ της κνήμης, το εύρος αναγνωρίστηκε στα 30-58 Hz.

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, και από τις έρευνες που αναφέρθηκαν παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι τα ΣΠΔ είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στο χώρο της νευρολογίας καθώς και κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικών επεμβάσεων του νωτιαίου μυελού ή και ορθοπεδικών επεμβάσεων, ώστε να αναγνωριστούν έγκαιρα και να αποφευχθούν μόνιμες βλάβες κατά την διάρκεια της επέμβασης.

# **ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### 5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

#### α. Ιδιότητες θορύβου και κατάσταση του εξεταζόμενου

Ο βιοηλεκτρικός θόρυβος μπορεί να επιδράσει στην δυνατότητα μέτρησης, τον χρόνο της εξέτασης, στην ακρίβεια και τον προσδιορισμό των παραμέτρων. Για τα ΣΠΔ που καταγράφονται στην κορυφή του κεφαλιού το κύριο πρόβλημα είναι η ηλεκτρομυϊκή δραστηριότητα της οποίας η ενέργεια είναι κυρίως μεταξύ των 50 και 250 Hz κάτι που μπορεί ισχυρά να επικαλύψει το φάσμα καταγραφής των ΣΠΔ των πρώτων msec. Το πρόβλημα αυτό για να αντιμετωπιστεί απαιτεί και την συνεργασία του εξεταζόμενου κάτι που και να συμβαίνει μπορεί να διατηρεί τον θόρυβο υψηλό αποκλείοντας την εξέταση. Συχνά έτσι καταφεύγει κανείς και στην γενική αναισθησία αφού και στον φυσιολογικό ύπνο ο θόρυβος τέτοιου είδους παραμένει. Ο ύπνος και η αναισθησία δεν επηρεάζουν τα ΣΠΔ. .

Τα Υ.Ε.ΣΠΔ δυναμικά επηρεάζονται λιγότερο από τον παραπάνω θόρυβο, αφού το φάσμα τους είναι μεταξύ του 1 και των 15 Hz. Εδώ έτσι παραμένει μόνο ο θόρυβος από τα προβλήματα επαφής των ηλεκτροδίων που προκαλούν χαμηλής συχνότητας θόρυβο. Έντονο πρόβλημα μπορεί να παρουσιαστεί όμως από τους ρυθμούς του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (8-13 Hz), που μπορεί να εισέλθουν στην καταγραφόμενη απόκριση. Δραστική μείωση σε ανεκτά όρια επιτυγχάνεται με την οπτική προσοχή του εξεταζόμενου η οποία συμπιέζει τους ρυθμούς αυτούς. Η επίδραση του ύπνου και της αναισθησίας εδώ κάνει τα δυναμικά αυτά μη αποδεκτά σε ευρεία κλίμακα. Η προσοχή επιδρά ευεργετικά στα φλοιϊκά ΣΠΔ αλλά όχι στα στελεχιαία αυξάνοντας τα πλάτη των δυναμικών. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δυναμικά αυτά δεν είναι πλήρως εξωγενή αλλά εξαρτώνται κατά πολύ από την κατάσταση του εξεταζόμενου.

## β. Ηλικία

Η ηλικία αλλά και το φύλο έχει παρατηρηθεί να προκαλούν μεταβολές στις παραμέτρους των ΣΠΔ μόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί:

1. Παράγονται αρκετά ψηλά στη νευρική οδό για να εκφράσουν νευρολογικές διαφορές,
2. Είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε λεπτές μεταβολές όγκου και εξέλιξης αξιοσημείωτων νευρικών γεγονότων και
3. Σε πιο κεντρικές περιοχές εμφανίζονται κυρίως εσωτερικές μεταβολές (υψηλών νοητικών διαδικασιών) από ότι στα ΣΠΔ.

Η επίδραση της ηλικίας μπορεί να χωριστεί σε αποτελέσματα ωρίμανσης σε μικρά παιδιά και εκφύλισης σε ηλικιωμένους. Εκτεταμένα δεδομένα τέτοιων αλλοιώσεων συμβαίνουν μέχρι την ηλικία των 2 ετών με επίδραση στην μορφολογία, το πλάτος και τον χρόνο. Πιθανολογείται ότι αποτελούν μακροσκοπικές εικόνες εξελίξεων όπως η σταδιακή εμμύεωση των κεντρικών νευρικών οδών και η εξέλιξη λειτουργίας του ΚΝΣ. Οι αποκρίσεις του στελέχους είναι πιο αργές στα μικρά παιδιά από ότι στα νεογέννητα. Στους εξεταζόμενους μεγάλης ηλικίας υπάρχει μια αύξηση του λανθάνοντος χρόνου λόγω των εκφυλίσεων που λαμβάνουν χώρα, αλλά πρέπει να δίνεται πάντα προσοχή ακόμη και στην επίδραση της συχνής ημιπληγίας στις ηλικίες αυτές.



**Εικόνα 5:** Διαδικασία καταγραφής των Σωματοαισθητικών Προκλητών Δυναμικών

#### **γ. Φύλο**

Οι επιδράσεις του φύλου αναφέρονται συχνά στα κύματα N1 και N2 αλλά και στις διακυματικές διαφορές. Είναι μάλιστα μεγαλύτερες των 0,2 msec. Οι αιτίες δεν είναι σαφείς αλλά οι ερμηνείες που δίνονται έχουν σχέση με νευρολογικές διαφορές όπως το μήκος των οδών, τη διάμετρο των νεύρων, τον αριθμό και την οργάνωσή τους. Οι διαφορές αυτές είναι συχνά μικρές μα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στην νευρολογική χρήση κυρίως των ΣΠΔ για την αποφυγή σφαλμάτων. Τα στοιχεία για τα φλοιϊκά ΣΠΔ είναι ελλιπή στον τομέα αυτό χωρίς αυτό φυσικά να σημαίνει ότι και εδώ δεν μπορεί να υπάρχουν διαφορές.

#### **δ. Θερμοκρασία**

Τα αργά κυρίως κύματα επηρεάζονται από τις υψηλές κυρίως θερμοκρασίες ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν παράταση στους λανθάνοντες χρόνους. Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός αυτό στα νεογέννητα, σε ασθενείς σε κώμα ή με τοξική επίδραση και κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικής παρακολούθησης. Στη κλινική ρουτίνα προβλήματα αποκλίσεων λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας είναι μάλλον σπάνια.

#### **ε. Μορφομετρικές διαφορές**

Από ιδιαίτερα πρόσφατες μελέτες έχει εκτιμηθεί όπως και σε όλα τα ΠΔ ότι οι ανθρωπομετρικές διαφορές (δηλαδή οι ανατομικές διαφορές πχ το ύψος, το μέγεθος του κεφαλιού κλπ) μεταξύ των διαφόρων εξεταζομένων επιφέρουν διασπορά στις παραμέτρους των ΣΠΔ. Το μέγεθος – κλειδί εδώ είναι η ακτίνα του κεφαλιού η οποία είναι ανάλογη και με εσωτερικές διαφορές στα μήκη των νευρικών οδών. Αρχικά στις διαφορές αυτές αποδόθηκαν και οι παραπάνω επιδράσεις του φύλου. Όμως κατάλληλες έρευνες με τη βοήθεια ακτινοδιαγνωστικών μεθόδων, έχουν αναδείξει την ακτίνα του κεφαλιού ανάλογη του μήκους του στελέχους και γενικά της οδού να επιδρά στη μετατόπιση των λανθανόντων χρόνων προς μεγαλύτερες τιμές, αφού είχαν

αποκλιστεί κατάλληλα διαφορές λόγω φύλου. Η εκτίμηση των αποκλίσεων αυτών είναι πολύ σοβαρή στην περίπτωση που εξετάζονται μικρά παιδιά των οποίων τα μορφομετρικά μεγέθη κατέχουν την πρώτη θέση μεταξύ των υπολοίπων παραγόντων διασποράς στον φυσιολογικό πληθυσμό.

### **στ. Νευρολογικές ανωμαλίες**

Πριν γίνει κάθε καταγραφή πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι όταν ο κλινικός στόχος είναι η νευρική αγωγή, νευρολογικοί παράγοντες μπορεί να δράσουν σαν πηγές σύγχυσης και διασποράς και αντιστρόφως, όταν ο στόχος είναι ο νευρολογικός έλεγχος, απώλεια στην αισθητικότητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ερμηνείας και εκτίμησης των παραμέτρων. Έτσι είναι απαραίτητη η συνεχής επαγρύπνηση με στόχο τον έλεγχο και την συνεκτίμηση όλων των παραγόντων αποκλίσεων των παραμέτρων.

## **5.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

### **ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

#### **A. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ**

Όλοι οι παραπάνω τεχνικοί παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην καταγραφή των ΣΠΔ προκαλούν, όπως ήδη τονίστηκε, διασπορά στις τιμές των παραμέτρων ανάμεσα στον φυσιολογικό πληθυσμό. Έτσι, η τυπική απόκλιση από την μέση φυσιολογική τιμή κάθε παραμέτρου είναι σχετικά μεγάλη με αποτέλεσμα η ευαισθησία της μεθόδου να είναι μικρή. Αυτό συμβαίνει γιατί παθολογίες που πιθανόν να προκαλούν αποκλίσεις δεν είναι δυνατόν να ανιχνευτούν μιας και η απόκλιση των φυσιολογικών τιμών θα τις υπερκαλύπτει. Το αυστηρό πρωτόκολλο είναι η πιο ουσιαστική δυνατότητα περιορισμού των τεχνικών παραγόντων διασποράς. Πιο ειδικά, ορίζεται από την αρχή της διαδικασίας των καταγραφών των ΣΠΔ η θέση των ηλεκτροδίων, το είδος της διέγερσης, οι παράμετροι διέγερσης, οι παράμετροι καταγραφής, ο αριθμός καταγραφών, η κατάσταση εξεταζομένου, ένα όσο το



δυνατόν χαμηλότερο όριο στην αντίσταση των ηλεκτροδίων με το δέρμα αλλά και η μέθοδος αναγνώρισης της μορφολογίας και εκτίμησης των παραμέτρων. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει αναλυτικά (ενδεικτικά) ένα κλασσικό πρωτόκολλο καταγραφής ΣΠΔ (εικόνα 7).

### **ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ**

#### **ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ**

ΔΙΕΓΕΡΣΗ : τετραγωνική

ΔΙΑΡΚΕΙΑ : 0,1 msec

ΕΝΤΑΣΗ : 6,9 mA

ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΤΗΤΑ : 1 Hertz

ΦΙΛΤΡΑ : ΝΑΙ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ : 200

ΧΡΟΝΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ : 100 msec

ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΘΟΡΥΒΟΥ : ΝΑΙ

Οι βιολογικοί παράγοντες αποκλίσεων έτσι όπως παρουσιάστηκαν, μπορούν να περιοριστούν με την σωστή ομαδοποίηση του φυσιολογικού δείγματος. Είναι απαραίτητο για κάθε μέθοδο, όπως έχει τονιστεί, οι συγκρίσεις κάθε καταγραφής να γίνονται σε σχέση με την μέση τιμή των παραμέτρων ενός φυσιολογικού δείγματος το οποίο έχει οργανωθεί από την έναρξη των καταγραφών (εικόνα 8). Πιο ειδικά, επιλέγονται άτομα με κανένα νευρολογικό πρόβλημα και εξετάζονται με ΣΠΔ. Οι τιμές των παραμέτρων που καταγράφονται ορίζουν την μέση φυσιολογική τιμή αλλά και την τυπική απόκλιση. Τιμές παραμέτρων που θα αποκλίνουν από την φυσιολογική τιμή πέρα από δυο τυπικές αποκλίσεις θεωρούνται παθολογικές.

Οι συστηματικές αυτές αποκλίσεις, οι οποίες σύμφωνα με τα παραπάνω οφείλονται σε βιολογικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στην εκτίμηση αυτή. Έτσι κάθε φορά δημιουργείται η ανάγκη να δημιουργείται φυσιολογικά δείγματα καθορισμένων ομάδων ανάλογα με την ηλικία και με το φύλο. Με τον τρόπο αυτό παράμετροι κάποιου εξεταζόμενου θα συγκρίνονται με τιμές φυσιολογικού δείγματος το οποίο αποτελείται από άτομα αυτής ηλικίας και

φύλου. Η θερμοκρασία είναι πολύ εύκολο να ελεγχθεί με την επιδίωξη συγκεκριμένων συνθηκών στο χώρο εξέτασης αλλά και τον κλινικό έλεγχο του εξεταζόμενου, ο οποίος είναι αναγκαίο να διενεργείται κάθε φορά πριν γίνει η καταγραφή των ΣΠΑ. Στον έλεγχο αυτό μπορεί να αποκαλυφθεί και οποιοδήποτε άλλο νευρολογικό ή ορθοπεδικό πρόβλημα που μπορεί να υπάρχει έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν στην τελική εκτίμηση των ΣΠΑ. Έτσι μπορεί να αποφύγει κανείς τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η ηλικία, το φύλο, η θερμοκρασία και τα τυχόν νευρολογικά ή και ορθοπεδικά προβλήματα του εξεταζόμενου αλλά παραμένουν οι αποκλίσεις λόγω ανθρωπομετρικών διαφορών.



Εικόνα 6: Κλινικό σύστημα καταγραφής και ανάλυσης ΣΠΑ

## **B. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

Η παραπέρα βελτίωση ευαισθησίας αυτής της μεθόδου μπορεί να γίνει με την στατιστική επεξεργασία των τιμών των παραμέτρων στο φυσιολογικό δείγμα λαμβάνοντας υπόψιν και τις ανθρωπομετρικές διαφορές. Έρευνες που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα προσπαθούν να συσχετίσουν τις τιμές των παραμέτρων με το ύψος των εξεταζομένων. Η συσχέτιση είναι ισχυρή μα όχι απαραίτητα γραμμική όπως αυτή συνήθως παρουσιάζεται. Έτσι, όταν καταγράφονται ΣΠΔ από άτομα με μεγάλο ύψος οι λανθάνοντες χρόνοι παρουσιάζονται φυσιολογικά παρατεταμένοι και τα πλάτη των κορυφών συμπιεσμένα. Η ερμηνεία που δίνεται βασίζεται στο μεγαλύτερο μήκος της αισθητικής νευρικής οδού στα άτομα αυτά, και στην μεγαλύτερη απόσταση των πηγών των δυναμικών από τα ηλεκτρόδια καταγραφής στην επιφάνεια του κεφαλιού.

Οι τακτικές που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν να περιορίσουν σε μεγάλο βαθμό την τυπική απόκλιση των φυσιολογικών τιμών των παραμέτρων και να αυξήσουν δραματικά την ευαισθησία της μεθόδου. Η προσέγγιση αυτής, που έχει μέχρι σήμερα επιχειρηθεί είναι καθαρά “φαινομενολογική” παρόλες τις προσπάθειες ερμηνείας των αποτελεσμάτων των συσχετίσεων. Πιο ειδικά σημειώνονται οι σχέσεις με διάφορους παράγοντες, οι οποίες αναδεικνύονται από την στατιστική έρευνα, χωρίς συχνά να λαμβάνεται υπόψιν το υπόστρωμα αλλά και το είδος της συσχέτισης που θεωρείται αυθαίρετα γραμμικό (εικόνα 9). Κεντρικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι να επιχειρηθεί η ανάλυση των παραμέτρων των ΣΠΔ βασισμένη στο νευροανατομικό υπόστρωμα του νευρικού κυρίως αισθητικού συστήματος και τους νόμους του Ηλεκτρομαγνητισμού που διέπουν την παραγωγή των δυναμικών στην επιφάνεια του κεφαλιού όταν το ηχητικό ερέθισμα με την μορφή ηλεκτρικών ώσεων μεταφέρεται μέσα από την οδό κεντρικότερα από τον φλοιό του εγκεφάλου. Για τον λόγο αυτό και με βάση τα νευροφυσιολογικά και τεχνικά δεδομένα σχεδιάστηκε, υπολογίστηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο για την ερμηνεία της παραγωγής του τελικού ηλεκτρικού σήματος όπως αυτό καταγράφεται στην επιφάνεια. Οι παράμετροι και οι μεταβλητές του μοντέλου είναι αυτές που μπορούν να δώσουν την εξάρτηση ή όχι των ΣΠΔ από παράγοντες

διασποράς, οι οποίοι ήδη έχουν περιγραφεί, αλλά και κυρίως την μορφή αυτής της σχέσης.



Εικόνα 7. Συσχέτιση καταγραφών ΣΠΔ και επεξεργασία παραμέτρων

### 5.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΟΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

#### Γενικά

Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν είναι γνωστοί οι περιορισμοί που έχουν τα ΣΠΔ όσον αφορά την νευρολογική τους χρήση. Πιο ειδικά, με την βοήθεια των μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων όχι μόνο δεν είναι δυνατή η αναγνώριση μιας βλάβης στην αισθητική οδό, μα

ούτε και ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης και της έκτασής της, στοιχεία ιδιαίτερα χρήσιμα για την παραπέρα αντιμετώπισή της.

### **A. Εντοπισμός βλαβών στην νευρική οδό με τα ΣΠΔ**

Για παράδειγμα η εικόνα ενός μικρού νευρινώματος στην κυματομορφή των ΣΠΔ είναι η φυσιολογική έμφαση ενός κύματος (πχ N1) και η πιθανή ακόμη παράταση του λανθάνοντος χρόνου των κυμάτων N1 και N2 καθώς και P1 και P2. Ένα μενιγγίωμα ή η Κατά Πλάκας Σκλήρυνση είναι δυνατόν να έχουν την ίδια εικόνα. Είναι δηλαδή πιο ακριβής και σωστή η χρήση του προσδιορισμού μιας τέτοιας απόκλισης σαν να προέρχεται από κάποια “νευρολογική βλάβη” παρά σαν από «νευρίνωμα», «εξωτερική πίεση της νευρικής οδού από κάταγμα» κλπ. Από την άλλη πλευρά έχουν εντοπιστεί αλλοιώσεις στη μορφολογία αλλά και αποκλίσεις στις παραμέτρους σε ένα μεγάλο αριθμό βλαβών κατά μήκος του περιφερικού αλλά κυρίως και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Επιπλέον, δεν υπάρχει ξεκάθαρη διαπιστωμένη σχέση μεταξύ μεγέθους της απόκλισης στις παραμέτρους των ΣΠΔ και της έκτασης του πιθανού όγκου. Η πληροφορία αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία αφού η πρόγνωση, ή η εξέλιξη της βλάβης εξαρτάται από πολλά χαρακτηριστικά της όπως η θέση, το σχήμα, οι ιδιαίτερες επιδράσεις στην αγωγή της νευρικής οδού και την τροφοδοσία σε αίμα.

### **B. Δυνατότητες βελτίωσης της ειδικότητας**

Όπως έχει τονιστεί, τα ΣΠΔ είναι πολύ χρήσιμα στον εντοπισμό βλαβών του κεντρικού συστήματος. Τέτοιες βλάβες δεν είναι μόνο οι χωροκατακτητικές, αλλά και οι απομυελινωτικές, οι αγγειακές και οι εκφυλιστικές (Brodal). Αν και μια επιλεκτική πτώση της νευρικής αγωγής πχ. στις υψηλές συχνότητες οφείλεται συνήθως σε εξωτερική πίεση της νευρικής οδού ή μπορεί κάλλιστα να είναι αποτέλεσμα βλάβης ψηλότερα μέσα στην νευρική οδό και στον εγκέφαλο. Έχουν βρεθεί χαρακτηριστικές αλλοιώσεις στις ζώνες των υψηλών συχνοτήτων των πυρήνων, οφειλόμενες σε βλάβες νευραξόνων του εγκεφάλου. Η πιο πιθανή αιτία εδώ είναι η υψηλότερη

ταχύτητα μεταβολισμού στις ίνες αυτές. Βλάβες κεντρικότερες του νεύρου δίνουν συνήθως πολύ ασθενή κλινικά συμπτώματα.

Απαραίτητο είναι, μετά την ευαισθησία, να αναβαθμιστεί και η ειδικότητα της μεθόδου για την διαφορική της χρήση στην διάγνωση ορισμένων παθήσεων. Από τις μέχρι τώρα ανατομικές έρευνες είναι γνωστή η χωροταξική οργάνωση της περιφερικής σωματοαισθητικής οδού. Σύμφωνα με την θεωρία του Bekesy και τις μικροηλεκτρονικές καταγραφές κάθε τμήμα του νεύρου αποκρίνεται και σε διαφορετική συχνότητα με τις αντίστοιχες ίνες να άγουν και συγκεκριμένες συχνότητες. Αντίστοιχα και οι παρεμβαλλόμενοι πυρήνες της οδού αποτελούν πιστή απεικόνιση της κατανομής του. Ομάδες συχνότητων ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές (γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό) και ενεργοποιούν συγκεκριμένα τμήματα κάθε πυρήνα καθώς το ερέθισμα κατευθύνεται κεντρικότερα.

Με βάση την εικόνα 8, ενισχύεται η τοποθέτηση ότι τα κύματα που θα αποτελούν την τελική καταγραφή των ΣΠΔ δεν θα προέρχονται κάθε ένα μόνο από έναν πυρήνα αλλά από περισσότερους ταυτόχρονα ενεργούς, λόγω διαφορετικών συχνότητων. Με τον τρόπο αυτό είναι μάλιστα δυνατόν να εξηγηθούν ευρήματα πολύ-εστιακά όπως συμβαίνει στις αποκλίσεις των παραμέτρων σε νόσους όπως η ΣΚΠ. Μια μοντελοποίηση με βάση την παραδοχή αυτή (των πολλαπλών ενεργών πυρήνων και διαδρομών) είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον επιλεκτικό έλεγχο της νευρικής οδού κατά τμήματα ή ομάδες ινών, με στόχο την αποκάλυψη της ταυτότητας ή της έκτασης διάφορων παθολογιών που προκαλούν αποκλίσεις στις παραμέτρους των ΣΠΔ.



**Εικόνα 8:** Τοποθέτηση ηλεκτροδίου στο κνημιαίο νεύρο για την σωστή διέγερσή του

## 5.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΠΔ

### 5.4.1 ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΕΦΑΛΙΟΥ (ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ)

#### α. Πλάτος δυναμικού



**Εικόνα 9:** Συσκευή που ρυθμίζει την ένταση του ερεθίσματος

Στο ίδιο άτομο οι διαφορές στα πλάτη βρέθηκε να μην εξαρτώνται από το αν η διέγερση παρέχεται στο δεξί ή στο αριστερό πόδι (εικόνα 8, και εικόνα 9). Ο πίνακας 1 περιέχει τα πλάτη των κυμάτων (αριστερή κνήμη), για όλους τους εξεταζόμενους σε σχέση με το ύψος τους. Τα πλάτη παρουσίασαν μια μεγάλη διασπορά γύρω από την μέση τιμή, από 3,8  $\mu\text{V}$  έως και 5.60  $\mu\text{V}$ , ενώ η το ύψος όπως εκτιμήθηκε κάθε φορά κυμαίνεται από 165 έως 176 cm. Είναι φανερό ότι τα πλάτη δυναμικού μειώνονται καθώς αυξάνει η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων καθώς και η επιλεγμένη θέση της γείωσης – ηλεκτροδίου αναφοράς (εικόνα 10, και εικόνα 11). Για την συσχέτιση αυτών των δυο έχουν χρησιμοποιηθεί γραμμικές συναρτήσεις συσχέτισης (διάγραμμα 1 – 4). Εμείς αποφύγαμε να το κάνουμε αυτό αφού δεν υπάρχει καμία θεωρητική στήριξη μιας τέτοιας προσέγγισης. Αντίθετα τα πειραματικά δεδομένα συσχετίστηκαν με μία συνάρτηση της μορφής:



$$y = a + b X \quad (1)$$

θεωρώντας τις πηγές δυναμικού στο στέλεχος σαν διπολικές. Έτσι το αναμενόμενο πλάτος δυναμικού  $y$  για ένα άτομο με ύψος ίσο με ύψος  $X$  μπορεί να υπολογισθεί με την παραπάνω εξίσωση.



**Εικόνα 10:** Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο κέντρο του κρανίου και στον μετωπιαίο λοβό για την καταγραφή των ερεθισμάτων των ΣΠΔ

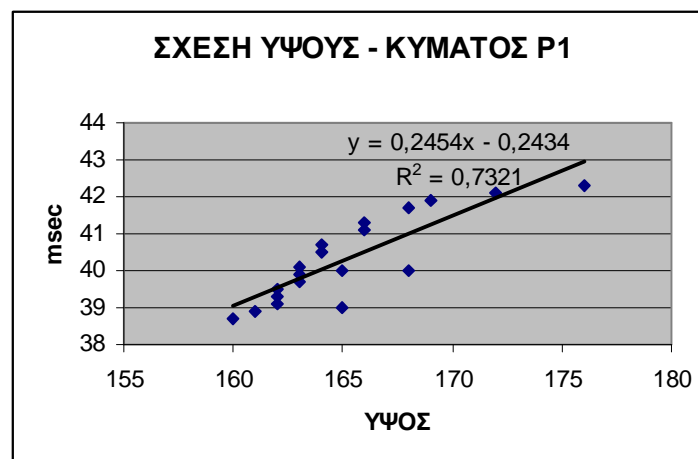


**Εικόνα 11:** Τοποθέτηση ηλεκτροδίου για γείωση και καλύτερη καταγραφή των ερεθισμάτων

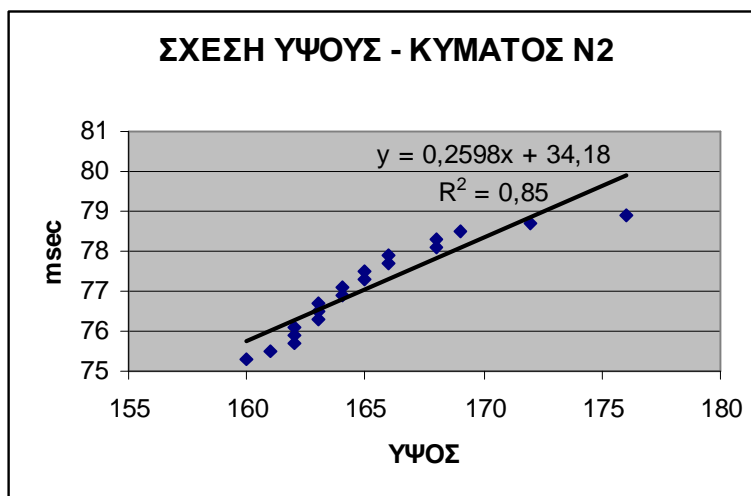


**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΛΑΘΑΝΟΝΤΕΣ ΧΡΟΝΟΙ ΚΑΙ ΠΛΑΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΚΥΜΑΤΑ N1,N2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ**

ΥΨΟΣ	P1	P2	N1	N2	Πλάτος Δυναμικού
cm	msec				μV
176	42,3	68	46	78,9	3,8
172	42,1	67,8	45,9	78,7	4,1
169	41,9	67,6	45,8	78,5	4,0
168	41,7	68	45,7	78,3	4,1
168	40	67,2	45,6	78,1	4,0
166	41,3	67	45,5	77,9	4,3
166	41,1	66,8	45,4	77,7	4,1
165	40	66,6	45,3	77,5	4,5
165	39	66,4	45,2	77,3	4,9
164	40,5	66,2	45,1	77,1	4,7
164	40,7	66	45	76,9	4,8
163	40,1	65,8	44,9	76,7	4,9
163	39,9	66,1	44,8	76,5	5,0
163	39,7	65,4	44,7	76,3	5,1
162	39,5	65,2	44,6	76,1	5,0
162	39,3	65,0	44,5	75,9	5,3
162	39,1	64,8	44,4	75,7	5,4
161	38,9	63,9	44,3	75,5	5,5
160	38,7	64,4	44,2	75,3	5,6



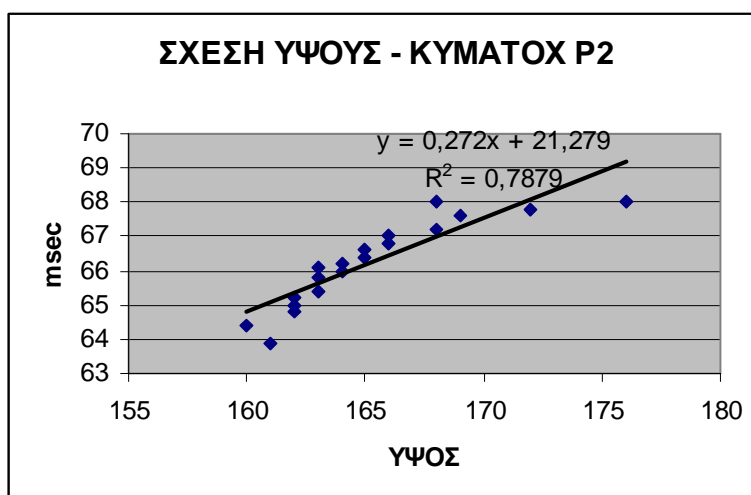
**Διάγραμμα 1**



**Διάγραμμα 2**

**β. Λανθάνων χρόνος**

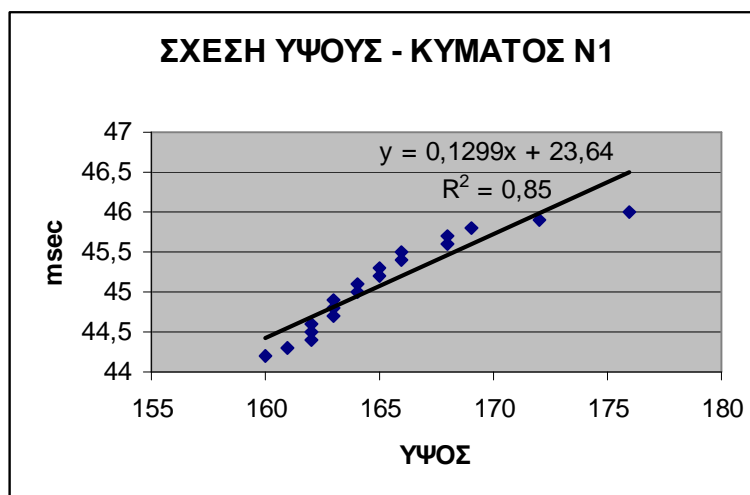
Ο πίνακας 1 περιέχει επίσης τους λανθάνοντες χρόνους της πέμπτης κορυφής (N1) των ΣΠΔ. Η μέση τιμή του δείγματος ήταν 45.1 msec με τυπική απόκλιση 0.7 msec. Τα σημεία στο διάγραμμα (διάγραμμα 1-4) παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά μα σαφή ένδειξη ότι ο λανθάνων χρόνος αυξάνεται όταν το ύψος αυξάνει. Βασιζόμενοι στη μοντελοποίηση που ήδη έχει παρουσιαστεί χρησιμοποιήθηκε γραμμική συνάρτηση συσχέτισης της μορφής



**Διάγραμμα 3**

$$L_v = a + b R \quad (2)$$

Η καλύτερη δυνατή προσαρμογή πραγματοποιήθηκε για  $a= 1.12$  και  $b=23.64$  με συντελεστή συσχέτισης  $r= 0.85$  (διάγραμμα 4). Η κανονικοποίηση των λανθανόντων χρόνων με βάση ένα τυπικό μέγεθος κεφαλής πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τα ίδια βήματα όπως και στα πλάτη δυναμικού. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τις κανονικοποιημένες τελικές τιμές των λανθανόντων χρόνων των εξεταζομένων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη. Και εδώ παρουσιάζεται σημαντική μείωση της τιμής της τυπικής απόκλισης (0.12 msec) σε σχέση με την τυπική απόκλιση των αρχικών πραγματικών τιμών (0.17 msec). Τα αποτελέσματά μας είναι συμβατά με την εξίσωση που έχει χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση των χρόνων των ΣΠΔ. Έτσι τα ολικά δυναμικά ενέργειας κινούνται μέσα στην νευρική οδό με μια μέση ταχύτητα 30 m/sec. Η μέση συναπτική καθυστέρηση είναι τουλάχιστον 23,64 msec. Τελικά η εξίσωση για τον λανθάνοντα χρόνο του κύματος N1 γίνεται:



Διάγραμμα 4

$$L_v = 23,64 + 0,13(1,60) + KR / 30 \quad (3)$$

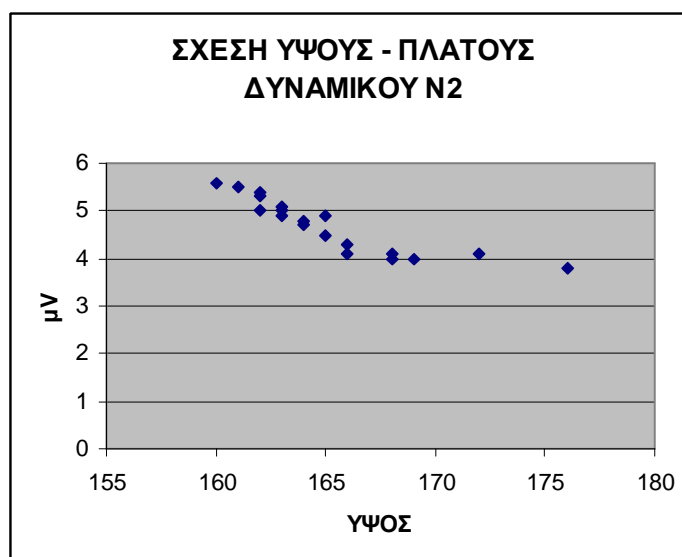
Τα πλάτη δυναμικού της κορυφής N2 παρουσιάζουν επίσης μεγάλη διασπορά (πίνακας 2). Και εδώ έγινε προσαρμογή των τιμών του πλάτους με

για συνάρτηση της ίδιας μορφής (1) θεωρώντας τις πηγές δυναμικού μέσα στο στέλεχος διπολικού (διάγραμμα 5).

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις μπορούμε να έχουμε τις νέες τιμές στις μετρημένες παραμέτρους.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΛΑΘΑΝΟΝΤΕΣ ΧΡΟΝΟΙ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ**

ΥΨΟΣ	P1	P2	N1	N2
cm	Msec			
176	43,76	68,82	46,48	79,94
172	42,76	67,74	45,96	78,9
169	42,01	66,93	45,57	78,12
168	41,76	66,66	45,44	77,86
168	41,76	66,66	45,44	77,86
166	41,26	66,12	45,18	77,34
166	41,26	66,12	45,18	77,34
165	41,01	65,85	45,05	77,08
165	41,01	65,85	45,05	77,08
164	40,76	65,58	44,92	76,82
164	40,76	65,58	44,92	76,82
163	40,51	65,31	44,79	76,56
163	40,51	65,31	44,79	76,56
163	40,51	65,31	44,79	76,56
162	40,26	65,04	44,66	76,30
162	40,26	65,04	44,66	75,30
162	40,26	65,04	44,66	76,30
161	40,01	64,77	44,53	76,04
160	39,76	64,5	44,4	75,78



**Διάγραμμα 5**

Συνολικά λοιπόν μπορούμε να δούμε:

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ**

**ΤΙΜΩΝ**

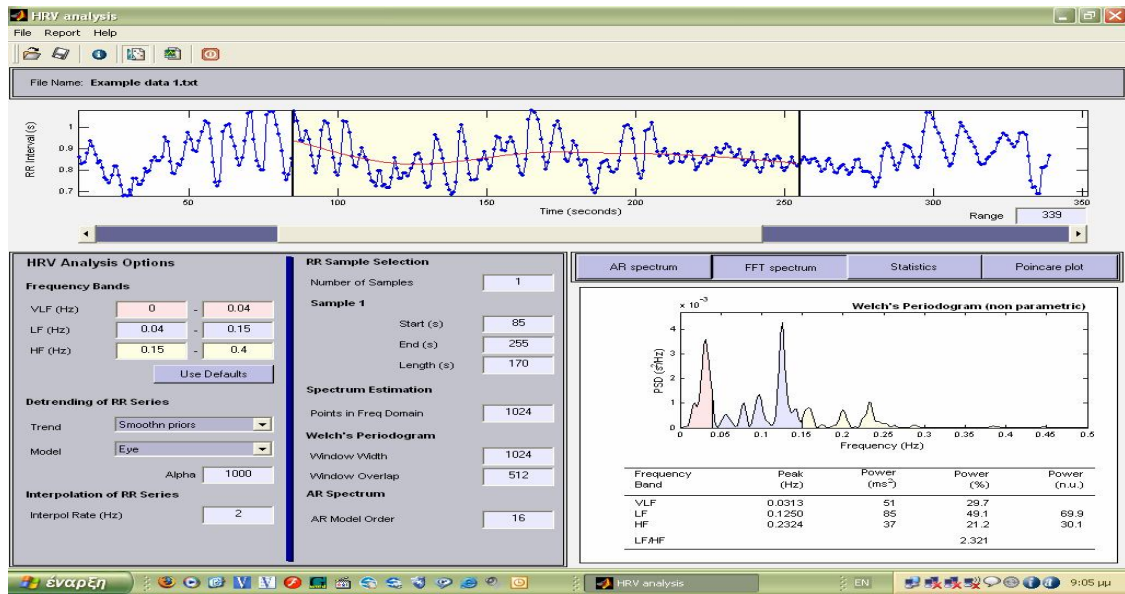
	ΥΨΟΣ	P1	P2	N1	N2	Πλάτος Δυναμικού
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	165,2	40,3	66,2	45,1	77,1	4,7
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,0	1,3	1,4	0,70	1,3	0,6

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ**

**ΤΙΜΩΝ**

	ΥΨΟΣ	P1	P2	N1	N2
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	165,2	41,1	65,9	45,1	77,1
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,0	1,0	1,1	0,5	1,0

Με βάση τα παραπάνω η μείωση στην τιμή της τυπικής απόκλισης των κανονικοποιημένων τιμών είναι σαφής με αποτέλεσμα την αύξηση της ευαισθησίας και τελικά της διαγνωστικής αξίας της μεθόδου στη βάση των ανθρωπομετρικών διαφορών. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι για παραπέρα ανάλυση και ανάδειξη χαρακτηριστικών των καταγεγραμμένων ΣΠΔ μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένα προγράμματα σε Η/Υ τα οποία ξεφεύγουν από του στόχους της παρούσας εργασίας (εικόνα 14).



Εικόνα 14: Πρόγραμμα επεξεργασίας βιοσημάτων σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή

### ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προκλητά δυναμικά (ΠΔ) είναι φλοιϊκά δυναμικά του νευρικού συστήματος με εκλεκτική αποκοπή και σταθερό λανθάνοντα χρόνο και εκλύονται μετά από διέγερση των οπτικών, ακουστικών ή σωματοαισθητικών κεντρομόλων οδών. Η αύξηση του λανθάνοντα χρόνου αυτών των δυναμικών υποσημαίνει βλάβη στη συγκεκριμένη οδό που εξετάζεται, αλλά είναι μη ειδική. Από ιδιαίτερα πρόσφατες μελέτες έχει εκτιμηθεί όπως και σε όλα τα ΠΔ ότι οι ανθρωπομετρικές διαφορές (δηλαδή οι ανατομικές διαφορές πχ το ύψος, το μέγεθος του κεφαλιού κλπ) μεταξύ των διαφόρων εξεταζομένων επιφέρουν διασπορά στις παραμέτρους των ΣΠΔ. Το μέγεθος – κλειδί εδώ είναι το ύψος του εξεταζομένου που είναι ανάλογο και με εσωτερικές διαφορές στα μήκη των νευρικών οδών. Αρχικά στις διαφορές αυτές αποδόθηκαν και οι παραπάνω επιδράσεις του φύλου. Όμως κατάλληλες έρευνες με τη βοήθεια ακτινοδιαγνωστικών μεθόδων, έχουν αναδείξει το ύψος του σώματος ανάλογο του μήκους της οδού, να επιδρά στη μετατόπιση των λανθανόντων χρόνων προς μεγαλύτερες τιμές, αφού είχαν αποκλειστεί κατάλληλα διαφορές λόγω φύλου.

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε 20 φυσιολογικά άτομα, νεαρής ηλικίας και ίδιου φύλου (κορίτσια) έτσι ώστε να επιτευχθεί η κανονικοποίηση των τιμών των παραμέτρων (των κυμάτων) που εκτιμώνται στα ΣΠΔ με στόχο την αύξηση της διαγνωστικής αξίας της εξέτασης. Αφού καταγράφηκε το ακριβές ύψος των εξεταζομένων συσχετίστηκαν στατιστικά οι τιμές που καταγράφηκαν με το ύψος και τελικά με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας η μείωση στην τιμή της τυπικής απόκλισης των κανονικοποιημένων τιμών είναι σαφής με αποτέλεσμα την αύξηση της ευαισθησίας και τελικά της διαγνωστικής αξίας της μεθόδου στη βάση των ανθρωπομετρικών διαφορών. Με τον ίδιο τρόπο αν ληφθούν υπόψη όλοι οι βιολογικοί παράγοντες διασποράς των τιμών των ΣΠΔ η μεθοδολογία

ανάλυσης της λειτουργικότητας του ΠΝΣ και του ΚΝΣ είναι ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο εργαλείο στην καθημερινή κλινική ρουτίνα.

Σε σχέση με την επιστήμη και την κλινική εφαρμογή της Φυσικοθεραπείας από το γενικό μέρος της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι μπορεί να συμπεριληφθεί η καταγραφή των ΣΠΔ στις διαγνωστικές εξετάσεις εκτίμησης της βλάβης αλλά και της παρακολούθησης της αποκατάστασης στις εξετάσεις πρώτης γραμμής.

Για τους παραπάνω λόγους οι Φυσιοθεραπευτές θα πρέπει να μελετήσουν και να εξοικειωθούν στην καταγραφή των ΣΠΔ.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **A. ΒΙΒΛΙΑ**

1. Αναγνωστοπούλου Ι. Σοφία, 2003, Νευροανατομία, εκδ. Παρισιάνος, Αθήνα, σελ 34
2. Δρ. Γιόφτσος, Μυστίδης Ισαάκ, 2005, Φυσικοθεραπευτική Αξιολόγηση, ΤΕΙ Λαμίας, σελ 159
3. Καλφάκης Αλ. Νικόλαος, 2002, Νευρολογία, εκδ. Παρισιάνος, Αθήνα σελ 33-35
4. Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος, 1993, Φυσικομαθηματικό μοντέλο συσχέτισης νευροανατομικού υποστρώματος και απόκρισης ακουστικών προκλητών δυναμικών, Διδακτορική διατριβή, Πάτρα
5. Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος, 2002, Τεχνολογία στις επιστήμες υγείας και Πρόνοιας, εκδ. “ ΕΛΛΗΝ” , Αθήνα, σελ 65
6. Πρώιμος Βασίλης, 2005, Ιατρική Φυσική, τόμος 2 Ηλεκτρισμός, εκδ Παν/μίου Πατρών
7. Σκουλαρίκης Σ. Γρηγόρης, 2006, Μελέτη της Συνδεσιμότητας περιοχών του εγκεφάλου με εφαρμογή υπολογιστικών μεθόδων και δεδομένα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, σελ 37-38, 42-43
8. Τομαρα Β., 2001, Εγχειρίδιο Νευρολογίας, Ιατρικές εκδ. Λίτσας, Αθήνα, σελ 9-10
9. Φραγκοράπτης Δ. Ελευθ., 2002, Φ/θ σε βλάβες του ΠΝΣ, εκδ. Γεωργακίδου Θεσ/νίκη, σελ 3-5
10. Harrison, 2001, Εσωτερική Παθολογία- Συνοδό Εγχειρίδιο, εκδ. Παρισιάνου, Αθήνα, σελ 1040-1041
11. Robert, Matthew Levy, 1996, Φυσιολογία του εγκεφάλου και του ΝΣ, εκδ

## ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

### B. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ

1. Achouh PE, Estera AL, Miller CC 3rd, Azizzadeh A, Irani A, Wegryn TL, Safi HJ, 2007 Sep, Role of Somatosensory Evoked Potentials in predicting outcome during thoracoabdominal aortic repair, *Ann Thorac Surg*, 84 (3): 782 – 787
2. Hamada M, Hanajima R, Terao Y, Sato F, Ocano T, Yuasa K, Furybayashi T, Okabe S, Arai N, Ugawa Y, 2007 Apr, Median nerve somatosensory evoked potentials and their high-frequency oscillations in amyotrophic lateral sclerosis, *Clin Neurophysiol*, 118 (4), 877 – 886
3. Hirata A, Castro – Alamancos MA, 2006 Apr, Relief of synaptic depression produces long-term enhancement in thalamocortical networks, *J Neurophysiol*, 95 (4): 2479 – 2491
4. Jou IM, Tai TW, Tsai CL, Tsai TM, Yung WS, Jung YC, 2007 Sep, Spinal somatosensory evoked potential to evaluate neurophysiologic changes associated with postlaminotomy fibrosis; an experimental study, *Spine*, 32 (19): 2111 – 2118
5. Kitagawa M, Mirata J, Uesugi H, Hanagima R, Ugawa Y, Saito H, 2007 Sep, Characteristics and distribution of somatosensory evoked potentials in the subthalamic region, *J Neurosurg*, 107 (3): 548 - 554
6. Klodowska – Duda G, Slowinski J, Opala G, Gorzkowska A, Jasinska – Myga B, Wszolek ZK, Dickson DW, 2006, Corticobasal degeneration – clinico-pathological considerations, *Folia Neuropathol*, 44 (4): 257 – 264
7. Leocani L, Martinelli V, Natali – Sora MG, Rovaris M, Comi G, 2003 Jun, Somatosensory evoked potentials and sensory involvement in multiple sclerosis: comparison with clinical findings and quantitative sensory tests, *Mult Scler*, 9 (3): 257 – 259
8. Leocani L, Rovaris M, Boneschi FM, Medaglini S, Rossi P, Martinelli V, Amadio S, Comi G, 2006 Sep, Multimodal evoked potentials to assess the evolution of multiple sclerosis: a longitudinal study, *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 77 (9): 1030 – 1035

9. Ng K, Jones S, 2007 Jan, The “enhanced N35” somatosensory evoked potential: its associations and potential utility in the clinical evaluation of dystonia and myoclonus, *J Neurol*, 254 (1): 46 – 52
10. Restuccia D, Della Marca G, Valeriani M, Leggio MG, Molinary M, 2007 Jan, Cerebellar damage impairs detection of somatosensory input changes. A somatosensory mismatch – negativity study, *Brain*, 130 (Pt 1): 276 - 287
11. Schmidt GN, Scharein E, Siegel M, Muller J, Debener S, Nitzschke R, Engel A, Bischoff P, 2007 Apr, Identification of sensory blockade by somatosensory and pain – induced evoked potential, *Anesthesiology*, 106 (4): 707 – 714
12. Slater R, Cantarella A, Gallella S, Worley A, Boyd S, Meek J, Fitzgerald M, 2006 Apr, Cortical pain responses in human infants, *J Neurosci*, 26 (14): 3662 – 3666
13. Tamaki T, Kubota S, 2007 Nov, History of the development of intraoperative spinal cord monitoring, *Eur Spine J*, 16 Suppl 2: S140 – 146
14. Tierra – Criollo CJ, Infantosi AF, 2006 Jun, Low – frequency oscillations in human tibial somatosensory evoked potentials, *Arq Neuropsiquiatr*, 64 (2B): 402 – 406
15. Titlic M, Isgum V, Buca A, Kolic K, Tonkic A, Jukic I, Milas I, 2007, Somatosensory evoked potentials and MRI in tuberculous spondylodiscitis, *Bratisl Lek Listy*, 108 (3): 153 – 157
16. van Trotsenburg AS, Smit BJ, Koelman JH, Dekker – van der Sloot M, Ridder JC, Tijssen JG, de Vijlder JJ, Vulsma T, 2006 Sep, Median nerve conduction velocity and central conduction time measured with somatosensory evoked potentials in thyroxine – treated infants with Down syndrome, *Pediatrics*, 118 (3): e 825 – 832
17. Taday EC, Olree KS, Horch KW, 2006 jul, Differential activation of nerve fibers with magnetic stimulation in humans, *BMC Neurosci*, 7: 58