

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑ-ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ
ΦΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΟΥΣΙΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΝΟΕΡΗΣ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΙΑΚΡΑΝΙΑΚΟΥ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΕΘΙΣΜΟΥ**

της
Καράκη Αικατερίνης

Μεταπτυχιακή διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την απόκτηση του μεταπτυχιακού τίτλου του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Άσκηση και Ποιότητα Ζωής» των Τμημάτων Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Παν/μίου Θράκης και του Παν/μίου Θεσσαλίας.

Κομοτηνή
2012

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

1^{ος} Επιβλέπων: Μιχαλοπούλου Μαρία, Αναπλ. Καθηγήτρια

2^{ος} Επιβλέπων: Παπαζάνθης Χαράλαμπος, Καθηγητής

3^{ος} Επιβλέπων: Μπάτσιου Σοφία, Επικ. Καθηγήτρια

13457/1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καράκη Αικατερίνη: Μελέτη της δια-ημισφαιρικής αναστολής του κινητικού φλοιού κατά τη διάρκεια εκούσιων κινήσεων και νοερής απεικόνισης της κίνησης με την εφαρμογή του

Διακρανιακού Μαγνητικού Ερεθισμού

(Με την επίβλεψη της κ. Μαρίας Μιχαλοπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια)

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη της δια-ημισφαιρικής αναστολής (ΔΗ-Α) του κινητικού φλοιού (ΚΦ) μέσω της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου ($O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$) και των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών (ΚΠΔ) κατά τη διάρκεια εκούσιων κινήσεων και της νοερής απεικόνισης τους με την εφαρμογή του διακρανιακού μαγνητικού ερεθισμού (ΔΜΕ). Στην έρευνα συμμετείχαν 12 υγιή δεξιόχειρα άτομα (9 άνδρες και 3 γυναίκες με Μ.Ο. ηλικίας 27,8 ετών). Σε όλα τα άτομα εφαρμόστηκε ΔΜΕ έντασης 120% στον αριστερό ΚΦ έτσι ώστε να παρουσιάζονται ΚΠΔ στον δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα. Το πείραμα αποτελούνταν από δύο συνθήκες και κάθε συνθήκη από τέσσερα στάδια. Η 1^η συνθήκη, όπου εφαρμόζονταν οι εκούσιες κινήσεις του δεξιού αντιθετικού μυ του αντίχειρα, περιλάμβανε την πλήρη χαλάρωση (I), ένωση αντίχειρα και δείκτη (II), ένωση αντίχειρα με τα υπόλοιπα δάχτυλα (III) ενώ το τελευταίο στάδιο (IV) περιλάμβανε τις κινήσεις του σταδίου III αλλά με διαφορετική σειρά. Η 2^η συνθήκη περιλάμβανε τα ίδια ακριβώς στάδια με τη διαφορά ότι εφαρμόζε νοερή απεικόνιση των παραπάνω κινήσεων, ενώ κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών το δείγμα εφαρμόζε μέγιστη ισομετρική σύσπαση του αριστερού αντιθετικού μυ του αντίχειρα. Από τα αποτελέσματα αποδείχθηκε ότι αυξάνεται η διάρκεια της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ και του εύρους των ΚΠΔ τόσο κατά τη εφαρμογή των εκούσιων κινήσεων όσο και κατά την νοερή απεικόνιση της κίνησης. Ακόμα, τα στάδια III και IV αποδείχθηκαν ότι επηρεάζουν στον ίδιο βαθμό την $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ και τα ΚΠΔ ενώ τα στάδια II, III και IV είχαν την ίδια επίδραση στα ΚΠΔ κατά τη διάρκεια εφαρμογής της νοερής απεικόνισης.

Λέξεις κλειδιά: ομόπλευρη σιωπηλή περίοδος, κινητικά προκαλούμενα δυναμικά, κινητικός έλεγχος

ABSTRACT

Karaki Aikaterini: Study of inter-hemispheric inhibition of the primary motor cortex during volitional motor activity and motor imagery with the use of transcranial magnetic stimulation

(Under the supervisor of Maria's Michalopoulou, Associate Professor)

The aim of this study was to assess the inter-hemispheric inhibition (IHI) of the primary motor cortex (M1) by measuring the duration of the ipsi-lateral silent period (ISP) and the amplitude of the motor evoked potentials (MEPs) with the use of transcranial magnetic stimulation (TMS) during volitional motor activity and motor imagery. In the study participated 12 right-handed healthy adults (9 men and 3 women mean age 27.8 years). In all participants the left M1 were stimulated with intensity 120% and recorded the MEPs on the right opponens pollicis. The experiment included two conditions and every condition four phases. In the 1st condition, where applied the volitional motor activity of the opponens pollicis, included the full relaxation (I), opposition movements between thumb and index (II), simple sequential movements between fingers (III) and complex sequential movements between fingers (IV). The 2nd condition included the same phases as in the 1st condition but with the difference that the participants mentally engaged the same exercises. Furthermore, during the 1st and 2nd condition all participants maintained maximum isometric contraction of the left opponens pollicis. The experiment showed that the duration of the ISP and the amplitude of the MEPs were larger during the volitional motor activity and motor imagery. Moreover, the phases III and IV proved that can modulate the ISP and MEPs in the same degree meanwhile the phases II, III and IV had the same effect on MEPs during motor imagery.

Key-words: ipsi-lateral silent period, motor evoked potentials, motor control

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	viii
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Σημασία της έρευνας.....	2
Σκοπός.....	3
Υποθέσεις.....	3
Περιορισμοί.....	5
Λειτουργικοί ορισμοί.....	5
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	7
Ανατομία του νευρικού κυττάρου.....	7
Συνάψεις νευρικών κυττάρων.....	7
Δυναμικό ηρεμίας, εκπόλωση και επαναπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης.....	8
Νευροδιαβιβαστές.....	9
Κινητικός φλοιός.....	10
Διακρανιακός μαγνητικός ερεθισμός.....	11
Επιδράσεις του διακρανιακού μαγνητικού ερεθισμού στον κινητικό φλοιό.....	13
Ενδοφλοιική αναστολή και διευκόλυνση.....	16
Συνάψεις μεταξύ των δύο κινητικών φλοιών.....	17
Αναστολή, διευκόλυνση και άσκηση.....	20
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	24
Δείγμα.....	24
Χώρος διεξαγωγής της έρευνας.....	24
Περιγραφή οργάνων.....	24
Προετοιμασία πριν την πειραματική διαδικασία.....	25

Για τον ηλεκτρομυογράφο.....	25
Για τον διακρανιακό μαγνητικό ερεθισμό.....	25
Πειραματική διαδικασία.....	25
Θέση του δείγματος.....	25
Εντολές.....	26
Συνθήκη 1 ^η	26
Συνθήκη 2 ^η	27
Συλλογή δεδομένων.....	27
Ανάλυση δεδομένων.....	28
Στατιστική ανάλυση.....	28
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	29
Μεταβολή της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου κατά τη διάρκεια των ενεργητικών κινήσεων.....	29
Μεταβολή της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου κατά τη διάρκεια κινήσεων νοερής απεικόνισης.....	30
Μεταβολή των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών κατά τη διάρκεια των ενεργητικών κινήσεων.....	30
Μεταβολή των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών κατά τη διάρκεια των κινήσεων της νοερής απεικόνισης.....	31
Σύγκριση της 1 ^{ης} και της 2 ^{ης} συνθήκης πάνω στις μεταβολές της διάρκειας της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου και του εύρους των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών.....	32
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	37
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εμφάνιση της Ο _{μοπλ} ΣΠ για κάθε συμμετέχοντα της έρευνας.....	29
Πίνακας 2. Εμφάνιση των ΚΠΔ για κάθε συμμετέχοντα της έρευνας.....	31
Πίνακας 3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης.....	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Το νευρικό κύτταρο.....	7
Σχήμα 2. Η νευρική σύναψη και τα συναπτικά κυστίδια.....	8
Σχήμα 3. Φλοιικές περιοχές του εγκεφάλου –έξω επιφάνεια (αριστερά). Το ανθρωπάριο του ΚΦ (δεξιά).....	10
Σχήμα 4. Η αρχή της επαγωγής των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων μετά από εφαρμογή ΔΜΕ (αριστερά). Κλίση - θέση του πηνίου πεταλούδας για τον ερεθισμό του ΚΦ (δεξιά).....	12
Σχήμα 5. Εμφάνιση της $O_{\mu\sigma\lambda}\Sigma\Pi$ κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών.....	30
Σχήμα 6. Εμφάνιση των ΚΠΔ κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών.....	31
Σχήμα 7. Η απεικόνιση της $O_{\mu\sigma\lambda}\Sigma\Pi$ στον ΗΜΓ σε όλες τις μορφές κίνησης.....	33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΔΗ-Α	Δια-ημισφαιρική Αναστολή (Inter-hemispheric Inhibition - IHI)
ΔΗΕ	Διακρανιακός Ηλεκτρικός Ερεθισμός (Transcranial Electric Stimulation -TES)
ΔΜΕ	Διακρανιακός Μαγνητικός Ερεθισμός (Transcranial Magnetic Stimulation - TMS)
Ε _{τερ} ΣΠ	Ετερόπλευρη Σιωπηλή Περίοδος (Contra-lateral Silent Period - CSP)
ΕΦ-Α	Ενδοφλοιική Αναστολή (Intracortical Inhibition – ICI)
ΕΦ-Δ	Ενδοφλοιική Διευκόλυνση (Intracortical Facilitation - ICF)
ΗΜΓ	Ηλεκτομυογράφημα
ΚΦ	Κινητικός Φλοιός (Primary Motor Cortex - M1)
ΚΠΔ	Κινητικά Προκαλούμενα Δυναμικά (Motor Evoked Potentials - MEPs)
Μ _{εγ} ΔΕΦ-Α	Μεγάλη Διαλειμματική Ενδοφλοιική Αναστολή (Long Intracortical Inhibition - LICI)
Μ _{ικρ} ΔΕΦ-Α	Μικρή Διαλειμματική Ενδοφλοιική Αναστολή (Sort Intracortical Inhibition - SICI)
Μ _{ικρ} ΔΕΦ-Δ	Μικρή Διαλειμματική Ενδοφλοιική Διευκόλυνση (Sort Intracortical Facilitation - SICF)
Ο _{μοπ} ΣΠ	Ομόπλευρη Σιωπηλή Περίοδος (Ipsi-lateral Silent Period - ISP)
ΣΠ	Σιωπηλή Περίοδος (Silent Period - SP)

Αναφέρονται οι όροι και στα αγγλικά με στόχο την εύρεση βιβλιογραφίας από τους αναγνώστες.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑ-ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΟΥΣΙΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΝΟΕΡΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΙΑΚΡΑΝΙΑΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΕΘΙΣΜΟΥ

Από τον όγκο της βιβλιογραφίας που παρουσιάζεται στις βάσεις δεδομένων αποδεικνύεται πως είναι τεράστιο το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας για τη μελέτη της νευροφυσιολογίας του εγκεφάλου. Ο Διακρανιακός Μαγνητικός Ερεθισμός (ΔΜΕ), ο οποίος αποτελεί μία μη επεμβατική μέθοδο, έδωσε αρχικά τη δυνατότητα στους ερευνητές να χαρτογραφήσουν κάποιες από τις περιοχές του εγκεφάλου (Ettinger et al., 1998) ενώ αργότερα άρχισε να χρησιμοποιείται ως μέσο για την μελέτη των νευροφυσιολογικών φαινομένων στην περιοχή του Κινητικού Φλοιού (ΚΦ).

Έχει ήδη αποδειχθεί ότι μέσα στον ΚΦ παρουσιάζονται δύο διαφορετικά φαινόμενα αναστολής (Kijurai et al., 1993) και δύο διαφορετικά φαινόμενα διευκόλυνσης (Kijurai et al, 1993; Wagle-Shukla, Ni, Gunraj, Bahl & Chen, 2009). Αρκετοί ερευνητές μελέτησαν την μεταβολή της αναστολής και της διευκόλυνσης του ΚΦ αναλύοντας τα Κινητικά Προκαλούμενα Δυναμικά (ΚΠΔ) και την Ηλεκτρομυογραφική (ΗΜΓ) καταγραφή μετά από εφαρμογή ΔΜΕ συνδυάζοντας ετερόπλευρες εκούσιες ενεργητικές κινήσεις των μυών στην άκρα χείρα. Στα αποτελέσματά τους αναφέρεται ότι για την αποφυγή υπερβολικής μυϊκής σύσπασης αυξάνεται η Ενδοφλοιική Αναστολή (ΕΦ-Α) (Stinear & Byblow, 2003; Zoghi, Pearce & Nordstrom, 2003) και ρυθμίζεται η διέγερση της πυραμδικής οδού (Zoghi et al., 2003). Ακόμα, τονίζεται ότι η διευκόλυνση εκδηλώνεται μόνο στο 10% και στο 25% της μέγιστης μυϊκής σύσπασης και δεν μπορεί να εμφανιστεί όταν η ένταση ξεπερνά το 50% (Ortu, Deriu, Suppa, Tolu & Rothwell, 2008).

Επιπλέον, κάποιοι άλλοι ερευνητές μελέτησαν το πώς η νευροφυσιολογική δραστηριότητα του ενός ΚΦ μεταφέρεται στον αντίθετο ΚΦ μέσω του τυλώδους σώματος (Daskalakis, Christensen, Roshan & Chen, 2002; Ferbert et al., 1992; Hanajima et al., 2001; Kukaswadia, Wagle-Shukla, Morgante, Gunraj & Chen, 2005). Ο καλύτερος τρόπος για την μελέτη της Δια-ημισφαιρικής Αναστολής (ΔΗ-Α) και της δια-ημισφαιρικής διευκόλυνσης είναι η μελέτη της Ομόπλευρης Σιωπηλής Περιόδου (Ο_{μσπ}ΣΠ) με την ανάλυση του ΗΜΓ στην ομόπλευρη άκρα χείρα. Δυστυχώς όμως λίγες έρευνες

παρουσιάζονται για το πώς η εκούσια ομόπλευρη ενεργητική μυϊκή κίνηση μπορεί να μεταβάλλει την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$ (Chen, Yung & Yung, 2003; Meyer, Roricht, Graf von Einsiedel, Kruggel & Weindl, 1995). Η πιο εκτενής έρευνα που υπάρχει, είναι η έρευνα των Giovannelli και συν. (2009) στην οποία εφαρμόστηκε ΔΜΕ στον δεξιό ΚΦ την στιγμή όπου δεξιά παρουσιαζόταν μέγιστη ισομετρική σύσπαση του 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ ενώ αριστερά εφαρμόζονταν διάφορες απλές εκούσιες ενεργητικές κινήσεις και νοερή απεικόνιση μέγιστης ισομετρικής σύσπασης στον αντίστοιχο μυ. Στα αποτελέσματά τους αναφέρεται ότι, η $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$ ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια εφαρμογής των ενεργητικών κινήσεων συγκριτικά με την πλήρη χαλάρωση ενώ κατά τη διάρκεια της νοερής απεικόνισης, μόνο η μέγιστη ισομετρική σύσπαση κατάφερε να μεταβάλλει την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$.

Σημασία της έρευνας

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία παρακάτω, η αναστολή και η διευκόλυνση αποτελούν τις κύριες λειτουργίες του ΚΦ. Η διευκόλυνση αποτελεί τον βασικό μηχανισμό για την μεταφορά των ερεθισμάτων ανάμεσα στους εγκεφαλικούς νευρώνες και διαμέσου της πυραμιδικής οδού προωθεί την παραγωγή της κίνησης. Αντίθετα, η αναστολή αποδεικνύεται ως ο μηχανισμός ο οποίος διακόπτει τη μεταφορά των ερεθισμάτων, με αποτέλεσμα ο ΚΦ να γίνεται ιδιαίτερα επιλεκτικός προωθώντας μόνο τα σημαντικά ερεθίσματα και καταστέλλοντας τα ασήμαντα με στόχο την παραγωγή και κατ' επέκταση την εκτέλεση της φυσιολογικής ανθρώπινης κίνησης. Η μελέτη της διάρκειας της ενδοφλοιικής και δια-ημισφαιρικής αναστολής σε υγιείς πληθυσμούς αποτελεί τη βάση για την αναγνώριση και κατανόηση της παθολογίας σε παθήσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος. Συγκεκριμένα, σε ανασκόπηση των Kobayashi και Pascual-Leone (2003) αναφέρεται ότι ασθενείς με πλάγια μυατροφική σκλήρυνση παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια Ετερόπλευρης Σιωπηλής Περιόδου ($E_{\text{τερ}}\Sigma\Pi$) η οποία οφείλεται σε βλάβη της ΕΦ-Α ενώ ασθενείς με οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο και εμφάνιση ημιπάρεσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια $E_{\text{τερ}}\Sigma\Pi$ και η σταδιακή τους βελτίωση οφείλεται στην μείωση του χρόνου της $\Sigma\Pi$. Επιπλέον, η βλάβη του τυλώδους σώματος, το οποίο συνδέει τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, φαίνεται ότι μπορεί να καθυστερήσει ή ακόμα και να εξαλείψει την εμφάνιση της ΔΗ-Α, ενώ ασθενείς με μυοκλωνία αποδεικνύεται ότι παρουσιάζουν δυσλειτουργία στους φλοιικούς ανασταλτικούς νευρώνες με αποτέλεσμα την απουσία της αναστολής μέσα στον ΚΦ και την εμφάνιση ανεξέλεγκτων κινήσεων στα άνω και κάτω άκρα.

Εκτός από τον έλεγχο των ερεθισμάτων, η αναστολή αναφέρεται ότι αποτελεί βασικό προστατευτικό μηχανισμό ο οποίος αναπτύσσεται μέσα στον ΚΦ με στόχο την αποφυγή υπερβολικής μυϊκής σύσπασης. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να μελετηθεί όταν κατά τη διάρκεια ενεργητικών κινήσεων δίνεται επιπλέον ερέθισμα στον ΚΦ με την μέθοδο του ΔΜΕ. Με τη διαδικασία αυτή σε υγιείς πληθυσμούς αποδείχτηκε ότι η εκούσια ενεργοποίηση του ΚΦ κατά τη διάρκεια ετερόπλευρων ενεργητικών κινήσεων, μπορεί να αυξήσει την ΕΦ-Α και να καταστείλει τη διέγερση της πυραμιδικής οδού ενώ μέσω του τυλώδους σώματος, ο παραπάνω μηχανισμός φαίνεται ότι μεταφέρεται στο αντίθετο ημισφαίριο με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται ΔΗ-Α του αντίθετου ΚΦ και μεταβολή της διάρκειας της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$.

Παρόλα αυτά όμως, λίγα στοιχεία παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία που να μελετούν τη μεταβολή της διάρκειας της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ κατά τη διάρκεια εφαρμογής συνεχόμενων αλλά και πολύπλοκων κινήσεων τόσο εκούσιων όσο και μέσω της νοερής απεικόνισης σε υγιείς πληθυσμούς.

Σκοπός

Σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη της ΔΗ-Α σε υγιή άτομα, κατά τη διάρκεια ενεργητικής μυϊκής σύσπασης του αντιθετικού μυ του αντίχειρα με τη εφαρμογή μονού παλμού ΔΜΕ στον αριστερό ΚΦ. Με τη βοήθεια του ΗΜΓ, μελετήθηκε η μεταβολή της διάρκειας της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ (αριστερά) με παράλληλη εφαρμογή ομόπλευρης (αριστερά) μέγιστης ισομετρικής σύσπασης του αντιθετικού μυ του αντίχειρα και ετερόπλευρων (δεξιά) εκούσιων αλλά και μέσω νοερής απεικόνισης κινήσεων του ίδιου μυ με διαφορετική πολυπλοκότητα. Ταυτόχρονα, δεύτερος σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη της μεταβολής του εύρους των ΚΠΔ (δεξιά) μέσω του τύπου (εκούσιων-νοερής απεικόνισης) και της πολυπλοκότητας των κινήσεων στον δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα.

Υποθέσεις

Ερευνητικές υποθέσεις: Οι βασικές ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας μελέτης που εξετάστηκαν ήταν:

1. Η ετερόπλευρη εκούσια κίνηση μπορεί να επηρεάσει την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ και το εύρος των ΚΠΔ.
2. Η πολυπλοκότητα των ενεργητικών κινήσεων στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορεί να επηρεάσει την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ και το εύρος των ΚΠΔ.

3. Η νοερή απεικόνιση της κίνησης, η οποία αφορά το ετερόπλευρο άνω άκρο, μπορεί να επηρεάσει την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$ και το εύρος των ΚΠΔ.
4. Η πολυπλοκότητα των κινήσεων κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορεί να επηρεάσει την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$ και το εύρος των ΚΠΔ.

Στατιστικές υποθέσεις: Οι μηδενικές υποθέσεις με τις αντίστοιχες εναλλακτικές τους που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν:

H0: Οι ετερόπλευρες ενεργητικές κινήσεις και η πολυπλοκότητα των κινήσεων δεν μπορούν να επηρεάσουν την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$.

H1: Οι ετερόπλευρες ενεργητικές κινήσεις και η πολυπλοκότητα των κινήσεων μπορούν να επηρεάσουν την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$.

H0: Οι ετερόπλευρες ενεργητικές κινήσεις και η πολυπλοκότητα των κινήσεων δεν μπορούν να επηρεάσουν το εύρος των ΚΠΔ..

H1: Οι ετερόπλευρες ενεργητικές κινήσεις και η πολυπλοκότητα των κινήσεων μπορούν να επηρεάσουν το εύρος των ΚΠΔ.

H0: Η νοερή απεικόνιση της κίνησης και η πολυπλοκότητα των κινήσεων κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο δεν μπορούν να επηρεάσουν την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$.

H1: Η νοερή απεικόνιση της κίνησης και η πολυπλοκότητα των κινήσεων κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορούν να επηρεάσουν την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$.

H0: Η νοερή απεικόνιση της κίνησης και η πολυπλοκότητα των κινήσεων κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο δεν μπορούν να επηρεάσουν το εύρος των ΚΠΔ.

H1: Η νοερή απεικόνιση της κίνησης και η πολυπλοκότητα των κινήσεων κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορούν να επηρεάσουν το εύρος των ΚΠΔ.

H0: Οι ενεργητικές κινήσεις και η νοερή απεικόνιση της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο δεν μπορούν να επηρεάσουν στον ίδιο βαθμό την διάρκεια της $O_{\mu\sigma\pi\lambda}\Sigma\Pi$ και το εύρος των ΚΠΔ.

H1: Οι ενεργητικές κινήσεις και η νοερή απεικόνιση της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορούν να επηρεάσουν στον ίδιο βαθμό την διάρκεια της Ο_{μολ}ΣΠ και το εύρος των ΚΠΔ.

H0: Μόνο οι ενεργητικές κινήσεις στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορούν να επηρεάσουν την διάρκεια της Ο_{μολ}ΣΠ και το εύρος των ΚΠΔ.

H1: Μόνο η νοερή απεικόνιση της κίνησης στο ετερόπλευρο άνω άκρο μπορεί να επηρεάσει την διάρκεια της Ο_{μολ}ΣΠ και το εύρος των ΚΠΔ.

Περιορισμοί της έρευνας

α) Στην έρευνα συμμετείχαν μόνο απόλυτα υγιή άτομα με κυρίαρχο άνω άκρο το δεξί χέρι.

β) Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε μόνο μέσα στο εργαστήριο του πανεπιστημίου.

Λειτουργικοί ορισμοί

ΔΗ-Α: Είναι το φαινόμενο όπου κατά τη διάρκεια ερεθισμού του ενός ΚΦ παρουσιάζεται αναστολή του ετερόπλευρου ΚΦ (Ferber et al., 1992). Το φαινόμενο μπορεί να αναγνωριστεί από την ύπαρξη της Ο_{μόπλ}ΣΠ. (Lee, Gunraj & Chen, 2007).

Ο_{μολ}ΣΠ: Είναι η διακοπή της ενεργητικής σύσπασης των ομόπλευρων μυών όπως αυτή καταγράφεται από τον ΗΜΓ κατά τη διάρκεια εφαρμογής του ΔΜΕ στον σύστοιχο ΚΦ. (Giovannelli et al., 2009; Lee et al., 2007).

ΔΜΕ: Είναι μία μη επεμβατική μέθοδος η οποία έχει σα στόχο να μελετήσει τον ανθρώπινο εγκέφαλο (Esser, Hill & Tononi, 2005; Peterchev, Jalinous & Lisanby, 2008). Ανάλογα με τις παραμέτρους του ερεθισμού ο ΔΜΕ μπορεί να διευκολύνει ή να αναστείλει τη λειτουργία συγκεκριμένων φλοιικών περιοχών αποτελώντας ένα σημαντικό εργαλείο για την μελέτη της νευροφυσιολογικής λειτουργίας του εγκεφάλου. (Esser et al., 2005).

ΚΠΔ: Είναι ηλεκτρικά κύματα τα οποία παράγονται μέσω διακρανιακής μαγνητικής διέγερσης κινητικών κέντρων και οδών του εγκεφάλου και καταγράφονται στον ΗΜΓ ως κυματομορφές.

ΚΦ: Είναι η περιοχή 4 σύμφωνα με τη χαρτογράφηση του Brodmann και αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως περιοχή M1. Ο ΚΦ είναι η περιοχή η οποία ευθύνεται για το σχεδιασμό και την παραγωγή συνειδητών κινήσεων στο ανθρώπινο σώμα και

συνεργάζεται άμεσα με την συμπληρωματική κινητική περιοχή του εγκεφάλου ή την περιοχή 6 κατά Brodmann. (Carter, 2011).

Νοερή απεικόνιση: Ορίζεται η εκούσια εσωτερική εκτέλεση μίας κίνησης κατά τη διάρκεια απουσίας οποιασδήποτε μυϊκής ενεργοποίησης στηριζόμενη στην κιναισθησία (Munzerta, Loreya & Zentgrafa, 2009).

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ανατομία του νευρικού κυττάρου

Η ανατομία ενός νευρικού κυττάρου (νευρώνας) περιλαμβάνει τους δενδρίτες, το σώμα, τον πυρήνα, τον άξονα, τον νευράξονα και τις τελικές αποφυάδες του νευράξονα (Σχήμα 1). Αναφέρεται ότι, μόνο το 10% των κυττάρων του εγκεφάλου αποτελείται από νευρώνες.



Σχήμα 1. Το νευρικό κύτταρο.

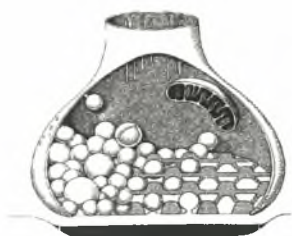
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Neuron_el.png

Η πλειοψηφία των υπολοίπων νευρώνων είναι νευρογλοιακά και στηρικτικά κύτταρα. Και τα δύο παρέχουν φυσική υποστήριξη για τις απίστευτα λεπτές δενδριτικές και αξονικές επεξεργασίες που συμβαίνουν μέσα στο δίκτυο και επίσης παρέχουν θρέψη στους νευρώνες σε μορφή γλυκόζης, ακατέργαστα υλικά για ανάπτυξη και διατήρηση και άλλες θρεπτικές ουσίες. Παρουσιάζονται διάφοροι τύποι νευρογλοιακών κυττάρων. Η μικρογλοία καταστρέφει τα μικρόβια που εισβάλλουν και απομακρύνει τους νεκρωμένους ιστούς από τους εκφυλισμένους νευρώνες. Αντίθετα τα ολιγοδενδροκύτταρα βοηθούν στη συντήρηση των νευρώνων κατασκευάζοντας έλυτρα μυελίνης (Carter, 2011).

Συνάψεις νευρικών κυττάρων

Οι συνάψεις χαρακτηρίζονται ως θέσεις επικοινωνίας όπου οι νευρώνες άγουν τις νευρικές ώσεις μεταξύ τους. Τα κύτταρα δεν βρίσκονται συνήθως σε πραγματική σωματική επαφή αλλά χωρίζονται μεταξύ τους με ένα πάρα πολύ μικρό χάσμα το οποίο ονομάζεται «συναπτική σχισμή» (Σχήμα 2). Μικροανατομικά, οι συνάψεις διαιρούνται σε τύπους ανάλογα με τις θέσεις όπου οι νευρώνες σχεδόν έρχονται σε επαφή. Αυτές οι θέσεις περιλαμβάνουν το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες, τους νευράξονες και πάρα πολύ

στενές προσεκβολές, τις δενδριτικές άκανθες. Τα νευρικά κύτταρα δημιουργούν 4 διαφορετικά είδη συνάψεων. Οι συνάψεις μεταξύ νευραξόνων και δενδριτικών ακάνθων αποτελούν το 50% όλων των συνάψεων του εγκεφάλου ενώ οι συνάψεις μεταξύ δενδριτών και νευραξόνων αποτελούν περίπου το 30% των συνάψεων. Άλλα είδη συνάψεων είναι η αξονοσωματική σύναψη που συμβαίνει μεταξύ νευράξονα και κυτταρικού σώματος και η πολύπλοκη σύναψη μεταξύ δύο νευραξόνων και μίας δενδριτικής άκανθας (Carter, 2011).



Σχήμα 2. Η νευρική σύναψη και τα συναπτικά κυστίδια (Bennett & Karnes, 1988)

Με τη δημιουργία της σύναψης μεταξύ των νευρικών κυττάρων μεταφέρεται το νευρικό ερέθισμα το οποίο χαρακτηρίζεται ως μία πολύ μικρή και σύντομη «αιχμή» ηλεκτρισμού που μεταδίδεται διαμέσου ενός νευράξονα από χημικά σωματίδια που κινούνται κατά μήκος της εξωτερικής μεμβράνης του κυττάρου από τη μία άκρη στην άλλη. Τα νευρικά ερεθίσματα, αποτελούνται από σειρές διακριτών ώσεων, επίσης γνωστά ως «δυναμικά ενέργειας». Μία μόνο ώση, προκαλείται από τη μετάδοση ενός κύματος από χημικά σωματίδια που καλούνται ιόντα, τα οποία φέρουν ηλεκτρικά φορτία και αποτελούνται κυρίως από κάλιο, νάτριο και χλώριο. Μέσα στον εγκέφαλο, οι περισσότερες ώσεις στους περισσότερους νευρώνες είναι της ίδιας ισχύος, περίπου ίση με 100 mV και διάρκειας περίπου 1msec. Η ταχύτητα της ώσης εξαρτάται συνήθως από το που προέρχεται και προς τα που κατευθύνεται και μεταδίδεται σε μεγάλο εύρος από 1-100 m/sec (Carter, 2011).

Δυναμικό ηρεμίας, εκπόλωση και επαναπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης

Πριν από την έλευση της ώσης η μεμβράνη του νευρικού κυττάρου χαρακτηρίζεται από δυναμικό ηρεμίας. Στη φάση αυτή παρουσιάζονται περισσότερα ιόντα καλίου και αρνητικά ιόντα μέσα στην αξονική μεμβράνη του νευρώνα και περισσότερα ιόντα νατρίου και θετικά ιόντα στο εξωτερικό της. Αυτό προκαλεί μία «πόλωση» ή διαφορά δυναμικού κατά μήκος της μεμβράνης με θετικά φορτισμένο το εξωτερικό της. Τη στιγμή που γίνεται η άφιξη μίας ώσης τότε παρουσιάζεται η «εκπόλωση» όπου ιόντα νατρίου που είναι θετικά φορτισμένα εισέρχονται μέσα από τα κανάλια ιόντων νατρίου στο εσωτερικό της αξονικής

μεμβράνης του κυττάρου με αποτέλεσμα το εσωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης να είναι θετικά φορτισμένο και το εξωτερικό αρνητικά. Μετά την έλευση του ερεθίσματος γίνεται αποκατάσταση της ισορροπίας των ιόντων. Το στάδιο αυτό ονομάζεται «επαναπόλωση» όπου τα θετικά ιόντα καλίου κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση από το ιόντα νατρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διεγείρει τις παρακείμενες περιοχές πίσω από την εκπολωμένη περιοχή διαταράσσοντας το δυναμικό ηρεμίας (Carter, 2011).

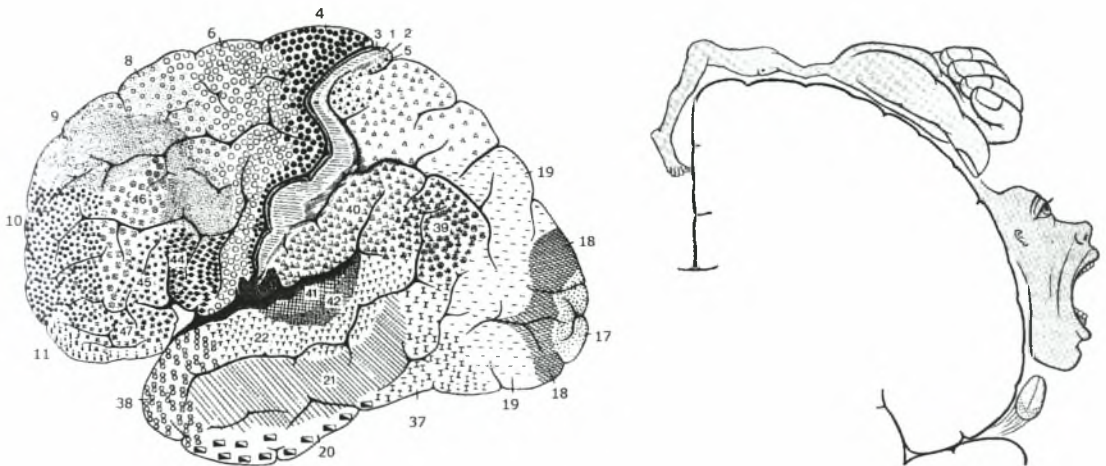
Νευροδιαβιβαστές

Η συναπτική σχισμή η οποία χωρίζει τις μεμβράνες του κυττάρου που στέλνει (προσυναπτικό) και αυτού που λαμβάνει (μετασυναπτικό) έχει πλάτος περίπου 20nm. Αυτή είναι τόσο στενή ώστε τα μόρια των συναπτικών κυστιδίων να μπορούν να περνούν κατά μήκος της πάρα πολύ γρήγορα με απλή διάχυση και με κατεύθυνση από περιοχές με υψηλότερη συγκέντρωση (θετικά φορτισμένες περιοχές) προς περιοχές με χαμηλότερη συγκέντρωση (αρνητικά φορτισμένες περιοχές). Τα συναπτικά κυστίδια (Σχήμα 2) αποτελούν τους νευροδιαβιβαστές οι οποίοι παράγονται στο κυτταρικό σώμα των νευρώνων και μεταφέρονται μέσα στο νευρικό κύτταρο στα σημεία των νευρικών συνάψεων και δημιουργούν την «εκπόλωση» του επόμενου κυττάρου (Carter, 2011).

Όπως περιγράφεται και στην ανασκόπηση βιβλιογραφίας, η λειτουργία των νευροδιαβιβαστών είναι εξέχουσας σημασίας για την νευροφυσιολογική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Οι νευροδιαβιβαστές είναι χημικές ενώσεις που επιτρέπουν στα σήματα να διέρχονται μεταξύ ενός νευρώνα και ενός άλλου κυττάρου. Ουσιαστικά παρουσιάζονται 2 μεγάλες κατηγορίες νευροδιαβιβαστών. Οι διεγερτικοί και οι ανασταλτικοί. Οι διεγερτικοί νευροδιαβιβαστές όταν φτάσουν στο μετασυναπτικό κύτταρο δίνουν τη δυνατότητα να γίνει η εκπόλωση του νευρώνα με αποτέλεσμα τη μεταφορά του ερεθίσματος. Τέτοιοι νευροδιαβιβαστές είναι το γλουταμινικό, η νοραδρεναλίνη και η ισταμίνη. Αντίθετα, οι ανασταλτικοί νευροδιαβιβαστές τη στιγμή που εισέρχονται στον μετασυναπτικό νευρώνα εμποδίζουν την εκπόλωση του κυττάρου διατηρώντας το δυναμικό ηρεμίας του με αποτέλεσμα τη διακοπή της ώσης και τη μη μεταφορά του ερεθίσματος στο μετασυναπτικό κύτταρο. Κύριος ανασταλτικός εγκεφαλικός νευροδιαβιβαστής είναι το γ-αμινοβουτυρικό οξύ (GABA) (Carter, 2011). Οι περισσότερες διεγερτικές συνάψεις βρίσκονται στους δένδριτες ενώ αντίθετα οι περισσότερες ανασταλτικές συνάψεις εντοπίζονται στη βάση του άξονα όπου γεννάται η διέγερση και μπορεί να κατασταλεί πιο αποτελεσματικά (Kahle, Leonhardt & Platzner, 1985).

Κινητικός φλοιός

Ο ΚΦ αποτελεί το κέντρο της εκούσιας κίνησης, βρίσκεται στο μετωπιαίο λοβό και σύμφωνα με τη χαρτογράφηση του Brodmann είναι η περιοχή 4 η οποία συνεργάζεται άμεσα με τη συμπληρωματική κινητική περιοχή ή την περιοχή 6 κατά Brodmann (Σχήμα 3). Οι κύριοι νευρώνες μέσα στον ΚΦ είναι τα πυραμιδικά κύτταρα ή διαφορετικά τα κύτταρα Betz. Οι πυραμιδικοί νευρώνες εντοπίζονται κυρίως στην 5^η στοιβάδα του ΚΦ, χαρακτηρίζονται ως τα κύτταρα με το μεγαλύτερο μήκος μέσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα με διάμετρο περίπου 100μm και μέσω της πυραμιδικής οδού δημιουργούν απ' ευθείας συνάψεις με τους α-κινητικούς νευρώνες των στοχευόμενων μυών. Οι νευρώνες μέσα στον ΚΦ οργανώνονται σε 6 στοιβάδες γνωστές από έξω προς τα μέσα ως: μοριακή (1^η), έξω κοκκιώδης (2^η), έξω πυραμιδική (3^η), έσω κοκκιώδης (4^η), έσω πυραμιδική (5^η) και η πολύμορφη στοιβάδα (6^η) (Carter, 2011).



Σχήμα 3. Αριστερά: Φλοιώδεις περιοχές του εγκεφάλου – έξω επιφάνεια.
Δεξιά: Το ανθρωπάριο του ΚΦ (Kahle et al., 1985).

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το ανθρωπάριο του ΚΦ κατά Penfield και Rasmussen το οποίο αναφέρεται ως ένα υποθετικό σχήμα το οποίο δημιουργήθηκε μετά από έρευνες όπου εφαρμόστηκε ερεθισμός του ΚΦ στους ανθρώπους και στα ζώα. Χαρακτηρίζεται ότι αποτελεί έναν χάρτη του ΚΦ υπεύθυνο για την κινητική δραστηριότητα των περιοχών του σώματος (Bennett & Karnes, 1988). Στο ανθρωπάριο απεικονίζεται η κεφαλή στα πλάγια του ΚΦ λίγο πιο ψηλά από την περιοχή του φάρυγγα, της γλώσσας και των χειλέων. Στη συνέχεια ακολουθεί η ραχιαία περιοχή, η άκρα χείρα, το άνω άκρο, ο κορμός και το κάτω άκρο το οποίο βρίσκεται στην έσω επιφάνεια του ημισφαιρίου. Οι περιοχές διαφέρουν σε μέγεθος με αποτέλεσμα οι μυϊκές ομάδες που απαιτούν εξειδικευμένες κινήσεις να

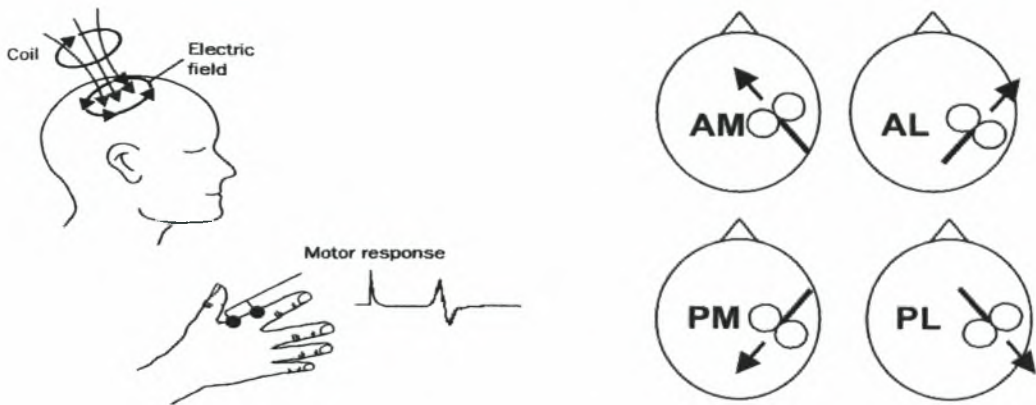
καταλαμβάνουν και μεγαλύτερη περιοχή όπως η περιοχή της άκρας χείρας σε αντίθεση με τη περιοχή του κορμού που καταλαμβάνει την μικρότερη περιοχή. Κάθε ημιμόριο του σώματος αντιπροσωπεύεται από το αντίθετο ημισφαίριο του εγκεφάλου δηλαδή το αριστερό ημιμόριο του σώματος στο δεξί ημισφαίριο και το δεξί ημιμόριο στο αριστερό ημισφαίριο. Οι μύες του προσώπου και των άκρων αντιδρούν αυστηρώς ετερόπλευρα (Kahle et al., 1985).

Διακρανιακός μαγνητικός ερεθισμός

Ο ΔΜΕ είναι μία μη επεμβατική μέθοδος η οποία έχει σα στόχο να μελετήσει τη νευροφυσιολογική δραστηριότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Αποτελεί ένα από τα μέσα διάγνωσης και θεραπείας για τις επιστήμες της νευρολογίας και της ψυχιατρικής (Peterchev, Jalinous & Lisanby, 2008) ενώ τα προηγούμενα χρόνια αποτέλεσε ένα από τα μέσα για τη χαρτογράφηση περιοχών του ανθρώπινου εγκεφάλου (Ettinger et al., 1998). Η πρώτη εφαρμογή του ΔΜΕ, η οποία αποτελεί μία παραλλαγή του ηλεκτρικού ερεθισμού των περιφερικών νευρών, πραγματοποιήθηκε από τους Barker, Jalinous και Freeston (1985) οι οποίοι κατάφεραν να διεγείρουν τους κινητικούς νευρώνες μέσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Από τότε και μετά, παρουσιάζεται τρομακτική ανάπτυξη ερευνών για την μελέτη της νευροφυσιολογικής λειτουργίας των νευρώνων του ΚΦ διότι ο ΔΜΕ αποτελεί μία πρακτική, ανώδυνη και καλά ανεκτή μέθοδο από τους ασθενείς συγκριτικά με την εφαρμογή του ΔΗΕ.

Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται ο ΔΜΕ είναι η αρχή της επαγωγής των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων όπως περιγράφεται στο νόμο του Michael Faraday το 1838 (Σχήμα 4) (Kobayashi & Pascual-Leone, 2003), όπου, η μέγιστη δύναμη του μαγνητικού πεδίου σχετίζεται με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και τον αριθμό των σπειρών του πηνίου. Το μαγνητικό πεδίο με τη σειρά του, προκαλεί μία πολύ μικρότερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος η οποία διεισδύει μέσα στο κρανίο. Η ένταση του ρεύματος που εισέρχεται μέσα στον εγκέφαλο είναι το αποτέλεσμα της ποσοστιαίας αλλαγής του μαγνητικού πεδίου, το οποίο καθορίζεται από το ποσοστό της αλλαγής του αρχικού ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στο πηνίο (Wassermann, 1998). Τα πηνία σε όλες τις εφαρμογές του ΔΜΕ είναι ικανά να παράγουν στην επιφάνειά τους μαγνητική ένταση ίση περίπου με 1,5-2 tesla (T) και στη συνέχεια να διεγείρουν εγκεφαλικούς νευρώνες οι οποίοι βρίσκονται σε βάθος περίπου 1,5-2 εκατοστά. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν έχει τη δυνατότητα να εισχωρήσει βαθύτερα στο κρανίο αλλά μπορεί και επηρεάζει τους

νευρώνες μετασυναπτικά, οι οποίοι βρίσκονται σε σχετικά μακρινή απόσταση από το σημείο του ερεθισμού (Wassermann, 1998).



Σχήμα 4. Αριστερά: Η αρχή της επαγωγής των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων μετά από εφαρμογή ΔΜΕ (Kobayashi & Pascual-Leone, 2003). Δεξιά: Κλίση - θέση του πηνίου πεταλούδας για τον ερεθισμό του ΚΦ (Chen et al., 2003).

Σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες του ΔΜΕ καταγράφονται τα ΚΠΔ στο ετερόπλευρο άκρο με την εφαρμογή ΗΜΓ σε έναν μυ ή σε μία ομάδα μυών (Wassermann, 1998). Η διαδικασία μελέτης των ΚΠΔ είναι εξέχουσας σημασίας καθώς αντανακλά όχι μόνο την ακεραιότητα της πυραμιδικής οδού αλλά την διεγερσιμότητα του ΚΦ και την αγωγιμότητα των νευρικών ριζών και των περιφερικών οδών προς τους μύες (Kobayashi & Pascual-Leone, 2003). Έχει αποδειχθεί ότι, οι ασθενείς με οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο, οι οποίοι δεν εμφανίζουν ΚΠΔ σχεδόν αμέσως μετά από την εκδήλωση της πάθησης τους παρουσιάζουν στη συνέχεια πολύ φτωχή αποκατάσταση (Escudero, Sancho, Bautista, Escudero & Lopez-Trigo, 1998).

Στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται διαφορετικές συσκευές ΔΜΕ. Συγκεκριμένα υπάρχει η συσκευή του μονού παλμού και του επαναλαμβανόμενου ερεθισμού. Στην εφαρμογή των επαναλαμβανόμενων ερεθισμών μπορούν να δοθούν δύο ή ακόμα και τρεις παλμοί συνδυάζοντας τον ερεθισμό του ενός αλλά και των δυο ΚΦ μελετώντας τις μεταβολές που συμβαίνουν ανάμεσα τους. Παρόλα αυτά όμως, η εφαρμογή των επαναλαμβανόμενων ερεθισμών αποτελεί αρκετά πολύπλοκη αλλά και επικίνδυνη μέθοδο καθώς μπορεί να μπλοκάρει αλλά και να διεγείρει σε μεγαλύτερο βαθμό την φλοιική λειτουργία. Από την άλλη, ο μονός παλμός ΔΜΕ αποτελεί την ασφαλέστερη και πρακτικότερη μέθοδο για την μελέτη της νευροφυσιολογικής λειτουργίας του ΚΦ και την ακεραιότητα της πυραμιδικής οδού σε υγιείς αλλά και σε ασθενείς και η συχνότητα

εφαρμογής των παλμών δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν δεν υπάρχει διάλειμμα μεταξύ των ερεθισμών τουλάχιστον μερικά δευτερόλεπτα (Wassermann, 1998).

Στις εφαρμογές του ΔΜΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά είδη πηνίων και διαφορετικών διαμέτρων. Υπάρχουν τα κυκλικά πηνία όπου το κέντρο τους είναι ανοιχτό και τα πηνία σε σχήμα 8 ή αλλιώς σχήμα πεταλούδας. Στα κυκλικά πηνία αυτό που φαίνεται πως έχει ιδιαίτερη σημασία κατά τις εφαρμογές του ΔΜΕ είναι η κλίση που πρέπει να έχει το πηνίο τη στιγμή που δίνεται ο ερεθισμός. Για να μπορέσει ο εξεταστής να ορίσει την κλίση του πηνίου πρέπει να ορίσει τις μοίρες της στροφής του πηνίου από την κορυφή του κρανίου σύμφωνα με την κίνηση των δεικτών του ρολογιού. Από την άλλη, τα πηνία σε σχήμα 8 παρουσιάζονται σαν δύο κύκλοι οι οποίοι ενώνονται και το ρεύμα το οποίο εισχωρεί μέσα στο κρανίο εξέρχεται από το σημείο όπου ενώνονται αυτοί οι δύο κύκλοι. Λόγω της γεωμετρίας τους τα πηνία αυτά είναι ιδιαίτερα πρακτικά και αν ο εξεταστής αλλάξει τη θέση ή την κλίση του πηνίου τότε είναι εύκολο να πετύχει τον ερεθισμό επιλεκτικών σημείων του ΚΦ.

Εξέχουσας σημασίας όπως περιγράφεται και στη βιβλιογραφία, είναι η θέση και η κλίση-κατεύθυνση του πηνίου πεταλούδας πάνω στον ΚΦ κατά την εφαρμογή του ΔΜΕ. Η ιδανικότερη θέση του πηνίου για την εμφάνιση της ΔΗ-Α εντοπίζεται περίπου 4-8 εκατοστά πλάγια από την κορυφή του κρανίου (Ferber et al., 1992). Στην έρευνα των Chen και συν. (2003) αναφέρεται ότι υπάρχουν 4 κατευθύνσεις που μπορούν να εφαρμοστούν. Η πρόσθιο-πλάγια έσω (AM), η οπίσθιο-πλάγια έσω (PM), η πρόσθιο-πλάγια έξω (AL) και η οπίσθιο-πλάγια έξω (PL) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4. Στα αποτελέσματα της έρευνας τονίζει ότι πιθανά η ιδανικότερη κατεύθυνση είναι η AM διότι απαιτεί μικρότερη ένταση για να διεγείρει τους νευρώνες μέσα στον ΚΦ παρουσιάζοντας μεγαλύτερα ΚΠΔ. Αντίθετα, επισημαίνουν ότι πιθανά όλες οι κατευθύνσεις έχουν τα ίδια αποτελέσματα στα ΚΠΔ τα οποία μελετώνται για την ΔΗ-Α του αντίθετου ΚΦ αλλά η AM είναι καταλληλότερη για την μελέτη της $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$.

Επιδράσεις του διακρανιακού μαγνητικού ερεθισμού στον κινητικό φλοιό

Με τη βοήθεια του ΔΜΕ, μπορούν να μελετηθούν οι οδοί της διευκόλυνσης και της αναστολής του ΚΦ (Lee et al., 2007) όπου η ισορροπία μεταξύ τους κατέχει σημαντικό ρόλο στην φλοιική απόδοση (Sanger, Garg & Chen, 2001). Αναφέρεται ότι, οι παραπάνω λειτουργίες του εγκεφάλου εξαρτώνται από διαφορετικούς μηχανισμούς και αποτελούν δύο διαφορετικά φαινόμενα τα οποία αλληλεπιδρούν μέσα στον ΚΦ με γραμμικό τρόπο. Συγκεκριμένα τονίζεται ότι, το κατωφλικό ερέθισμα για τη διευκόλυνση είναι πάντα

μεγαλύτερο από αυτό της αναστολής. Επίσης επισημαίνεται ότι, η αναστολή συμβαίνει σε αυτούς τους νευρώνες οι οποίοι δεν έχουν προτιμώμενο προσανατολισμό στο παράλληλο επίπεδο του κρανίου, ενώ αντίθετα η διευκόλυνση εξαρτάται από νευρώνες οι οποίοι έχουν προτιμώμενο προσανατολισμό κάθετα στην κεντρική αύλακα του εγκεφάλου. (Esser et al., 2005; Ziemann, Rothwell & Ridding, 1996).

Οι Esser και συν. (2005) εκμεταλλευόμενοι τις έρευνες προηγούμενων ετών, προσπάθησαν να προσομοιάσουν τον ΚΦ και να μελετήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι φλοιικοί νευρώνες συνεργάζονται μεταξύ τους μετά από την εφαρμογή του ΔΜΕ. Συγκεκριμένα, μοντελοποίησαν τις στοιβάδες 2, 3, 5 και 6 του ΚΦ εκτός από την 1^η στοιβάδα, όπου παρουσιάζεται μικρός αριθμός νευρώνων, και την 4^η στοιβάδα η οποία είναι πολύ λεπτή. Επίσης, στο μοντέλο τους περιλάμβαναν τη συνεργασία της συμπληρωματικής κινητικής περιοχής (περιοχή 6 κατά Brodmann) με τις στοιβάδες 2 και 3 και τη συνεργασία της 6^{ης} στοιβάδας του ΚΦ με το θάλαμο. Σύμφωνα με τη μελέτη τους, δημιούργησαν περίπου 33.000 νευρώνες οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους με 5 εκατομμύρια διαφορετικές συνδέσεις. Τα δύο τρίτα από αυτούς τους νευρώνες ήταν διεγερτικά και περιλάμβαναν ανεξάρτητους υποδοχείς προπανοϊκού οξέος (AMPA), οι οποίοι μμούνταν τη λειτουργία του γλουταμινικού διεγερτικού νευροδιαβιβαστή, και εξαρτημένους υποδοχείς N-μεθύλο-Δ-ασπαρτικού (NMDA). Αντίθετα, ο υπόλοιπος αριθμός νευρώνων ήταν ανασταλτικά τα οποία περιείχαν κανάλια με το γ-αμινοβουτυρικό οξύ-A (GABA_A) και το γ-αμινοβουτυρικό οξύ-B (GABA_B) για την υποδοχή του ανασταλτικού νευροδιαβιβαστή γ-αμινοβουτυρικού οξέος (GABA). Οι νευρώνες μέσα στον ΚΦ παρουσιάστηκαν σε στήλες διαμέτρου 300μm οι οποίες απείχαν μεταξύ τους διάστημα περίπου ίσο με 50μm. Οι νευρώνες που ανήκαν σε κάθε στήλη, φαίνεται ότι προτιμούσαν κινήσεις σε μία μόνο συγκεκριμένη κατεύθυνση με αποτέλεσμα η στοίχιση των στηλών να εναλλάσσεται μεταξύ νευρώνων που προτιμούν την μία κατεύθυνση και νευρώνων που προτιμούν την αντίθετη κατεύθυνση. Μετά τη δημιουργία του παραπάνω μοντέλου, οι ερευνητές εφάρμοσαν ΔΜΕ μονού και διπλού παλμού για να μπορέσουν να παρατηρήσουν αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται οι νευρώνες μέσα στον ανθρώπινο ΚΦ. Στα αποτελέσματα τους αναφέρουν ότι οι διεγερτικοί νευρώνες στην 2^η και 3^η στοιβάδα ενεργοποιούνταν αμέσως μετά την εφαρμογή του ΔΜΕ ενώ στην 6^η στοιβάδα και στο θάλαμο η ενεργοποίηση συνέβαινε αργότερα. Επίσης, μετά από τον ΔΜΕ, η ενεργοποίηση του θαλάμου τελικά ήταν αρκετά μικρή σχετικά με την ενεργοποίηση των περιοχών του ΚΦ. Ακόμα, αναφέρεται ότι μόνο στη 5^η στοιβάδα υπήρχε πολλαπλή δραστηριοποίηση των νευρώνων ενώ στις υπόλοιπες στοιβάδες η

ενεργοποίηση συνέβαινε μόνο μία φορά και δεν επαναλαμβανόταν ξανά ενώ γενικά παρατηρούνταν μεγαλύτερη ενεργοποίηση των ανασταλτικών νευρώνων συγκριτικά με τα διεγερτικά νευρικά κύτταρα. Ακόμα, τονίζεται ότι η ενεργοποίηση της 6^{ης} στοιβάδας συνέβαινε μόνο από τις συνδέσεις που παρουσιάζονται με την 5^η στοιβάδα του ΚΦ και όχι από τις υπόλοιπες. Επίσης, μετά την εφαρμογή του ΔΜΕ, παρατηρούνταν στη σειρά τέσσερα κύματα ενεργοποίησης των νευρώνων μέσα στον ΚΦ ξεκινώντας με το πρώτο κύμα το οποίο παρουσίαζε μικρή ένταση και καταλήγοντας στο 4^ο κύμα το οποίο παρουσίαζε τη μεγαλύτερη ένταση. Οι ερευνητές τονίζουν ότι, επειδή οι ανασταλτικοί νευρώνες παρουσιάζουν χαμηλό κατωφλικό ερέθισμα, συγκριτικά με τους διεγερτικούς νευρώνες, ενεργοποιούνταν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό στη 2^η και 3^η στοιβάδα λόγω της χαμηλής έντασης του ερεθίσματος που συμβαίνει στο πρώτο κύμα ενεργοποίησης των στοιβάδων αυτών μετά την εφαρμογή του ΔΜΕ. Αναλυτικά οι ερευνητές παρουσίασαν 4 στάδια ενεργοποίησης του ΚΦ μετά από την εφαρμογή μονού παλμού ΔΜΕ. Στο στάδιο I φαίνεται ότι παρουσιάζεται άμεση επίδραση του μαγνητικού ερεθισμού με εκπόλωση στο 20% του πληθυσμού των νευρώνων στον ΚΦ. Αυτό συμπεραίνεται ότι συμβαίνει λόγω του ότι παρουσιάζεται μεγαλύτερος αριθμός υποδοχέων προπανοϊκού οξέος (διεγερτικοί νευρώνες) οι οποίοι ενεργοποιούνται γρηγορότερα συγκριτικά με τους υποδοχείς του γ-αμινοβουτυρικού οξέως (ανασταλτικοί νευρώνες). Κατ' επέκταση, αυτό το δίκτυο εκπόλωσης δημιουργεί ενεργοποίηση των διεγερτικών και ανασταλτικών νευρώνων στην 2^η, 3^η και 5^η στοιβάδα του ΚΦ, ενώ τονίζεται ότι στην 6^η στοιβάδα ενεργοποιούνταν μόνο οι ανασταλτικοί νευρώνες. Στο στάδιο II, αναφέρεται ότι παρουσιάστηκαν νευρικές συνάψεις στις στοιβάδες 2 και 3 λόγω των διεγερτικών νευρώνων ανάμεσα σε αυτές τις στοιβάδες, λόγω των διεγερτικών νευρώνων που συνάπτονταν με τη στοιβάδα 5 και εξ' αιτίας των ανασταλτικών νευρώνων που ενεργοποιήθηκαν στο στάδιο I. Από τη στιγμή που παρουσιάστηκε το κύμα εκπόλωσης, απαιτήθηκαν αρκετά msec μέχρι οι νευρώνες να σταματήσουν τις μεταξύ τους ενεργοποιήσεις. Επιπλέον τονίζεται ότι, η πλειοψηφία των νευρώνων βρίσκεται σε στάδιο ανερέθιστης περιόδου λόγω της ενεργοποίησης τους στο προηγούμενο στάδιο συνεπώς τα νευρικά κύτταρα της 2^{ης} και 3^{ης} στοιβάδας παρουσίαζαν την μικρότερη δραστηριότητα. Παράλληλα, οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων στην 5 στοιβάδα, οι συνδέσεις των νευρώνων της 5^{ης} στοιβάδας με τις στοιβάδες 2 και 3 και η ύπαρξη της τοπικής αναστολής ενεργοποιούσαν τις συνάψεις στην 5^η στοιβάδα. Χαρακτηριστικό της 5^{ης} στοιβάδας του ΚΦ είναι ότι παρουσιάστηκε μικρότερο αποτέλεσμα αναστολής συγκριτικά με τις παραπάνω στοιβάδες και η ανερέθιστη περίοδος των νευρώνων στο στάδιο αυτό ήταν μικρότερη (συγκριτικά με τους νευρώνες στις

παραπάνω στοιβάδες) έτσι ώστε οι διεγερτικοί νευρώνες στην 5^η στοιβάδα να ενεργοποιούνται 1,3msec αργότερα από την αρχική ενεργοποίηση των νευρώνων στις στοιβάδες 2 και 3 του δεύτερου κύματος. Ακόμα, οι ανασταλτικοί νευρώνες στη στοιβάδα αυτή παρουσίαζαν μεγαλύτερο διάστημα ανερέθιστης περιόδου γι αυτό και ενεργοποιούνταν λίγο αργότερα από τους διεγερτικούς νευρώνες. Παράλληλα όμως, οι ενδιάμεσες συνάψεις της 5^{ης} στοιβάδας και η τοπική αναστολή ενεργοποιούσαν τη δραστηριότητα της 6^{ης} στοιβάδας του ΚΦ. Στο στάδιο III, οι ενδιάμεσες συνάψεις στην 5^η στοιβάδα που δημιουργήθηκαν στο στάδιο II ενεργοποιούσαν στη συνέχεια συνάψεις στις στοιβάδες 2 και 3. Παρόλα αυτά όμως επειδή οι διεγερτικοί νευρώνες συνάπτονταν πολύ γρήγορα (συγκριτικά με τους ανασταλτικούς νευρώνες) και ο χρόνος εκπόλωσης τους διαρκούσε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα σταδιακά οι διεγερτικοί νευρώνες των στοιβάδων 2 και 3 κατέληγαν σε φάση δυναμικού ηρεμίας και δεν ενεργοποιούνταν ξανά. Επιπλέον, οι ανασταλτικοί νευρώνες λόγω του χαμηλού κατωφλικού ερεθίσματος τους ήταν περισσότερο ευαίσθητοι και συνέχιζαν να ενεργοποιούνται σε αυτές τις στοιβάδες. Ακόμα, οι συνδέσεις των νευρώνων μέσα στην 5^η στοιβάδα και οι ενδιάμεσες συνάψεις της 5^{ης} στοιβάδας με τις στοιβάδες 2,3 και 6 είχαν σαν αποτέλεσμα την δεύτερη ενεργοποίηση της 5^{ης} στοιβάδας σε χρόνο 1.3 msec αργότερα από την προηγούμενη ενεργοποίηση της. Αυτή η ενεργοποίηση στην 5^η στοιβάδα, είχε σαν αποτέλεσμα την συνέχιση της δραστηριότητας μόνο των ανασταλτικών νευρώνων της 6^{ης} στοιβάδας καθώς οι διεγερτικοί νευρώνες βρίσκονται ακόμα στη φάση της ανερέθιστης περιόδου. Στο στάδιο IV εμφανίστηκε δραστηριότητα και των ανασταλτικών και των διεγερτικών νευρώνων και στην 5^η και στην 6^η στοιβάδα με αποτέλεσμα το τελικό συνολικό αποτέλεσμα να ήταν η σταδιακά φθίνουσα δραστηριότητα και η μη περαιτέρω ενεργοποίηση των νευρώνων με αποτέλεσμα ο ΚΦ να βρεθεί στην αρχική φάση του δυναμικού ηρεμίας του.

Ενδοφλοιική αναστολή και διευκόλυνση

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται δύο διαφορετικά φαινόμενα αναστολής και διευκόλυνσης και η εμφάνιση τους σχετίζεται από τις παραμέτρους κατά την εφαρμογή ενός διπλού παλμού ΔΜΕ στον ίδιο ΚΦ (ένταση, διάλειμμα μεταξύ των παλμών και κλίση πηνίου). Συγκεκριμένα όταν ο πρώτος ερεθισμός εφαρμόζεται κάτω από το κατωφλικό ερέθισμα και 1-5 msec αργότερα εφαρμόζεται δεύτερος παλμός πολύ μεγαλύτερος από τον πρώτο, τότε παρουσιάζεται η Μικρή Διαλειμματική Ενδοφλοιική Αναστολή (Μ_{ικρή}ΔΕΦ-Α) ενώ αντίθετα αν το διάλειμμα μεταξύ των δυο παλμών, με ένταση πολύ μεγαλύτερη

από το κατωφλικό ερέθισμα, είναι 50-200 msec, τότε εμφανίζεται η Μεγάλη Διαλειμματική Ενδοφλοιική Αναστολή ($M_{\text{εγάλη}}\Delta\text{ΕΦ-A}$) (Kujirai et al., 1993) Όπως αποδεικνύεται, τα φαινόμενα της ΕΦ-A προκαλούνται από διαφορετικούς μηχανισμούς και ελέγχονται από διαφορετικούς πληθυσμιακούς νευρώνες οι οποίοι διεγείρονται από τους ανασταλτικούς νευροδιαβιβαστές GABA_A και GABA_B αντίστοιχα (Ziemann et al., 1996; Sanger et al., 2001). Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι η $M_{\text{εγάλη}}\Delta\text{ΕΦ-A}$ ενεργεί αρχικά μέσω των GABA_B υποδοχέων και αναστέλλει προσυναπτικά την $M_{\text{μικρή}}\Delta\text{ΕΦ-A}$ η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί τους GABA_A υποδοχείς (Sanger et al., 2001).

Ακόμα, παρουσιάζεται η Ενδοφλοιική Διευκόλυνση (ΕΦ-Δ) όταν το διάλειμμα μεταξύ των δύο παλμών είναι 6-15 msec με τον πρώτο παλμό να δίνεται κάτω από το κατωφλικό ερέθισμα και τον δεύτερο παλμό να είναι πολύ μεγαλύτερος από τον πρώτο (Kujirai et al., 1993). Αντίστοιχα, η Μικρή Διαλειμματική Ενδοφλοιική Διευκόλυνση ($M_{\text{μικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Δ}$) εμφανίζεται όταν ο πρώτος παλμός δίνεται αρκετά πιο ψηλά από το κατωφλικό ερέθισμα ενώ ο δεύτερος έχει ένταση κοντά στο κατωφλικό ερέθισμα (Wagle-Shukla et al., 2009). Από την ανασκόπηση των Reis και συν. (2008) συμπεραίνεται ότι οι δύο αυτές μορφές διευκόλυνσης εξαρτώνται από διαφορετικούς μηχανισμούς οι οποίοι όμως ακόμα δεν έχουν αποσαφηνισθεί. Η έρευνα των Wagle-Shukla και συν (2009) η οποία αφορούσε τη μελέτη της σχέσης των δύο αυτών φαινομένων (αναστολής και διευκόλυνσης μέσα στον ΚΦ) κατέληξε στα ίδια συμπεράσματα. Συγκεκριμένα υποστηρίζεται ότι η $M_{\text{μικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Δ}$ αποτελεί ένα ανασταλτικό φαινόμενο ενώ η ΕΦ-Δ αποτελεί ένα φαινόμενο διέγερσης μέσα στον ΚΦ. Αυτό συμπεραίνεται από το γεγονός ότι η $M_{\text{μικρή}}\Delta\text{ΕΦ-A}$ διευκόλυνε την ύπαρξη της $M_{\text{μικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Δ}$ ενώ η ΕΦ-Δ φαίνεται ότι παρουσιάζει την αντίθετη επίδραση.

Συνάψεις μεταξύ των δυο κινητικών φλοιών

Στην ανασκόπηση βιβλιογραφίας υποστηρίζεται ότι οι ΚΦ στον ανθρώπινο εγκέφαλο επικοινωνούν μεταξύ τους έτσι ώστε οι λειτουργίες της αναστολής και της διευκόλυνσης του ενός ΚΦ να μεταφέρονται στον αντίθετο ΚΦ.

Τα φαινόμενα της αναστολής και της διευκόλυνσης ανάμεσα στους ΚΦ έχουν μελετηθεί με τη εφαρμογή ενός ζεύγους παλμών ΔΜΕ. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι ο ερεθισμός του ενός ΚΦ μπορεί να αναστείλει τη λειτουργία του ετερόπλευρου ΚΦ (Ferber et al., 1992). Για το λόγο αυτό, ο πρώτος παλμός πρέπει να δίνεται στον ΚΦ με στόχο να αναστείλει το μέγεθος του σύστοιχου ΚΠΔ, το οποίο προκαλείται από έναν δεύτερο παλμό στον ετερόπλευρο ΚΦ (Daskalakis et al., 2002) εφ' όσον το διάλειμμα

μεταξύ των 2 παλμών είναι τουλάχιστον 5-6 msec (Ferber et al., 1992). Επίσης, ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί το ερέθισμα στο αντίθετο ημισφαίριο είναι περίπου 6-30 msec. (Ferber et al., 1992), Στα αποτελέσματά των ερευνών τονίζεται ότι η Διαημισφαιρική Διευκόλυνση (ΔΗ-Δ) για να παρουσιαστεί απαιτείται η ένταση του δεύτερου παλμού να είναι τόση ώστε να εμφανίζεται ΚΠΔ ίσο με 0,3mV (Hanajima et al., 2001), ενώ αντίθετα, η ΔΗ-Α για να μπορέσει να μελετηθεί απαιτείται η ένταση και των δύο παλμών να είναι πολύ μεγαλύτερη από το κατωφλικό ερέθισμα και να εμφανίζει ΚΠΔ εύρους 0,5-1,5 mV (Kukaswadia et al., 2005). Από την έρευνα των Daskalakis και συν. (2002) συμπεραίνεται ότι οι τρεις μορφές αναστολής (ΔΗ-Α, $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$, $M_{\text{εγώλη}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$) σχετίζονται μεταξύ τους έτσι ώστε όταν αυξάνεται η ένταση της $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ τότε ταυτόχρονα μειώνονται η ΔΗ-Α και η $M_{\text{εγώλη}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$. Αντίστοιχα, η ένταση της $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ μειώνεται κατά τη διάρκεια παρουσίας της ΔΗ-Α ενώ, η ΔΗ-Α μειώνεται κατά τη διάρκεια παρουσίας της $M_{\text{εγώλης}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$. Συμπεραίνεται ακόμα ότι, η ΔΗ-Α ελέγχεται από νευρωνικά κυκλώματα διαφορετικά από αυτά που ρυθμίζουν την $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ τα οποία πιθανά παρουσιάζουν χαμηλότερο κατωφλικό ερέθισμα ή τοποθετούνται στις επιφανειακές φλοιικές στοιβάδες μέσα στον ΚΦ. Αντίστοιχα, η ένταση της $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ μειώνεται κατά τη διάρκεια παρουσίας της ΔΗ-Α πιθανά επειδή ενεργοποιούνται διαφορετικοί νευρώνες στο φλοιικό ή σπονδυλικό επίπεδο οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετική ευαισθησία σε αυτές τις μορφές αναστολής. Ακόμα πιθανολογείται ότι η $M_{\text{εγώλη}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ και η ΔΗ-Α μοιράζονται τους ίδιους μηχανισμούς ενεργοποίησης καθώς αντιδρούν με παρόμοιο τρόπο στις διάφορες μορφές μαγνητικού ερεθισμού κατά τη διάρκεια ξεκούρασης αλλά και κατά τη διάρκεια ενεργητικής μυϊκής σύσπασης όπου η $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ μειώνεται σημαντικά. Επίσης οι νευρώνες, οι οποίοι ελέγχουν τα δύο αυτά φαινόμενα αναστολής, παρουσιάζουν χαμηλό κατωφλικό ερέθισμα και παρουσιάζεται κυρίως στο φλοιικό επίπεδο. Επιπλέον, αναφέρεται ότι η ΔΗ-Α και η $M_{\text{εγώλη}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ εξαρτώνται από τους ίδιους ανασταλτικούς μηχανισμούς (Daskalakis et al., 2002) καθώς ελέγχονται μόνο από νευρώνες που διεγείρονται από τον ανασταλτικό νευροδιαβιβαστή GABA_B (Kukaswadia et al., 2005).

Ακόμα αναφέρεται ότι, υπάρχουν 2 μορφές ΔΗ-Α οι οποίες εμφανίζονται κατά την εφαρμογή διπλού παλμού. (Chen et al., 2003; Kukaswadia et al., 2005; Lee et al., 2007). Η πρώτη εμφανίζεται όταν το διάλειμμα μεταξύ των 2 παλμών είναι 10 msec (ΔΗ-Α10) ενώ η δεύτερη παρουσιάζεται όταν το διάλειμμα μεταξύ των παλμών είναι 40 msec (ΔΗ-Α40). Οι δύο αυτές μορφές ΔΗ-Α πιθανά ελέγχονται από διαφορετικούς μηχανισμούς (Chen et al., 2003) αλλά το σύστημα των νευροδιαβιβαστών που ευθύνονται για την ύπαρξη των

δύο αυτών μορφών δεν κατάφερε να αποσαφηνιστεί (Kukaswadia et al., 2005). Στην έρευνα των Lee και συν. (2007) τονίζεται ότι η Μ_{ικρή}ΔΕΦ-Α και η Μ_{εγάλη}ΔΕΦ-Α μειώνουν στο ίδιο ποσοστό την ΔΗ-Α10 και την ΔΗ-Α40 όπως επίσης και το αποτέλεσμα της πυραμιδικής οδού. Επιπλέον, η ΕΦ-Δ αυξάνει την διέγερση της πυραμιδική οδού αλλά δεν μπορεί να επιδράσει πάνω στις μορφές της ΔΗ-Α όπως φαίνεται και στο σχήμα. Ακόμα, υποστηρίζουν ότι οι διαφορετικές επιπτώσεις της ενδοφλοιικής αναστολής στην πυραμιδική οδό και στις μορφές της ΔΗ-Α οφείλεται σε διαφορετικούς πληθυσμιακούς νευρώνες. Ακόμα η Μ_{ικρή}ΔΕΦ-Α και η Μ_{εγάλη}ΔΕΦ-Α μπορούν να προκαλέσουν συνολικά αναστολή τόσο της πυραμιδικής οδού τόσο στο σύστοιχο όσο και στο αντίθετο ημισφαίριο.

Στην έρευνα των Ferbert και συν. (1992), τονίζεται ότι η ΔΗ-Α μεταβάλλεται από την ένταση των παλμών κατά την εφαρμογή διπλού ΔΜΕ. Συγκεκριμένα, η αυξημένη ένταση του πρώτου παλμού μπορεί να αυξήσει τη διάρκεια της ΔΗ-Α ενώ η αύξηση της έντασης του δεύτερου παλμού μπορεί να αυξήσει την περιοχή και το βάθος της ΔΗ-Α. Επίσης, στην έρευνα τους μελέτησαν την περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η ΔΗ-Α. Συμπεραίνουν ότι ο ΔΜΕ αλλά και ο Διακρανιακός Ηλεκτρικός Ερεθισμός (ΔΗΕ) ενεργοποιούν τα ίδια ακριβώς νευρικά μονοπάτια αλλά με διαφορετικό τρόπο. Συγκεκριμένα, ο ΔΜΕ πιθανά ενεργοποιεί το αρχικό μέλος των πυραμιδικών νευρώνων ή τα σημεία συνάψεων των πυραμιδικών νευρώνων ενώ ο ΔΗΕ ενεργοποιεί απ' ευθείας τους πυραμιδικούς νευράξονες.

Όλες οι παραπάνω έρευνες υποστηρίζουν ότι η επικοινωνία μεταξύ των ΚΦ επιτυγχάνεται μέσα στο φλοιικό επίπεδο με τη βοήθεια του τυλώδους σώματος. Παρόλα αυτά όμως, κάποιες έρευνες προσπάθησαν να αποδείξουν την ύπαρξη άλλων μηχανισμών και πιθανών νευρικών συνάψεων που δεν συμβαίνουν μόνο σε φλοιικό επίπεδο αλλά να καταλήγουν σε επικοινωνία των δύο ΚΦ. Στην έρευνα των Gerloff και συν. (1998) εφαρμόστηκε διπλός παλμός ΔΜΕ με ποικίλα διαλειμματικά διαστήματα μεταξύ των παλμών και εξετάστηκαν τα ΚΠΔ σε μυϊκές ομάδες στην άκρα χείρα. Στα αποτελέσματά τους υποστηρίζουν ότι η αναστολή που παρουσιάζεται στον αντίθετο ΚΦ πιθανά να ρυθμίζεται από μηχανισμούς που συμβαίνουν χαμηλότερα από το επίπεδο του ΚΦ και όχι μόνο από συνάψεις που παρουσιάζονται μέσω του τυλώδους σώματος. Τα ίδια συμπεράσματα αναφέρονται και στην έρευνα των Ziemann και συν. (1999) υποστηρίζοντας ότι σίγουρα υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί που ελέγχουν αυτήν την επικοινωνία των ΚΦ καθώς ασθενής με πλήρη απουσία του τυλώδους σώματος κατάφερε να εμφανίσει σύστοιχα ΚΠΔ στην άκρα χείρα. Οι ερευνητές εξηγούν ότι, πιθανά αυτοί οι

μηχανισμοί είναι αδρανείς στους υγιείς ανθρώπους και ενεργοποιούνται σε περιπτώσεις παθήσεων. Ακόμα, εξηγούν ότι πιθανά αυτοί οι μηχανισμοί να μην έχουν ανακαλυφθεί από προηγούμενους ερευνητές καθώς απέδειξαν ότι οι μύες του θέναρος δεν μπορούν να παρουσιάσουν σύστοιχα ΚΠΔ συγκριτικά με τις υπόλοιπες μυϊκές ομάδες στην άκρα χείρα.

Οι Meyer και συν. (1995) μελέτησαν την εμφάνιση της ΔΗ-Α σε υγιείς και σε ασθενείς με ανωμαλίες στο τυλώδες σώμα. Στα αποτελέσματά τους αναφέρουν ότι με ένταση ερεθίσματος 80% η ΔΗ-Α στους υγιείς παρουσιάζεται κατά μέσο όρο 36,1 msec αργότερα από τη στιγμή που εφαρμόζεται ο ΔΜΕ και έχει διάρκεια περίπου ίση με 24,5 msec. Αντίθετα, στους ασθενείς με βλάβη στο τυλώδες σώμα, παρατηρείται ότι η έναρξη της ΔΗ-Α συμβαίνει αρκετά msec αργότερα ενώ ασθενής ο οποίος παρουσίαζε απλασία ενός τμήματος αλλά παρουσία του πρόσθιου τμήματος του μεσολοβίου εμφάνισε σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με τους υγιείς. Στα συμπεράσματά τους τονίζουν ότι, η ΔΗ-Α πιθανά εξαρτάται άμεσα από το τυλώδες σώμα και συγκεκριμένα από το πρόσθιο τμήμα του.

Αναστολή, διευκόλυνση και άσκηση

Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να μελετήσουν τη μεταβολή της ΕΦ-Α και ΕΦ-Δ κατά τη διάρκεια εκούσιας ενεργητικής μυϊκής σύσπασης παρατηρώντας την καταστολή των ΚΠΔ. Σε έρευνες, που εφαρμόστηκε μονός (Stinear & Byblow, 2003) και διπλός (Ortu et al., 2008; Ridding, Taylor & Rothwell, 1995; Zoghi et al., 2003) παλμός ΔΜΕ σε υγιές δείγμα, κατά τη διάρκεια ετερόπλευρης ενεργητικής σύσπασης του 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ, συμπεραίνεται ότι μετά από ενεργητική μυϊκή σύσπαση αυξάνεται η διέγερση της κινητικής οδού στον ΚΦ ενώ ταυτόχρονα μειώνονται η Μ_{ικρή}ΔΕΦ-Α και η Μ_{εγάλη}ΔΕΦ-Α (Ridding et al., 1995). Επίσης η διευκόλυνση παρουσιάζεται μόνο στο 10% και στο 25% της μέγιστης μυϊκής σύσπασης ενώ δεν μπορεί να παρουσιαστεί όταν η ένταση της μυϊκής σύσπασης ξεπερνά το 50% (Ortu et al., 2008). Ακόμα, όταν εφαρμοστεί ΔΜΕ κατά τη διάρκεια μέτριας μυϊκής σύσπασης, τότε παρουσιάζεται αύξηση της ΕΦ-Α και ταυτόχρονη καταστολή της πυραμιδικής οδού για τις μη συμμετέχοντες μυϊκές ομάδες. Επιπλέον, παρουσιάζεται καταστολή της ΕΦ-Α κατά τη διάρκεια σύσπασης μίας μυϊκής ομάδας ενώ αντίθετα εκδηλώνεται αύξηση της αναστολής στα διαστήματα χαλάρωσης της ίδιας μυϊκής ομάδας. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της ΕΦ-Α αποτελεί προστατευτικό μηχανισμό για την αποφυγή ανεπιθύμητης υπερβολικής μυϊκής σύσπασης (Stinear & Byblow, 2003; Zoghi et al., 2003), ρυθμίζει τα επίπεδα διέγερσης

της πυραμιδικής οδού (Zoghi et al., 2003) και πως κατέχει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση της κίνησης και στη μη συνεργασία μυϊκών ομάδων με στόχο την εμφάνιση επιλεκτικής μυϊκής σύσπασης για τις λεπτές κινήσεις στην άκρα χείρα (Stinear & Byblow, 2003).

Η ένταση της ΕΦ-Α μέσα στον ΚΦ δεν σχετίζεται με μία μόνο συγκεκριμένη μυϊκή δραστηριότητα αλλά αυξάνεται μόνο στα διαστήματα χαλάρωσης της μυϊκής ομάδας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μίας κίνησης. Από αυτό συμπεραίνεται ότι κατά τη διάρκεια μίας μυϊκής σύσπασης παρουσιάζεται μείωση της διέγερσης της πυραμιδικής οδού έτσι ώστε να υπάρχει επιλεκτική ενεργοποίηση μίας μόνο μυϊκής ομάδας για τον έλεγχο των λεπτών κινήσεων στα χέρια. Ακόμα, τονίζεται ότι η ΕΦ-Α κατέχει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του ΚΦ. (Stinear & Byblow, 2003).

Η επίδραση της μυϊκής σύσπασης φαίνεται ότι αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο για την μελέτη των φαινομένων που αναπτύσσονται μέσα στον ΚΦ. Το ενεργητικό κατωφλικό ερέθισμα για την $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ είναι στο 60% ενώ αντίθετα για την $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-}\Delta$ είναι στο 80%. Αυτή η διαπίστωση αποτελεί τη βάση για την μελέτη αυτών των δύο μηχανισμών κατά τη διάρκεια της μυϊκής χαλάρωσης και της μυϊκής σύσπασης. Έτσι κατά τη διάρκεια χαλάρωσης των μυϊκών ομάδων το ενεργητικό κατωφλικό ερέθισμα για την $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ είναι 80-90% ενώ για την $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-}\Delta$ είναι 100%. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια μελέτης των φαινομένων αυτών εάν η ένταση του ερεθισμού δεν ξεπερνά το 90% ενεργοποιείται μόνο η $M_{\text{ικρή}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ καθώς η διευκόλυνση είναι πολύ αδύνατη για να παρουσιαστεί μέσα στον ΚΦ. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του 10% της μυϊκής σύσπασης και όταν το ερέθισμα που δίνεται είναι στο 80-90% του ενεργητικού κατωφλικού ερεθίσματος είναι ικανό να ενεργοποιήσει και την αναστολή και την διευκόλυνση με αποτέλεσμα αυτοί οι δύο μηχανισμοί να ανταγωνίζονται μεταξύ τους μέσα στον ΚΦ, ενώ αν η ένταση του ερεθίσματος είναι στο 70% ενεργοποιείται μόνο η αναστολή καθώς το ερέθισμα είναι αρκετά αδύναμο για να παρουσιαστεί και η διευκόλυνση. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την μελέτη των φαινομένων μέσα στον ΚΦ όταν παρουσιάζεται κάποιας μορφής δυσλειτουργία η οποία δεν επιτρέπει την πλήρη μυϊκή χαλάρωση των ασθενών. (Ortu et al., 2008)

Ο Chen και συν. (2003) μελέτησαν την ΔΗ-Α με τη βοήθεια του διπλού παλμού όπου ο πρώτος παλμός εφαρμόστηκε στον δεξιό ΚΦ ενώ ο δεύτερος παλμός στον αριστερό ΚΦ. Το δείγμα βρισκόταν σε πλήρη μυϊκή χαλάρωση ή πραγματοποιούσε ισομετρική σύσπαση με ένταση 50% στον δεξιό 1^ο ραχιαίο μεσόστεο μυ. Τα διαλείμματα μεταξύ των δύο παλμών που μελετήθηκαν ήταν στα 8 msec και στα 40 msec. Στα

αποτελέσματα τους αναφέρουν ότι, η ΔΗ-Α στο διάλειμμα των 8 msec ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της πλήρης χαλάρωσης, ενώ στο διάλειμμα των 40msec η ΔΗ-Α ήταν ίδια είτε το δείγμα ήταν σε πλήρη χαλάρωση είτε όταν πραγματοποιούσε μυϊκή σύσπαση του ομόπλευρου 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ. Ακόμα, στην έρευνα των Ferbert και συν. (1992) τονίζεται ότι 30-35 msec αργότερα από την εφαρμογή του 1^{ου} παλμού εμφανίζεται η ΔΗ-Α και διαρκεί περίπου 35 msec μέχρι το καταγραφόμενο ΗΜΓ να επανέλθει στην ίδια ένταση πριν από την εφαρμογή του παλμού και πως η ετερόπλευρη άσκηση του 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ μπορεί να αυξήσει τη ΔΗ-Α.

Ιδανικότερος τρόπος για την αξιολόγηση του φαινομένου της αναστολής κατά τη διάρκεια εκούσιας ενεργητικής μυϊκής σύσπασης είναι η μελέτη της Σιωπηλής Περιόδου (ΣΠ) (Giovanelli et al., 2009; Ni, Gunraj & Chen, 2007). Όταν εφαρμοστεί μονός παλμός ΔΜΕ με ένταση μεγαλύτερη από το κατωφλικό κινητικό ερέθισμα στον ΚΦ κατά τη διάρκεια ετερόπλευρης ενεργητικής μυϊκής σύσπασης, τότε εμφανίζεται ΚΠΔ στους στοχευόμενους μύες ακολουθούμενο από την $E_{\text{τερ}}\Sigma\Pi$. Αντίστοιχα, η $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$, αναφέρεται ως η διακοπή του συνεχιζόμενου ΗΜΓ όταν εφαρμοστεί μονός παλμός ΔΜΕ στον ΚΦ κατά τη διάρκεια ομόπλευρης εκούσιας μυϊκής σύσπασης (Ferbart et al., 1992; Reis et al., 2008) και παρουσιάζεται 30-40 msec μετά από την εφαρμογή του παλμού ενώ έχει διάρκεια περίπου 25msec (Giovanelli et al., 2009). Στην έρευνα των Ni και συν. (2007) μελετήθηκε πως η $M_{\text{ικρ}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ και η ΕΦ-Δ στον αριστερό ΚΦ μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της $E_{\text{τερ}}\Sigma\Pi$ μετά από εκούσια ενεργητική μυϊκή σύσπαση του δεξιού 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ κατά την εφαρμογή τριπλού παλμού ΔΜΕ. Στα αποτελέσματά τους αναφέρεται, ότι κατά τη διάρκεια της $E_{\text{τερ}}\Sigma\Pi$ παρουσιάζεται καταστολή της $M_{\text{ικρ}}\Delta\text{ΕΦ-Α}$ ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της ΕΦ-Δ.

Επιπλέον, αναφέρεται ότι κατά τη φάση της πλήρης χαλάρωσης η ΔΗ-Α σχετίζεται με την εμφάνιση της $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$ και της περιοχής της αναστολής λόγω της υψηλής έντασης του ερεθισμού και πως αν η ένταση του ερεθισμού είναι μικρότερη τότε δεν παρουσιάζεται καμία συσχέτιση. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της μυϊκής ενεργοποίησης δεν παρουσιάζεται απολύτως καμία συσχέτιση μεταξύ της ΔΗ-Α, της $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$ και της περιοχής της αναστολής σε κανένα από τα διαλείμματα μεταξύ των παλμών και σε καμία ένταση ερεθισμού (Chen et al., 2003). Ακόμα παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η ένταση του ερεθίσματος, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η διάρκεια της $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$ στους υγιείς ενώ οι ασθενείς εμφάνισαν μικρότερη διάρκεια $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$ και απαιτούσαν μεγαλύτερη ένταση ερεθίσματος έως και 20% για να μπορέσουν να παρουσιάσουν την ίδια διάρκεια $O_{\text{μόπλ}}\Sigma\Pi$ (Meyer et al., 1995). Παρόλα αυτά, λίγα στοιχεία παρουσιάζονται στη

βιβλιογραφία, για το πώς η εκούσια ενεργητική μυϊκή κίνηση μπορεί να μεταβάλλει την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$. Η μόνη έρευνα που υπάρχει, είναι η έρευνα των Giannopoulou και συν. (2009) στην οποία εφαρμόστηκε μονός παλμός ΔΜΕ στον δεξιό ΚΦ την στιγμή που δεξιά παρουσιαζόταν μέγιστη ισομετρική σύσπαση του 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ ενώ αριστερά εφαρμόζόταν διάφορες εκούσιες ενεργητικές κινήσεις στον αντίστοιχο μυ. Στο πρώτο μέρος τις πειραματικής τους διαδικασίας επιλέχθηκαν αριστερά οι εξής κινήσεις: (1) μέγιστη ισομετρική σύσπαση, (2) επαναλαμβανόμενη ένωση αντίχειρα και δείκτη, (3) επαναλαμβανόμενα χτυπήματα του αντίχειρα πάνω σε επίπεδη επιφάνεια με την παλάμη πλήρως επαπτόμενη στην επιφάνεια αυτή και (4) πλήρη χαλάρωση. Αντίστοιχα, στο δεύτερο μέρος του πειράματος τους, εφαρμόστηκε νοερή απεικόνιση με το δείγμα να σκέπτεται ότι εφαρμόζει την κίνηση (1) και (4) στο αριστερό χέρι, διατηρώντας όμως την μέγιστη ισομετρική σύσπαση δεξιά. Στα αποτελέσματά τους αναφέρεται ότι, η $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$ ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια εφαρμογής των ενεργητικών κινήσεων (1), (2) και (3) συγκριτικά με την πλήρη χαλάρωση αριστερά. Επίσης κατά τη μέγιστη ισομετρική σύσπαση αριστερά, παρουσιάστηκε μεγαλύτερη μεταβολή της $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$ συγκριτικά με τις κινήσεις (2) και (3) οι οποίες, όπως αποδείχτηκε, αύξησαν στο ίδιο βαθμό την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$. Ακόμα κατά τη διάρκεια της νοερής απεικόνισης, μόνο η μέγιστη ισομετρική σύσπαση κατάφερε να μεταβάλλει την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$.

Όπως αποδείχτηκε, τα φαινόμενα της αναστολής και της διευκόλυνσης κατέχουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του ΚΦ και στον ομαλό έλεγχο των ανθρώπινων κινήσεων. Επίσης, αποδείχτηκε ότι η εκούσια ενεργοποίηση του ΚΦ κατά τη διάρκεια ετερόπλευρων ενεργητικών κινήσεων, μπορεί να αυξήσει την ΔΗ-Α του αντίθετου ΚΦ και να μεταβάλλει την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$. Παρόλα αυτά όμως, αναπάντητο παραμένει το ερώτημα αν η πολυπλοκότητα των ενεργητικών κινήσεων και της νοερής απεικόνισης μπορούν να μεταβάλλουν στον ίδιο ή μεγαλύτερο βαθμό την ΔΗ-Α και την $O_{\text{μολ}}\Sigma\Pi$.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγμα

Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από 12 υγιή δεξιόχειρα άτομα (9 άντρες και 3 γυναίκες, με μέσο όρο ηλικίας 27.8 ετών, εύρους 23-38 ετών). Και οι 12 συμμετέχοντες εξετάστηκαν από νευρολόγο για να διαπιστωθεί ότι ήταν απόλυτα υγιείς. Επίσης, για τη συμμετοχή τους υπέγραψαν υπεύθυνη δήλωση όπου διαβεβαίωσαν ότι συμμετείχαν εθελοντικά στην πειραματική διαδικασία. Για να διαπιστωθεί ότι όλοι οι συμμετέχοντες είχαν ως κυρίαρχο άκρο το δεξί χέρι, αξιολογήθηκαν με το Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971).

Χώρος διεξαγωγής της έρευνας

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Sciences et Techniques des Activites Physiques et Sportives της Βουργουνδίας στη Ντιζόν της Γαλλίας και στο εργαστήριο INSERM U 887 Motricité-Plasticité. Η εφαρμογή του ΔΜΕ εφαρμόστηκε σε άνετο και ήσυχο δωμάτιο θερμοκρασίας $22 \pm 2^\circ \text{C}$.

Περιγραφή των οργάνων

α) ηλεκτρομυογράφος

Για την καταγραφή των ΚΠΔ χρησιμοποιήθηκε ο Ηλεκτρομυογράφος Biopac MP150 Acquisition System (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara, CA, USA) και δυο ενισχυτές Zero EMG 100C οι οποίοι συνδέθηκαν με καλώδια Clip Lead 110A και ηλεκτρόδια ΗΜΓ EL504 με διάμετρο 1 εκ.

β) διακρανιακός μαγνητικός ερεθισμός

Για την εφαρμογή του ΔΜΕ χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή Magstim 200 και διπλό πηνίο σε σχήμα οκτώ μεγέθους 9 εκ. το κάθε ένα (Magstim Co., Whitland, Wales, UK). Για την διευκόλυνση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε βάση στήριξης πηνίου με δυνατότητα προσαρμογής ύψους και σπάσιμο σε τρία σημεία.

γ) ένας ηλεκτρονικός μετρονόμος

Προετοιμασία πριν από την πειραματική διαδικασία

Για τον ηλεκτρομυογράφο: Αρχικά, καθαρίστηκε με αντισηπτικό η περιοχή του αντιθετικού μυ του αντίχειρα (δεξιά και αριστερά). Για τη εύρεση των σημείων τοποθέτησης των ηλεκτροδίων ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να πραγματοποιήσουν ισομετρική σύσπαση με ένωση αντίχειρα και δείκτη. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν δύο ζευγάρια ηλεκτροδίων (ένα δεξιά και ένα αριστερά) πάνω στη γαστέρα του μυός και παράλληλα στην κατεύθυνση των μυϊκών του ινών σε απόσταση μεταξύ τους περίπου 2 εκ και σε θέση όπου επιτρεπόταν άνετα την κίνηση του αντίχειρα. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετήθηκε στο δεξιό ωλέκραιο. Για τον έλεγχο της ποιότητας του ΗΜΓ πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, ζητήθηκε σύσπαση και χαλάρωση του αντιθετικού μυ του αντίχειρα έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η καταγραφή ενός καθαρού και όχι θορυβώδους ΗΜΓ.

Για τον διακρανιακό μαγνητικό ερεθισμό: Η θέση του αριστερού ΚΦ εντοπίστηκε 45 μοίρες πλάγια από την κορυφή του κρανίου (Giovannelli et al., 2009; Lee et al., 2007). Για την επιβεβαίωση του κατάλληλου σημείου του ΚΦ, το οποίο ελέγχει την κίνηση του αντιθετικού μυ του αντίχειρα, πραγματοποιήθηκαν προσεκτικές δοκιμαστικές εφαρμογές ΔΜΕ στον αριστερό ΚΦ με ένταση 70% (2,2 Tesla) (Lee et al., 2007) έτσι ώστε να παρουσιάζεται ΚΠΑ στον δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα. Μετά την εύρεση του κατάλληλου σημείου, με έναν μαρκαδόρο έγινε η σήμανσή του για την εύκολη εύρεση του ξανά και τη σωστή τοποθέτηση του πηνίου κατά διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Τέλος, βρέθηκε το κατωφλικό κινητικό ερέθισμα το οποίο ορίζεται ως η ένταση του μαγνητικού ερεθίσματος το οποίο μπορεί να προκαλέσει ΚΠΑ μεγαλύτερα από 50 μV για τουλάχιστον 5 συνεχόμενες προσπάθειες (Ni, Anastakis, Gunraj, & Chen, 2009; Stinear & Byblow, 2003; Ortu et al., 2008). Η ένταση του μονού παλμού που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ήταν 120% από το κατωφλικό κινητικό ερέθισμα (Giovannelli et al., 2009).

Πειραματική διαδικασία

Θέση του δείγματος: Το δείγμα καθόταν σε καρέκλα με πλήρη υποστήριξη σώματος και κεφαλής. Τα βραχιόνια τοποθετούνταν δίπλα στο σώμα και σε θέση απαγωγής λιγότερη από 5° και γωνία κερκιδωλένιας άρθρωσης 110° (πλήρη έκταση αγκώνα 180°).

Τα αντιβράχια τοποθετούνταν σε υπτιασμό και οι άκρες χείρες ήταν ευθυγραμμισμένες με τα αντιβράχια.

Εντολές: Την ώρα που ο εξεταστής έλεγε «Go!» ο κάθε συμμετέχοντας έκανε εκούσια μέγιστη ισομετρική σύσπαση του αριστερού αντιθετικού μυ του αντίχειρα ενώ δεξιά ακολουθούσε τα στάδια των συνθηκών που του δίνονταν κάθε φορά (περιγράφονται παρακάτω). Αντίστοιχα, τη στιγμή που άκουγε «Stop!» χαλαρώνε τις μυϊκές ομάδες και ξεκουραζόταν.

Συνθήκη 1^η. Ενεργητικές κινήσεις αντιθετικού μυ του αντίχειρα: Η συνθήκη αποτελούνταν από 4 πειραματικές μορφές κίνησης (I, II, III, IV) και μία μορφή ελέγχου (V). Ο βασικός πειραματικός σχεδιασμός ήταν ο εξής: Όλοι οι συμμετέχοντες εφάρμοζαν στο αριστερό χέρι μέγιστη ισομετρική σύσπαση μεταξύ αντίχειρα και δείκτη (συστάθηκε στο δείγμα να πιέζει τις παλαμιαίες επιφάνειες των ονυχοφόρων φαλαγγών αντίχειρα και δείκτη όσο πιο δυνατά μπορούσε) ενώ ταυτόχρονα το δεξί χέρι βρισκόταν σε πλήρη χαλάρωση ή εφάρμοζε ενεργητικές κινήσεις. Για την καθοδήγηση του δείγματος χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός μετρονόμος συχνότητας 2 Hz και συστάθηκε στους συμμετέχοντες να εφαρμόσουν τις κινήσεις από κάθε μορφή, τη στιγμή που θα ακούγανε τον ήχο.

Μορφή I: Σε αυτή τη μορφή το δεξί χέρι βρισκόταν σε πλήρη χαλάρωση.

Μορφή II (απλή): Εφαρμόστηκε ένωση μεταξύ αντίχειρα και δείκτη.

Μορφή III (δύσκολη): Πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες αντιθετικές κινήσεις του αντίχειρα μεταξύ όλων των υπόλοιπων δαχτύλων. Η σειρά των κινήσεων ήταν η εξής: αντίχειρας-δείκτης, αντίχειρας-μέσος δάχτυλος, αντίχειρας-παράμεσος δάχτυλος και αντίχειρας-μικρός δάχτυλος.

Μορφή IV (πολύπλοκη): Στη μορφή αυτή πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενα οι παραπάνω κινήσεις αλλά με διαφορετική σειρά. Η σειρά των κινήσεων ήταν: αντίχειρας-δείκτης, αντίχειρας-μικρός δάχτυλος, αντίχειρας-μέσος δάχτυλος και αντίχειρας-παράμεσος δάχτυλος.

Μορφή V (ελέγχου): Οι συμμετέχοντες εφάρμοζαν υπομέγιστη ισομετρική σύσπαση μεταξύ αντίχειρα και δείκτη. Πιο συγκεκριμένα, στη μορφή αυτή έπρεπε η μυϊκή σύσπαση να είναι ανάλογη με τη μυϊκή σύσπαση που εφαρμόστηκε στη μορφή II. Για να γίνει αυτό, έπρεπε να υπάρχει οπτική καθοδήγηση από την προηγούμενη ηλεκτρομυογραφική καταγραφή για το επίπεδο της σύσπασης του αντιθετικού μυ του αντίχειρα.

Συνθήκη 2^η. Νοερή απεικόνιση της κίνησης: Ο βασικός πειραματικός σχεδιασμός είναι ο εξής: Όλοι οι συμμετέχοντες εφάρμοζαν στο αριστερό χέρι μέγιστη ισομετρική σύσπαση μεταξύ αντίχειρα και δείκτη (όπως και στη 1^η συνθήκη) ενώ ταυτόχρονα το δεξί χέρι βρισκόταν σε πλήρη χαλάρωση (I) ή εφάρμοζε νοερή απεικόνιση με τις κινήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις μορφές κίνησης II, III και IV της 1^{ης} συνθήκης. Από τη δεύτερη συνθήκη απουσιάζει η μορφή V (ελέγχου) της 1^{ης} συνθήκης. Στο δείγμα δόθηκαν οδηγίες έτσι ώστε να κάνουν νοερή απεικόνιση σκεπτόμενοι ότι την δραστηριότητα την πραγματοποιούν οι ίδιοι, χωρίς να παρουσιάζεται σύσπαση στον δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα. Στόχος τους ήταν να νιώθουν την ένωση μεταξύ των ονυχοφόρων φαλαγγών αντίχειρα και των υπόλοιπων δαχτύλων ακολουθώντας τον ρυθμό που τους δόθηκε από τον ηλεκτρονικό μετρονόμο.

Συλλογή δεδομένων

Όταν δινόταν η εντολή στο συμμετέχοντα ξεκινούσε η ΗΜΓ καταγραφή και ο ασκούμενος πραγματοποιούσε το κάθε στάδιο της 1^{ης} και της 2^{ης} συνθήκης που του δόθηκε. Την στιγμή όπου συνέβαινε η ένωση του αντίχειρα με τα υπόλοιπα δάχτυλα, εφαρμόστηκε στον αριστερό ΚΦ μόνος παλμός ΔΜΕ με ένταση 120% από το καταωφλικό κινητικό ερέθισμα (όπως αναφέρεται στο στάδιο προετοιμασίας). Στη συνέχεια, ο ασκούμενος άκουγε την εντολή «Stop!» χαλάρωνε τις μυϊκές ομάδες, η καταγραφή του ΗΜΓ σταματούσε και το πηνίο απομακρύνονταν από το κρανίου του ασκούμενου.

Κατά τη συλλογή δεδομένων, καταγράφηκαν 20 προσπάθειες από τις μορφές κινήσεων I, II, III, IV, V της 1^{ης} συνθήκης (συνολικά 100 προσπάθειες) και 20 προσπάθειες για κάθε ένα από τις μορφές κινήσεων I, II, III και IV της 2^{ης} συνθήκης (συνολικά 80 προσπάθειες). Η διάρκεια της κάθε προσπάθειας για τις συνθήκες 1 και 2 ήταν 2sec και 4sec αντίστοιχα με διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών 10sec και όποτε ζητήθηκε από τον συμμετέχοντα.

Η καταγραφή του ΗΜΓ αφορούσε τα ΚΠΔ στο δεξί χέρι και την παρουσία της $O_{\mu\text{opl}}\Sigma\Pi$ στο αριστερό χέρι. Για την ενίσχυση της ΗΜΓ καταγραφής εφαρμόστηκαν φίλτρα εύρους 10 Hz έως 1 kHz και η συχνότητα καταγραφής ήταν 2 kHz. Επίσης, ο συνολικός χρόνος ΗΜΓ καταγραφής που μελετήθηκε για κάθε προσπάθεια ήταν 1,5 sec με τον διακρανιακό ερεθισμό να βρίσκεται 0,5 sec μετά από την έναρξη της ΗΜΓ καταγραφής. Για την αποφυγή της μυϊκής ενεργοποίησης του δεξιού αντιθετικού μυ του αντίχειρα στη μορφή I της 1^{ης} συνθήκης και κατά τη διάρκεια της 2^{ης} συνθήκης (όπου

απαιτείται πλήρη χαλάρωση του συγκεκριμένου μυ), η προσπάθεια δεν λήφθηκε υπ όψιν σε περίπτωση που υπήρξε κατά την καταγραφή του ΗΜΓ απόκλιση από τη βασική γραμμή για περισσότερο από 20ms.

Η συγκέντρωση όλων των προσπαθειών έγινε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με τον ηλεκτρομυογράφο Biopac MP150 Acquisition System και μέσω του προγράμματος Acq-Knowledge 4.1.

Ανάλυση δεδομένων

Αξιολόγηση της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$: Επειδή ήταν δύσκολο να αναγνωριστεί η $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ για κάθε προσπάθεια ξεχωριστά, πραγματοποιήθηκε άθροιση και των 20 προσπαθειών του κάθε συμμετέχοντα για κάθε μία από τις 9 μορφές κίνησης (5 μορφές από την 1^η συνθήκη και 4 από την 2^η συνθήκη). Η έναρξη της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ ορίστηκε από τη στιγμή που το εύρος του ΗΜΓ άρχισε να μειώνεται μετά από την εφαρμογή του ΔΜΕ και να παραμένει για τουλάχιστον 10ms. Αντίστοιχα, το τέλος της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ ορίστηκε ως το πρώτο σημείο όπου η καταγραφή του ΗΜΓ άρχιζε πάλι να αποκαθίσταται και να παρουσιάζει το αρχικό εύρος όπως πριν από την εφαρμογή του ΔΜΕ. Η διάρκεια της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ ορίστηκε ως εξής:
 $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi(\text{διάρκεια})} = O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi(\text{τέλος})} - O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi(\text{αρχή})}$.

Αξιολόγηση του εύρους των ΚΠΔ: Το εύρος των ετερόπλευρων ΚΠΔ (στον δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα) αξιολογήθηκε από τον υπολογισμό της μέγιστης θετικής κορυφής ως τη μέγιστη αρνητική κορυφή (peak-to-peak) για κάθε προσπάθεια ξεχωριστά σε όλες τις ακατέργαστες ΗΜΓ καταγραφές.

Στατιστική ανάλυση

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS 18.0. Υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές για την διάρκεια της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ και το εύρος των ΚΠΔ για κάθε συμμετέχοντα σε κάθε μία από τις 9 μορφές κίνησης και των 2 συνθηκών. Χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated Measures - ANOVA) όπου κάθε μεταβλητή (διάρκεια της $O_{\text{μοπλ}\Sigma\Pi}$ και εύρος των ΚΠΔ) εισήχθη ξεχωριστά στο RM-ANOVA με ανεξάρτητες μεταβλητές τα στάδια από κάθε συνθήκη ακολουθούμενη από test πολλαπλών συγκρίσεων LSD. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0.05$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μεταβολή της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου κατά τη διάρκεια ενεργητικών κινήσεων

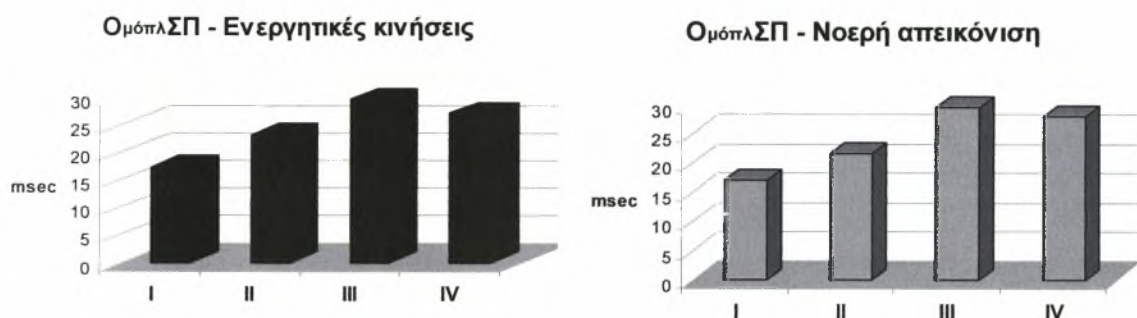
Η ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις παρουσίασε σημαντική επίδραση της μορφής των ενεργητικών κινήσεων στη διάρκεια της $O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ ($F_{3,33}= 34.087$, $p<0.001$) (Πίνακας 1 και 3, Σχήμα 5). Τα test πολλαπλών συγκρίσεων έδειξαν ότι όλες οι μορφές κίνησης II, III και IV του δεξιού χεριού έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου της $O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ ($M_{II}=23.167\pm 1.319$ msec, $SE_{II}=4.569$, $M_{III}=29.500 \pm 0.951$ msec, $SE_{III}=3.296$ και $M_{IV}= 27.167 \pm 1.199$ msec, $SE_{IV}=4.152$) συγκριτικά με την πλήρη χαλάρωση (1^η μορφή κίνησης) όπου $M_I= 17.375 \pm 1.625$ msec, $SE_I=5.629$. Επίσης, από την παραπάνω ανάλυση αποδείχτηκε ότι υπήρχε στατιστική σημαντική διαφορά στην μεταβολή της διάρκειας της $O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ μεταξύ των μορφών κινήσεων: I-II, $p= 0.002$, I-III, $p<0.001$, I- IV, $p<0.001$, II-III, $p<0.001$ και μεταξύ των μορφών κινήσεων II-IV, $p< 0,001$. Αντίθετα, δεν αποδείχτηκε στατιστικά σημαντική η διαφορά μεταξύ των κινήσεων III-IV στη μεταβολή της διάρκειας της $O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$, $p> 0.05$.

Πίνακας 1. Εμφάνιση της $O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ για κάθε συμμετέχοντα της έρευνας

	$O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ (msec) – Ενεργητικές Κινήσεις				$O_{\text{μοπλ.}\Sigma\Pi}$ (msec) – Νοερή Απεικόνιση			
	Μορφή I	Μορφή II	Μορφή III	Μορφή IV	Μορφή I	Μορφή II	Μορφή III	Μορφή IV
1	19,500	25,000	27,000	29,00	18,000	21,000	24,500	29,500
2	11,500	16,000	25,500	24,00	14,500	15,500	26,000	20,000
3	25,500	28,000	31,000	30,50	19,500	24,000	34,000	31,000
4	18,000	25,000	30,500	31,50	21,500	26,000	28,000	31,000
5	23,500	26,000	30,500	31,00	28,000	29,500	33,500	32,500
6	17,500	19,000	23,000	26,00	12,500	19,500	23,000	31,500
7	9,500	26,000	33,000	22,00	16,500	18,000	25,000	27,000
8	15,500	21,000	30,000	22,00	14,000	17,000	24,500	18,500
9	15,500	16,000	30,500	22,00	9,500	19,000	25,000	27,000
10	27,000	29,000	33,500	31,00	21,500	27,500	39,000	29,500
11	12,000	20,000	26,500	24,50	15,000	16,000	37,000	29,500
12	13,500	27,000	33,000	32,50	15,000	26,500	35,000	30,000
M.O.	17,375	23,167	29,500	27,167	17,125	21,625	29,542	28,083

Μεταβολή της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου κατά τη διάρκεια κινήσεων νοερής απεικόνισης

Η ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις παρουσίασε σημαντική επίδραση της μορφής των κινήσεων της νοερής απεικόνισης του δεξιού χεριού στην διάρκεια της $O_{\text{μοπλ}}\Sigma\Pi$ ($F_{3,33}= 34.882$, $p<0.001$) (Πίνακας 1 και 3, Σχήμα 5). Από τα tests των πολλαπλών συγκρίσεων αποδείχτηκε ότι όλες οι μορφές άσκησης νοερής απεικόνισης II, III και IV του δεξιού χεριού έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου της $O_{\text{μοπλ}}\Sigma\Pi$ ($M_{II}= 21.625 \pm 1.405$ msec, $SE_{II}= 4.867$, $M_{III}= 29.542 \pm 1.652$ msec $SE_{III}= 5.723$ και $M_{IV}= 28.083 \pm 1.283$ msec, $SE_{IV}= 4.446$) συγκριτικά με την πλήρη χαλάρωση όπου $M_I= 17.125 \pm 1.426$ msec, $SE_I= 4.941$. Επίσης, από την παραπάνω ανάλυση αποδείχτηκε ότι υπήρχε στατιστική σημαντική διαφορά στην μεταβολή της διάρκειας της $O_{\text{μοπλ}}\Sigma\Pi$ μεταξύ των κινήσεων: I-II, $p<0.001$, I-III, $p<0.001$, I-IV, $p<0.001$, II-III, $p<0.001$ και μεταξύ των κινήσεων II-IV, $p<0,001$. Αντίθετα, δεν αποδείχτηκε στατιστικά σημαντική η διαφορά μεταξύ των κινήσεων III-IV πάνω στην μεταβολή της $O_{\text{μοπλ}}\Sigma\Pi$, $p= 0.385$.

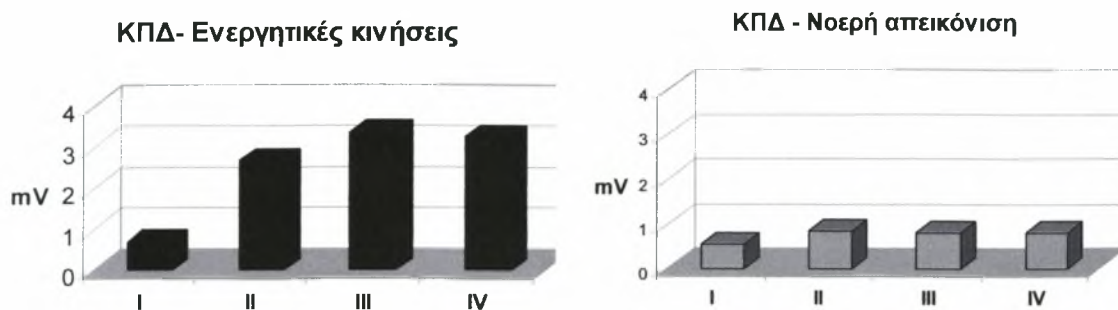


Σχήμα 5. Εμφάνιση της $O_{\text{μοπλ}}\Sigma\Pi$ κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών

Μεταβολή των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών κατά τη διάρκεια ενεργητικών κινήσεων

Από την ανάλυση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων αποδείχτηκε ότι ήταν σημαντική η επίδραση της μορφής των ενεργητικών κινήσεων πάνω στην εμφάνιση των ΚΠΔ ($F_{3,33}=43.790$, $p<0.001$) (Πίνακας 2 και 3, Σχήμα 6). Συγκεκριμένα, το εύρος του ΚΠΔ κατά τη διάρκεια της πλήρους χαλάρωσης ήταν $M_I=0.683 \pm 0.086$, $SE_I=0.299$ ενώ για τις κινήσεις II, III, IV ήταν αντίστοιχα $M_{II}=2,672 \pm 0.288$, $SE_{II}=0,997$, $M_{III}= 3.362 \pm 0,349$, $SE_{III}=1.208$, $M_{IV}=3.238 \pm 0.313$, $SE_{IV}=1.086$. Από τα test των πολλαπλών συγκρίσεων αποδείχτηκε επίσης ότι τα ζεύγη των κινήσεων I-II, I-III, I-IV, II-III και II-IV ήταν μεταξύ

τους στατιστικά σημαντικά για την μεταβολή των ΚΠΔ με $p < 0.05$ εκτός από το ζεύγος III-IV, $p = 0.260$.



Σχήμα 6. Εμφάνιση των ΚΠΔ κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών

Πίνακας 2. Εμφάνιση των ΚΠΔ για κάθε συμμετέχοντα της έρευνας

	ΚΠΔ (mV) – Ενεργητικές Κινήσεις				ΚΠΔ (mV) – Νοερή Απεικόνιση			
	Μορφή I	Μορφή II	Μορφή III	Μορφή IV	Μορφή I	Μορφή II	Μορφή III	Μορφή IV
1	0,556	2,481	3,52	2,98	0,322	0,678	0,724	0,589
2	0,337	4,28	4,84	4,77	0,86	1,349	0,92	1,12
3	0,7	1,79	1,89	1,94	0,603	0,829	0,713	0,7
4	0,222	2,31	2,46	2,27	0,5558	0,8452	0,8087	0,8051
5	0,74	3,39	3,49	2,88	0,92	1,23	1,18	0,97
6	0,82	1,71	2,11	2,29	0,203	0,243	0,241	0,631
7	0,368	3,82	5,06	5,15	0,174	0,646	0,43	0,402
8	1,1	3,03	4,99	4,56	0,262	0,561	0,558	0,518
9	0,91	1,36	1,67	2,09	0,23	0,51	0,66	0,53
10	0,94	3,41	4,18	3,52	0,88	1,08	1,38	1,23
11	0,427	1,27	2,95	2,98	0,48	0,581	0,6	0,646
12	1,08	3,21	3,18	3,43	1,18	1,59	1,49	1,52
M.O.	0,683	2,672	3,362	3,238	0,556	0,845	0,809	0,805

Μεταβολή των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών κατά τη διάρκεια των κινήσεων της νοεράς απεικόνισης

Από την ανάλυση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, παρουσιάστηκε σημαντική επίδραση της μορφής των κινήσεων πάνω στα ΚΠΔ του δεξιού αντιθετικού μυ του αντίχειρα ($F_{3,33} = 17.614$, $p < 0.001$) (Πίνακας 2 και 3, Σχήμα 6). Από τα test των πολλαπλών συγκρίσεων αποδείχτηκε ότι, όλες οι μορφές άσκησης II, III και IV μπορούν να αυξήσουν τα ΚΠΔ με μέσο όρο $M_{II} = 0.845 \pm 0.114$ mV, $SE_{II} = 0.394$, $M_{III} = 0.809 \pm 0.108$ mV, $SE_{III} = 0.376$, $M_{IV} = 0.805 \pm 0.097$ mV, $SE_{IV} = 0.338$ αντίστοιχα, συγκριτικά με την

πλήρη χαλάρωση όπου παρουσίασε μέσο όρο $M_I = 0.559 \pm 0.097$ mV, $SE_I = 0.336$. Επιπλέον, από την παραπάνω στατιστική ανάλυση αποδείχτηκε ότι τα ζεύγη των κινήσεων I-II, I-III και I-IV παρουσίασαν στατιστική σημαντική διαφορά στην μεταβολή της ΗΜΓ καταγραφής με $p < 0.001$ ενώ μεταξύ των κινήσεων II-III, II-IV, III-IV η στατιστική διαφορά δεν ήταν σημαντική, $p > 0.05$.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης

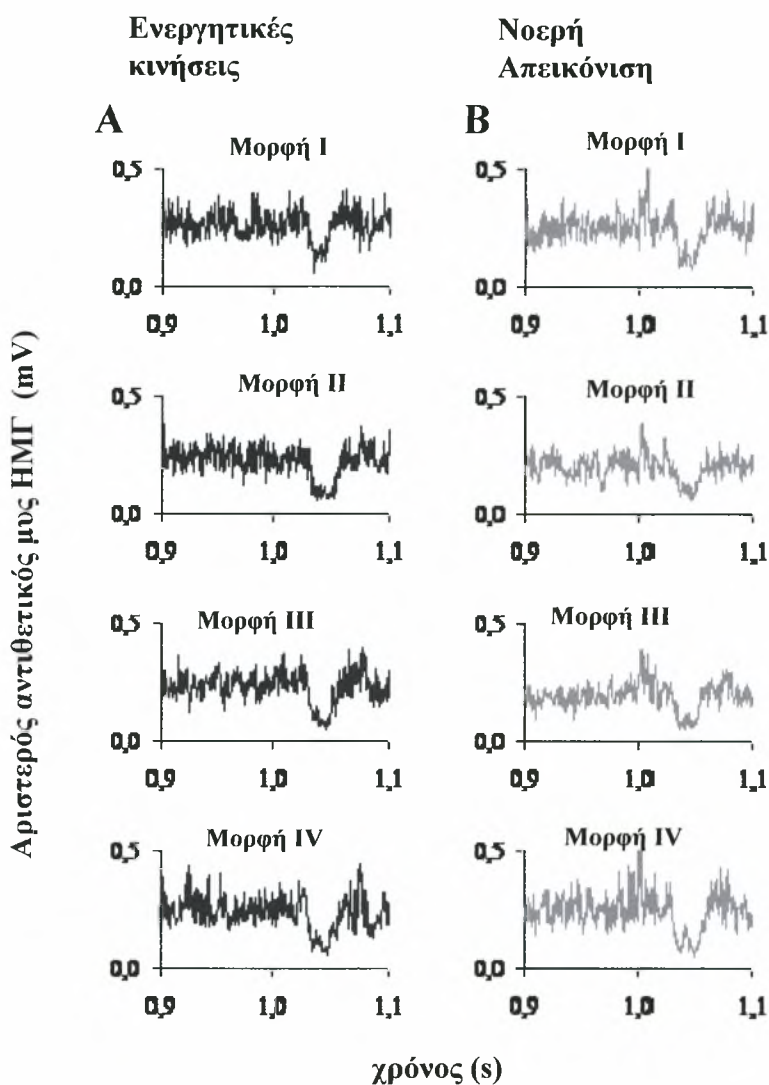
	Ενεργητικές Κινήσεις		Νοερή Απεικόνιση	
	Ομόπλ.ΣΠ	ΚΠΔ	Ομόπλ.ΣΠ	ΚΠΔ
	(msec)	(mV)	(msec)	(mV)
	M.O. \pm SD	M.O. \pm SD	M.O. \pm SD	M.O. \pm SD
Στάδιο I	17,375 \pm 1,625	0,683 \pm 0,299	17,125 \pm 1,426	0,559 \pm 0,097
Στάδιο II	23,167 \pm 1,319	2,672 \pm 0,288	21,625 \pm 1,406	0,845 \pm 0,114
Στάδιο III	29,500 \pm 0,951	3,362 \pm 0,349	29,542 \pm 1,652	0,809 \pm 0,108
Στάδιο IV	27,167 \pm 1,199	3,238 \pm 0,313	28,083 \pm 1,283	0,805 \pm 0,097
	F(3,33)=34,087	F(3,33)=43,790	F(3,33)= 34,882	F(3,33)=17,614
	p < 0,001	P < 0,001	p < 0,001	P < 0,001
Test Πολλαπλών	I-II: p=0,002	I-II: p<0,001	I-II: p=0,001	I-II: p<0,001
Συγκρίσεων	I-III: p<0,001	I-III: p<0,001	I-III: p<0,001	I-III: p<0,001
	I-IV: p<0,001	I-IV: p<0,001	I-IV: p<0,001	I-IV: p<0,001
	III-I: p<0,001	III-I: p<0,001	III-I: p<0,001	III-I: p<0,001
	III-II: p<0,001	III-II: p=0,004	III-II: p<0,001	III-II: p=0,498
	IV-II: p=0,001	IV-II: p=0,013	IV-II: p<0,001	IV-II: p=0,465
	IV-III: p= 0,098	IV-III: p=0,260	IV-III: p=0,385	IV-III: p=0,941

Σύγκριση της 1^{ης} και της 2^{ης} συνθήκης πάνω στις μεταβολές της διάρκειας της ομόπλευρης σιωπηλής περιόδου και του εύρους των κινητικών προκαλούμενων δυναμικών

Όσον αφορά τις δύο τελευταίες μηδενικές υποθέσεις της έρευνας, από την ανάλυση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, αποδείχτηκε σημαντική η στατιστική διαφορά των ενεργητικών κινήσεων και της νοερής απεικόνισης της κίνησης πάνω στην Ομόπλ.ΣΠ και στην εμφάνιση των ΚΠΔ

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, κατά την διάρκεια και της 1^{ης} αλλά και της 2^{ης} συνθήκης οι χρόνοι μεταβολής της Ομόπλ.ΣΠ παρουσιάζονται να είναι περίπου οι ίδιοι όπως φαίνονται και στον Πίνακα 3 και στα Σχήματα 5 & 7. Ακόμα, τα στάδια III και IV κατά τη διάρκεια και των δύο συνθηκών δεν παρουσιάζουν μεταξύ τους σημαντική στατιστική διαφορά με $p = 0,098$ και $p = 0,385$ αντίστοιχα.

Αντίθετα, στην εμφάνιση των ΚΠΔ οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι περισσότερο εμφανείς. Αποδεικνύεται ότι τα στάδια II, III και IV και στις δύο συνθήκες μεταβάλλουν την εμφάνιση των ΚΠΔ. Παρόλα αυτά, η ένταση των ΚΠΔ είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια των ενεργητικών κινήσεων όπως φαίνεται στον Πίνακα 3 και στα Σχήματα 6 & 7.



Σχήμα 7. Η απεικόνιση της $O_{\mu\sigma\lambda\Sigma\Pi}$ στον ΗΜΓ σε όλες τις μορφές κίνησης.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την έρευνα μας ξεκάθαρα αποδείχθηκε ότι σε υγιείς ανθρώπους οι ετερόπλευρες ενεργητικές κινήσεις του αντιθετικού μυ του αντίχειρα κατάφεραν να μεταβάλλουν την χρονική διάρκεια εμφάνισης της Ο_{μοπλ}ΣΠ και του εύρους των ΚΠΔ μετά από ΔΜΕ του αριστερού ΚΦ. Επιπλέον, αποσαφηνίστηκε ότι όσο πιο δύσκολο ήταν το στάδιο της κίνησης, τόσο περισσότερο αυξάνονταν η Ο_{μοπλ}ΣΠ και τα ΚΠΔ. Τα ίδια ενθαρρυντικά αποτελέσματα παρουσιάζονται και κατά την εφαρμογή της νοερής απεικόνισης της κίνησης.

Η μελέτη της Ο_{μοπλ}ΣΠ αποδείχτηκε ότι σχετίζεται με την εμφάνιση της ΔΗ-Α με την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται υψηλή ένταση παλμού (Chen et al, 2003) όπως εφαρμόστηκε και στην δική μας έρευνα. Παρόλο που η Ο_{μοπλ}ΣΠ αντιπροσωπεύει τη διακοπή της εκούσιας μυϊκής σύσπασης και η ΔΗ-Α αντανάκλα την αναστολή της ενεργοποίησης της πυραμιδικής οδού τελικά αποδείχθηκε ότι αποτελούν τα ίδια φαινόμενα καθώς αντανάκλουν την αναστολή του τυλώδους σώματος (Chen et al, 2003). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρουσιάζουν απόλυτη συμφωνία με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν υποστηρίζοντας ότι κατά την εφαρμογή του ΔΜΕ εκδηλώνεται η επικοινωνία μεταξύ των δύο ΚΦ (Ferber et al, 1992). Καθώς στην έρευνα μας συμμετείχαν μόνο υγιή άτομα, πιθανά αυτού του είδους η επικοινωνία να οφείλεται στην ύπαρξη του τυλώδους σώματος (Daskalakis et al, 2002; Ferbert et al, 1992; Kukaswadia et al, 2005; Lee et al 2007) και όχι μέσω μηχανισμών που συμβαίνουν χαμηλότερα από το επίπεδο του ΚΦ όπως παρουσιάζονται σε ασθενείς με πλήρη απουσία του μεσολοβίου (Meyer et al, 1995). Άλλωστε, όπως αποδείχθηκε, η εμφάνιση της Ο_{μοπλ}ΣΠ ελέγχεται από νευρώνες που διαπερνούν το τυλώδες σώμα (Ferber et al, 1992) και αυτό ενθαρρύνεται από το συμπέρασμα ότι διατηρείται η ύπαρξη της Ο_{μοπλ}ΣΠ σε ασθενείς οι οποίοι παρουσιάζουν βλάβη στον ΚΦ και διακοπή της πυραμιδικής οδού. (Chen et al, 2003)

Από προηγούμενες έρευνες αποδείχθηκε ότι κατά την εφαρμογή μονού ή διπλού παλμού ΔΜΕ η ενεργητική κίνηση του 1^{ου} ραχιαίου μεσόστεου μυ μπορεί να αυξήσει την ΕΦ-Α (Ortu et al, 2008; Ridding et al, 1995; Stinear & Byblow, 2003; Zoghi et al, 2003)

αλλά και την ΔΗ-Α (Chen et al., 2003; Ferbert et al., 1992; Giovannelli et al., 2009) παρουσιάζομενη ως προστατευτικός μηχανισμός για την αποφυγή υπερβολικής μυϊκής σύσπασης (Stinear & Byblow, 2003; Zoghi et al., 2003). Ακόμα αποδείχθηκε ότι η αναστολή η οποία παρουσιάζεται μέσα στον ΚΦ αποτελεί το βασικό μηχανισμό για την εμφάνιση των επιλεκτικών κινήσεων στα άκρα (Stinear & Byblow, 2003). Ακόμα από την έρευνα των Giovannelli και συν. (2009) αλλά και από τη δική μας, αποδείχθηκε ότι όσο δυσκολότερη είναι η κίνηση τόσο περισσότερο αυξάνεται και ο $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$ ενώ όπως αποδείχθηκε μόνο από μας η πολυπλοκότητα των κινήσεων δεν μπορεί να αυξήσει σε μεγαλύτερο βαθμό την εμφάνιση της $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$. Πιθανά αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι η $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$ μεταβάλλεται με βάση την ενεργοποίηση μίας μυϊκής ομάδας και όχι με βάση την σειρά εκτέλεσης και την πολυπλοκότητα της κίνησης. Άλλωστε, ήδη το στάδιο III της έρευνας μας, κατά την ένωση αντίχειρα και μικρού δαχτύλου ο αντιθετικός μυς του αντίχειρα ενεργοποιούσε όλες τις κινητικές του μονάδες πράγμα το οποίο διατηρούσε κατά το στάδιο IV εφαρμόζοντας όμως τις κινήσεις με διαφορετική σειρά.

Η επικοινωνία των ΚΦ αποδείχθηκε ότι παρουσιάζεται και κατά το στάδιο της νοερής απεικόνισης. Όπως αναφέρεται και στην έρευνα των Giovannelli και συν. (2009) η $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$ αυξήθηκε κατά την νοερή απεικόνιση της κίνησης αντίχειρα και δείκτη. Αυτό που επιπλέον απέδειξε όμως η δική μας έρευνα είναι ότι όσο πιο δύσκολη είναι η κίνηση, ακόμα και κατά τη διάρκεια της νοερής απεικόνισης, τόσο περισσότερο μεταβάλλεται και η $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$ με εξαίρεση το στάδιο IV όπως περιγράφηκε και στα αποτελέσματα.

Από την μελέτη των ΚΠΔ συμπεραίνεται ότι οι ενεργητικές κινήσεις αλλά και η νοερή απεικόνιση των κινήσεων μπορούν να μεταβάλλουν το εύρος εμφάνισης των ΚΠΔ στο δεξιό αντιθετικό μυ του αντίχειρα. Σε πλήρη χαλάρωση τονίζεται ότι για να μπορεί να μελετηθεί η ΔΗ-Α απαιτείται να εμφανίζεται ΚΠΔ εύρους 0,5 mV τουλάχιστον (Kukaswadia et al., 2005). Όπως φαίνεται και στα αποτελέσματά της έρευνας μας (Πίνακας 1) το εύρος των ΚΠΔ σε κάθε στάδιο της έρευνας ήταν ικανό να μας δώσει τη δυνατότητα να μελετήσουμε την ΔΗ-Α όπως αυτή εκδηλώθηκε στον δεξιό ΚΦ. Κατά τη διάρκεια των ενεργητικών κινήσεων το εύρος των ΚΠΔ ήταν σαφώς μεγαλύτερο συγκριτικά με τη νοερή απεικόνιση των κινήσεων. Αξιοσημείωτο όμως είναι το γεγονός ότι το εύρος τους μεταβάλλεται σημαντικά ακόμα και κατά τη διάρκεια της νοερής απεικόνισης της κίνησης συμπεραίνοντας για ακόμα μία φορά ότι η νοερή απεικόνιση μπορεί να προκαλέσει ΔΗ-Α. Όπως αποδείχθηκε για την $O_{\mu\sigma\pi\lambda\Sigma\Pi}$ τα στάδια III και IV της 1^η συνθήκης αλλά και της 2^{ης} συνθήκης δεν ήταν στατιστικώς σημαντικά καθώς η πολυπλοκότητα της κίνησης δεν μπορεί να αυξήσει σε μεγαλύτερο βαθμό την ΔΗ-Α.

Αντιθέτως, για τα ΚΠΔ κατά την 2^η συνθήκη τα στάδια II, III και IV δεν ήταν στατιστικώς σημαντικά συμπεραίνοντας ότι η νοερή απεικόνιση των κινήσεων μπορεί να μεταβάλλει τα ΚΠΔ ανεξάρτητα από την δυσκολία και την πολυπλοκότητα τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα έρευνα κατάφερε επιτυχώς να μελετήσει την νευροφυσιολογική λειτουργία των ΚΦ σε υγιείς πληθυσμούς. Αποδείχθηκε ότι κατά τις εφαρμογές του ΔΜΕ παρουσιάζεται η ΔΗ-Α η οποία μπορεί να μελετηθεί με τη βοήθεια της Ο_{μοπλ}ΣΠ αλλά και με την εμφάνιση των ΚΠΔ. Αποσαφηνίστηκε ότι οι ενεργητικές κινήσεις αυξάνουν την χρονική διάρκεια της Ο_{μοπλ}ΣΠ και του εύρους των ΚΠΔ και πως η δυσκολία και η πολυπλοκότητα τους επηρεάζουν στο ίδιο ποσοστό και την ΟμοπλΣΠ και τα ΚΠΔ. Επιπλέον, η νοερή απεικόνιση των κινήσεων μπορεί να παρουσιάσει τα ίδια αποτελέσματα για την χρονική διάρκεια της ΟμοπλΣΠ με τη διαφορά ότι το εύρος των ΚΠΔ κατά την 2^η συνθήκη δεν μεταβάλλονται με βάση την δυσκολία και την πολυπλοκότητα των κινήσεων.

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν παρουσιάζονται αντίστοιχα στοιχεία για ασθενείς με βλάβη στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Συνεπώς προτείνεται η μελέτη των νευροφυσιολογικών μηχανισμών σε ασθενείς με στόχο την κατανόηση των παθήσεων και την καλύτερη και εξατομικευμένη αποκατάσταση τους από τους θεραπευτές που καλούνται να αντιμετωπίσουν τους μηχανισμούς αυτούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barker, A.T., Jalinous, R. & Freeston, I.L. (1985). Non-invasive stimulation of the human motor cortex. *Lancet*, 11, (8437), 1106–1107.
- Bennett, S. & Karnes, J. (1988). *Neurological disabilities. Assessment and treatment*. Philadelphia, New York: Lippincott.
- Carter, R. (2011). *Ο ανθρώπινος εγκέφαλος*. Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης ΕΠΕ.
- Chen, R., Yung, D. & Yung, J. (2003). Organization of ipsilateral excitatory and inhibitory pathways in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 89, 1256-1264.
- Daskalakis, Z.J., Christensen, B.K., Fitzgerald, P.B., Roshan, L. & Chen, R. (2002). The mechanisms of interhemispheric inhibition in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 543, (1), 317-326.
- Escudero, J.V., Sancho, J., Bautista, D., Escudero, M. & Lopez-Trigo, J. (1998). Prognostic value of motor evoked potential obtained by transcranial magnetic brain stimulation in motor function recovery in patients with acute ischemic stroke. *Stroke*, 29, 1854–1859.
- Esser, S.K., Hill, S.L. & Tononi G. (2005). Modelling the effects of transcranial magnetic stimulation on cortical circuits. *Journal of Neurophysiology*, 94, 622-639.
- Ettinger, G.J., Leventon, M.E., Eric, Grimson, E.W., Kikinis, R., Gugino, L., Cote, W., Sprung, L., Aglio, L., Shenton, M.E., Potts, G., Hernandez, V.L. & Alexander, E. (1998). Experimentation with a transcranial magnetic stimulation system for functional brain mapping. *Medical Image Analysis*, 2, (2), 133-142.
- Ferbert, A., Priori, A., Rothwell, J.C., Day, B.L., Collbatchi, J.G. & Marsden, C.D. (1992). Inter-hemispheric inhibition of the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 453, 525-546.

- Gerloff, C., Cohen, L., Floeter, M., Chen, R., Corwell, B. & Hallett, M. (1998). Inhibitory influence of the ipsilateral motor cortex on response to stimulation of the human cortex and pyramidal tract. *Journal of Physiology*, 510, (1), 249-259.
- Giovannelli, F., Borgheresi, A., Balestrien, F., Zaccara, G., Viggiano, M., Cincotta, M. & Ziemann, U. (2009). Modulation of Interhemispheric inhibition by volitional motor activity: an ipsilateral silent period study. *Journal of Physiology*, 587, (22), 5393-5410.
- Hanajima, R., Ugawa, Y., Machii, K., Mochizuki, H., Terao, Y., Enomoto, H., Furubayashi, T., Shiio, Y., Uesugi, H & Kanazawa, I. (2001). Inter-hemispheric facilitation of the hand motor area in humans. *Journal of Physiology*, 531, (3), 849–859.
- Kahle, W., Leonhardt, H. & Platzer, W. 1985. *Εγχειρίδιο ανατομικής του ανθρώπου με έγχρωμο άτλαντα. Τόμος 3. Νευρικό σύστημα και αισθητήρια όργανα*. Αθήνα: Εκδοτικές εκδόσεις Λίτσας.
- Kobayashi, M. & Pascual-Leone, A. (2003). Transcranial magnetic stimulation in neurology. *Lancet Neurology*, 2, 145–156.
- Kujirai, T., Caramia, M.D., Rothwell, J.C., Day, B.L., Thomson, P.D., Ferbert, A., Wroe, S., Asselman, P. & Marsden, C.D. (1993). Corticomotor inhibition in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 471, 501-519.
- Kukawadia, S., Wagle-Shukla, A., Morgante, F., Gunraj, C. & Chen, R. (2005). Interactions between long latency afferent inhibition and interhemispheric inhibitions in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 563, (3), 915–924.
- Lee, H., Gunraj, C. & Chen R. (2007). The effects of inhibitory and facilitatory intracortical circuits on interhemispheric inhibition in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 580, (3), 1021-1032.
- Meyer, U., Roricht, S., Graf von Einsiedel, H., Kruggel, F. & Weindl, A. (1995). Inhibitory and excitatory interhemispheric transfers between motor cortical areas in

normal humans and patients with abnormalities of the corpus callosum. *Brain*, 118, 429-440.

Munzerta, J., Loreya, B. & Zentgrafa, K. (2009). Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60, 306-326.

Ni, Z., Anastakis, D.J., Gunraj, C. & Chen, R. (2009). Reversal of Cortical Reorganization in Human Primary Motor Cortex Following Thumb Reconstruction. *Journal of Neurophysiology*, 103, 65-73.

Ni Z., Gunraj, C. & Chen, R. (2007). Short interval intracortical inhibition and facilitation during the silent period in human. *Journal of Physiology*, 583, (3), 971–982.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

Ortu, E., Deriu, F., Suppa, A., Tolu, E., & Rothwell, J.C. (2008). Effects of volitional contraction on intracortical inhibition and facilitation in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 586, (21), 5147-5159.

Peterchev, A.V, Jalinous R. & Lisanby S.H. (2008). A transcranial magnetic stimulator inducing near-rectangular pulses with controllable pulse width (cTMS). *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, 55, (1), 257-266.

Reis, J., Swayne, O.B., Vandermeeren, Y., Camus, M., Dimyan, M.A., Harris-Love, M., Perez, M.A., Ragert, P., Rothwell, J.C., & Cohen, L.G. (2008). Contribution of transcranial magnetic stimulation to the understanding of cortical mechanisms involved in motor control. *Journal of Physiology*, 586, (2), 325-351.

Ridding, M.C., Taylor, J.L. & Rothwell J.C. (1995). The effect of voluntary contraction on cortico-cortical inhibition in human motor cortex. *Journal of Physiology*, 487, (2), 541-548.

- Sanger, T.D, Garg, R.R. & Chen, R. (2001). Interactions between two different inhibitory systems in the human motor cortex. *Journal of Physiology*, 530, (2), 307–317.
- Stinear C.M. & Byblow W.D. (2003). Role of intracortical inhibition in selective hand muscle activation. *Journal of Neurophysiology*, 89, 2014-2020.
- Wagle-Shukla, A., Ni, Z., Gunraj, C., Bahl, N. & Chen, R. (2009). Effects of short interval intracortical inhibition and intracortical facilitation on short interval intracortical facilitation in human primary motor cortex. *Journal of Physiology*, 587, (23), 5665-5678.
- Wassermann E.M. (1998) Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the safety of repetitive transcranial magnetic stimulation, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 108, 1–16.
- Ziemann, U., Ishii, K., Borgheresi, A., Yaneb, Y., Battaglia, F., Hallett, M., Cincotta, M. & Wassermann, E. (1999). Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles. *Journal of Physiology*, 518, (3), 895-906.
- Ziemann, U., Rothwell, J.C. & Ridding, M.C. (1996). Interaction between intracortical inhibition and facilitation in human motor cortex. *Journal of Physiology*, 496, (3), 873-881.
- Zoghi, M., Pearce, S.L. & Nordstrom, M.A. (2003). Differential modulation of intracortical inhibition in human motor cortex during selective activation of an Intrinsic hand muscle. *Journal of Physiology*, 550, (3), 933-946.