

Βιοιατρική Τεχνολογία

Εργασία 2018-2019

Ομάδα 3

Δασκαλάκης Δημήτρης (8591)
Κοκολάκης Κωνσταντίνος (8415)
Μπεκιάρης Θεοφάνης (8200)

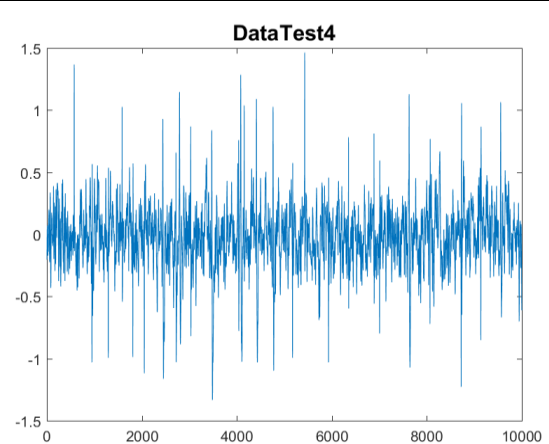
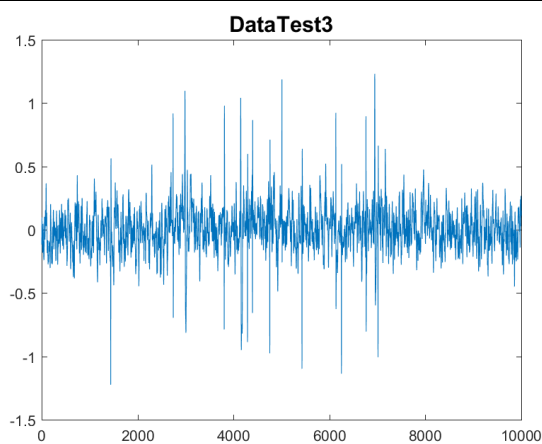
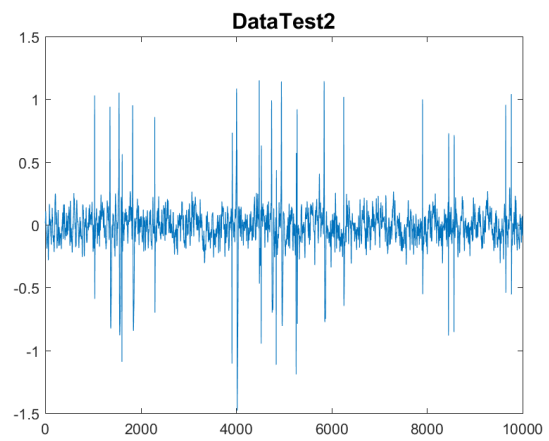
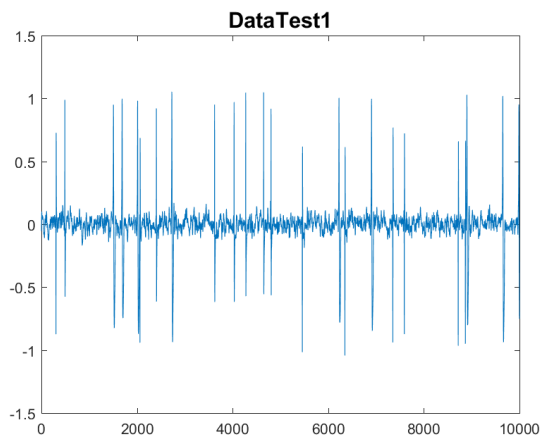
Μέρος 1: Αναφορά Project	4
Θέμα 1	4
Ερώτημα 1.1	4
Ερώτημα 1.2	6
Ερώτημα 1.3	7
Θέμα 2	9
Ερώτημα 2.1	9
Ερώτημα 2.2	10
Ερώτημα 2.3	10
Ερώτημα 2.4	12
Ερώτημα 2.5	15
Μέρος 2: Βιβλιογραφική	18
Εισαγωγή	18
fNIRS: Τι είναι;	19
Επεξεργασία συναισθημάτων στον προμετωπιαίο φλοιό.	20
Επισκόπηση μελετών NIRS	21
Προβολή συναισθηματικά φορτισμένων εικόνων	21
Ημισφαιρική Ασυμμετρία	22
Ενεργοποίηση του PFC μέσω δραστηριοτήτων	23
Επεξεργασία ενστικτωδών αντιδράσεων	24
Ενεργοποίηση PFC σε ψυχασθενείς.	24
Προβλήματα της τεχνολογίας NIRS στην έρευνα των συναισθημάτων	26
Πιθανές εφαρμογές του NIRS	28
Βιολογία & συναισθηματική αντίδραση	29
Σύνδεση κίνησης και συναισθημάτων	29
Ο ρόλος του μηχανικού	30
Εξέλιξη της τεχνολογίας & των τεχνικών	30
Χρήση της υπάρχουσας θεωρίας	31
Σύνοψη	31
Αναφορές	32
Παράρτημα: Κώδικας Matlab	39

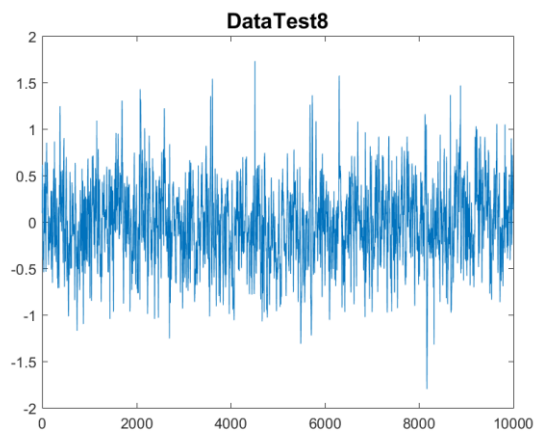
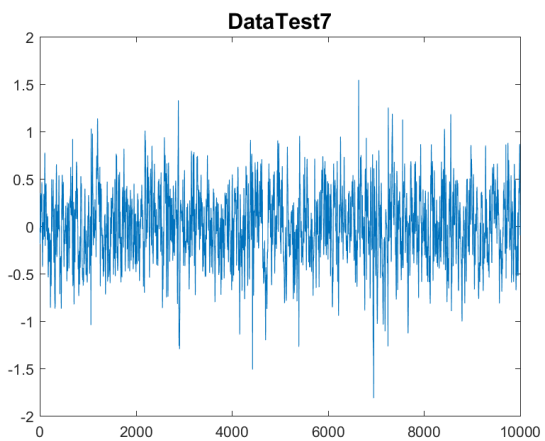
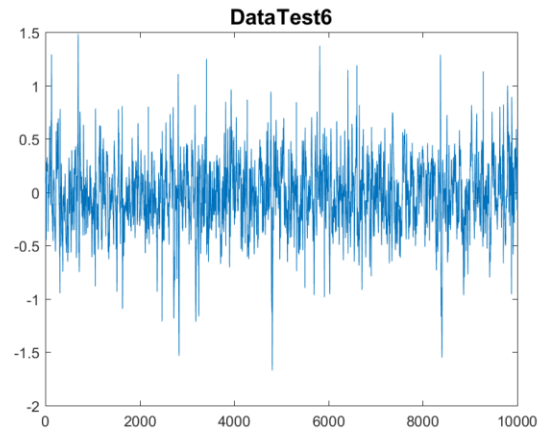
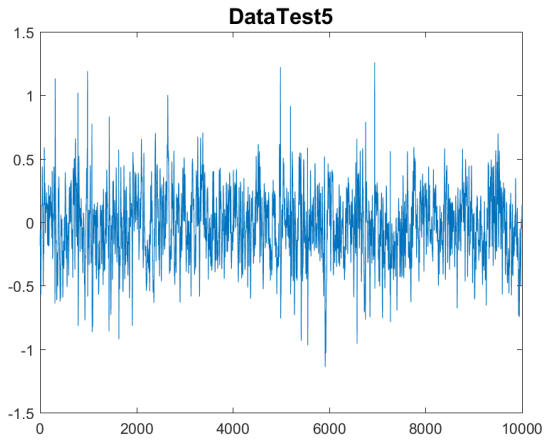
Οργάνωση κώδικα	39
Αρχεία Κώδικα	40
plotGraphs.m	40
findBestK.m	44
TestDataCountSpikes.m	45
EvalDataCountSpikes.m	46
noiseSpikes.m	47
Calfeatures.m	48
plotFeatures.m	51
plotBestComb.m	52
bestFeaturesOrder.m	53
rateComb.m	53
saveFigureFullSize.m	54
MyClassify.m	55

Μέρος 1: Αναφορά Project

Θέμα 1

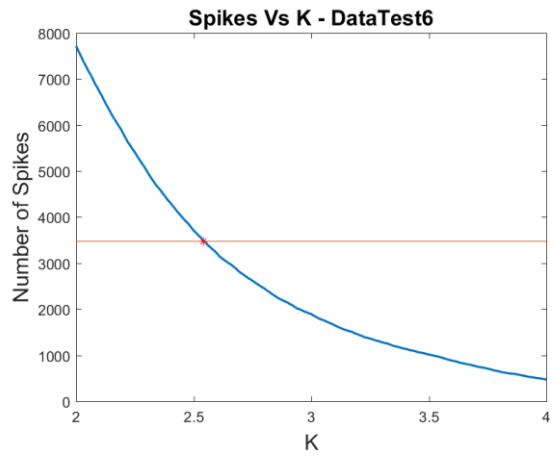
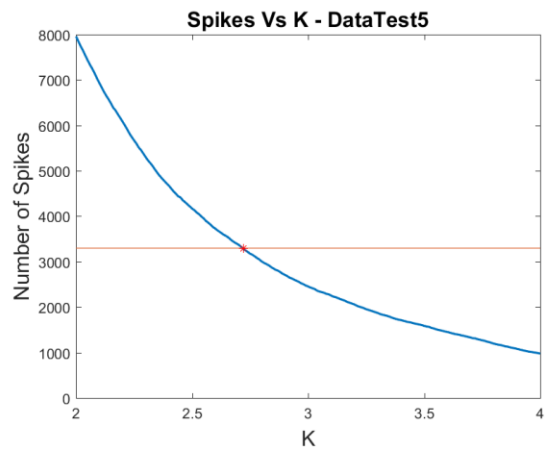
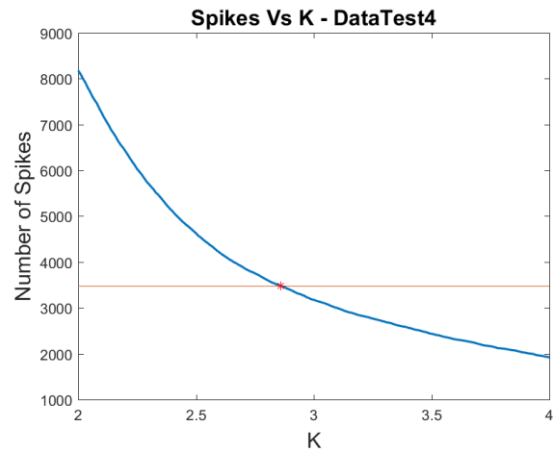
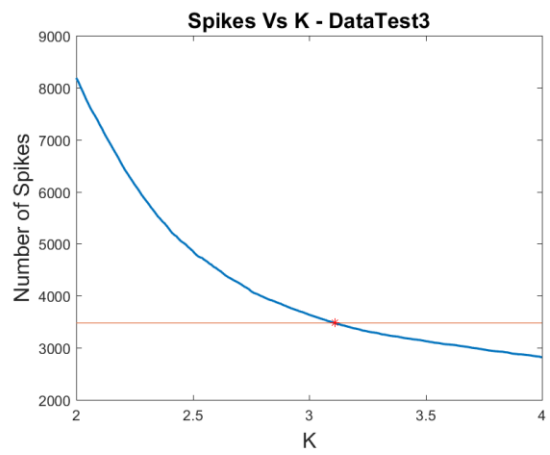
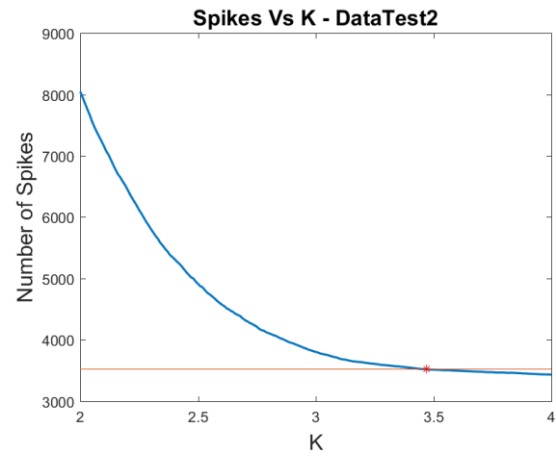
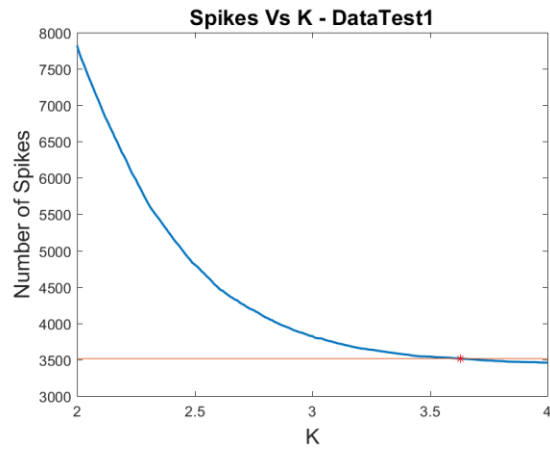
Ερώτημα 1.1

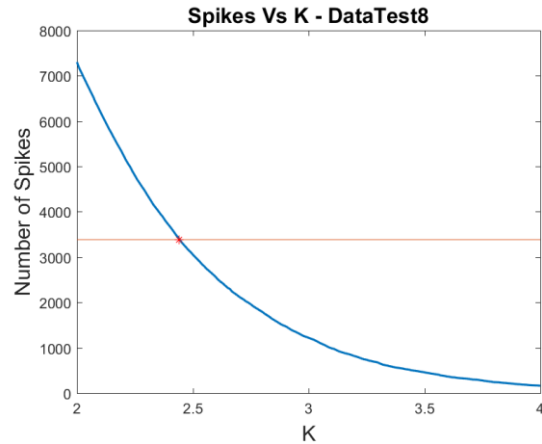
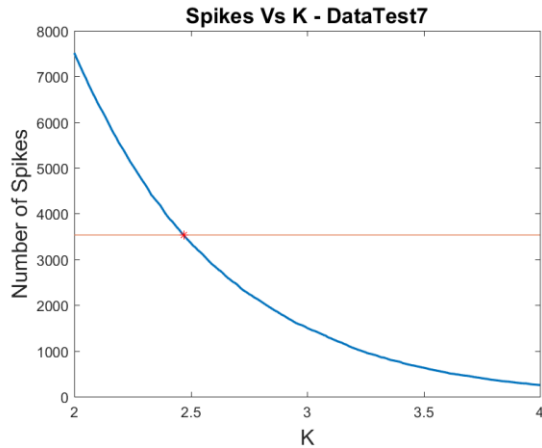




Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, διαφέρει σε κάθε περίπτωση η διακύμανση του θορύβου με αποτέλεσμα τα spikes των πρώτων αρχείων (χαμηλότερη διακύμανση) να είναι πιο ευδιάκριτα, ενώ όσο προχωράμε προς τα τελευταία (υψηλότερη διακύμανση) είναι δυσκολότερο να ξεχωρίσουμε τα spikes από το θόρυβο.

Ερώτημα 1.2



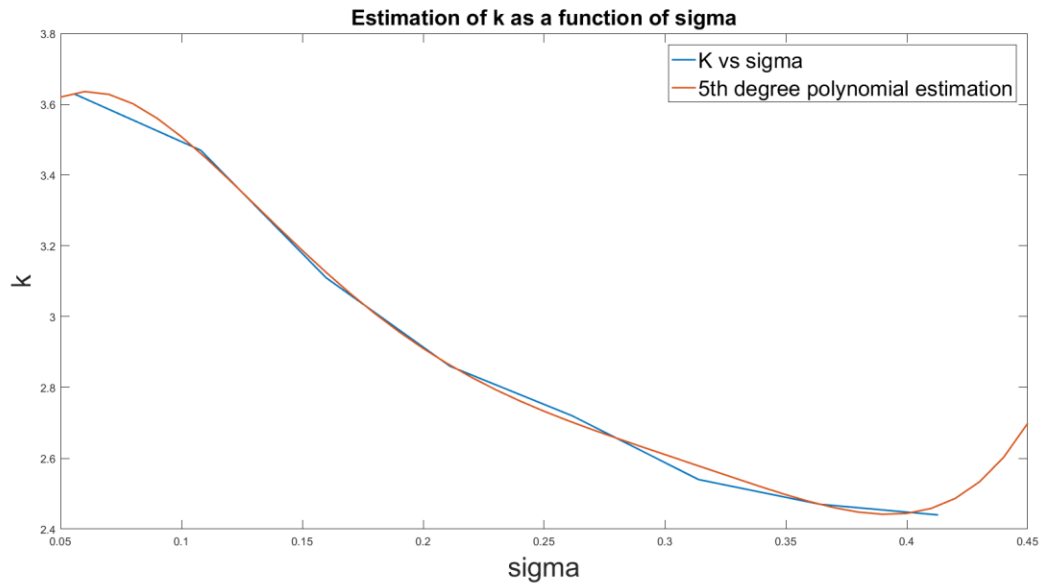


Εδώ παρατηρούμε εκθετικά πτωτική σχέση του εντοπισμένου αριθμού κορυφών σε σχέση με το k , πράγμα αναμενόμενο καθώς η τιμή του κατωφλίου που χρησιμοποιούμε είναι ευθέως ανάλογη με το k και όσο αυξάνεται τόσο λιγότερα spikes περιμένουμε να βρούμε.

Ερώτημα 1.3

Όπως είδαμε στο ερώτημα 1.1, η διακύμανση (ισοδύναμα η τυπική απόκλιση) του θορύβου ανάμεσα στα αρχεία δεδομένων κάνει περισσότερο ή λιγότερο “ευδιάκριτα” τα spikes και επομένως απαιτεί και κατάλληλη προσαρμογή του κατωφλίου. Υποθέτουμε λοιπόν πως ο ζητούμενος κανόνας θα εξαρτάται από την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης που ήδη έχουμε υπολογίσει για το κάθε σήμα.

Παρακάτω φαίνεται το γράφημα του βέλτιστου k που βρήκαμε μετρώντας τις κορυφές συναρτήσει της εκτιμώμενης τυπικής απόκλισης του θορύβου του εκάστοτε σήματος.



Κάνουμε curve fitting σε αυτή την καμπύλη προσεγγίζοντας την με ένα πολυώνυμο 5ου βαθμού.

Τελικά ο κανόνας είναι:

$$2.973 + 26.08*x - 332.6*x.^2 + 1556*x.^3 - 3289*x.^4 + 2624*x.^5$$

Όπου x είναι η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης του θορύβου.

Τέλος, προκειμένου να επαληθεύσουμε τη σωστή λειτουργία του παραπάνω κανόνα, εφαρμόζουμε ξανά κατωφλίωση στα ίδια αρχεία, χρησιμοποιώντας ως παράμετρο K την τιμή που προκύπτει απ' τον κανόνα.

Αρχείο Δεδομένων	Αριθμός εντοπισμένων κορυφών	Αριθμός κορυφών που μας δίνεται	Διαφορά
Data_Test_1	3514	3514	0
Data_Test_2	3524	3522	2
Data_Test_3	3456	3477	-21
Data_Test_4	3473	3474	-1
Data_Test_5	3363	3298	65
Data_Test_6	3309	3475	-166

Data_Test_7	3531	3534	-3
Data_Test_8	3244	3386	-142

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, οι αριθμοί κορυφών που βρίσκουμε διαφέρουν ελάχιστα απ' αυτούς που δίνονται. Ακόμα και στις χειρότερες περιπτώσεις (Αρχεία **6** και **8**) το ποσοστό της διαφοράς προς τις πραγματικές κορυφές δεν ξεπερνάει το 0.05% περίπου.

Επομένως έχουμε βεβαιωθεί ότι ο κανόνας που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια δουλεύει.

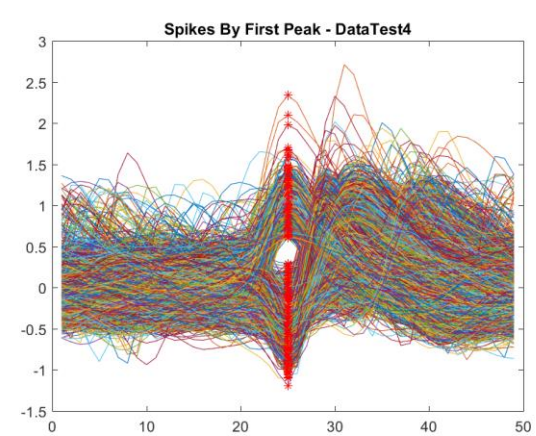
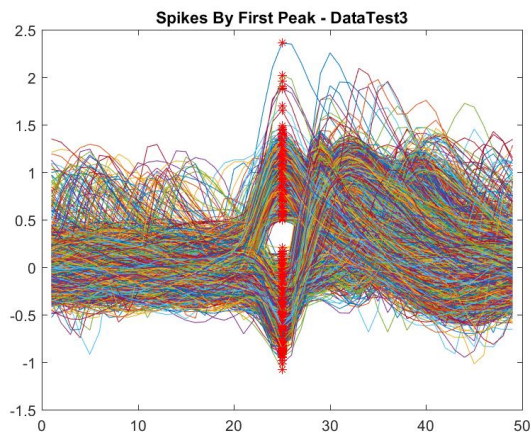
Θέμα 2

Ερώτημα 2.1

Χρησιμοποιώντας τον κανόνα που επαληθεύσαμε παραπάνω ορίζουμε το κατώφλι για κάθε ένα από τα 4 αρχεία και μετράμε με αυτόν τον τρόπο τα spikes. Ο αριθμός τους για κάθε αρχείο αποθηκεύεται στο διάνυσμα N_{spikes} . Παραθέτουμε παρακάτω τα αποτελέσματα:

Αρχείο Δεδομένων	Αριθμός εντοπισμένων κορυφών	Αριθμός κορυφών που μας δίνεται	Διαφορά
Data_Eval_E_1	3389	3410	-21
Data_Eval_E_2	3568	3520	48
Data_Eval_E_3	3660	3411	249
Data_Eval_E_4	4090	3526	564

Ερώτημα 2.2

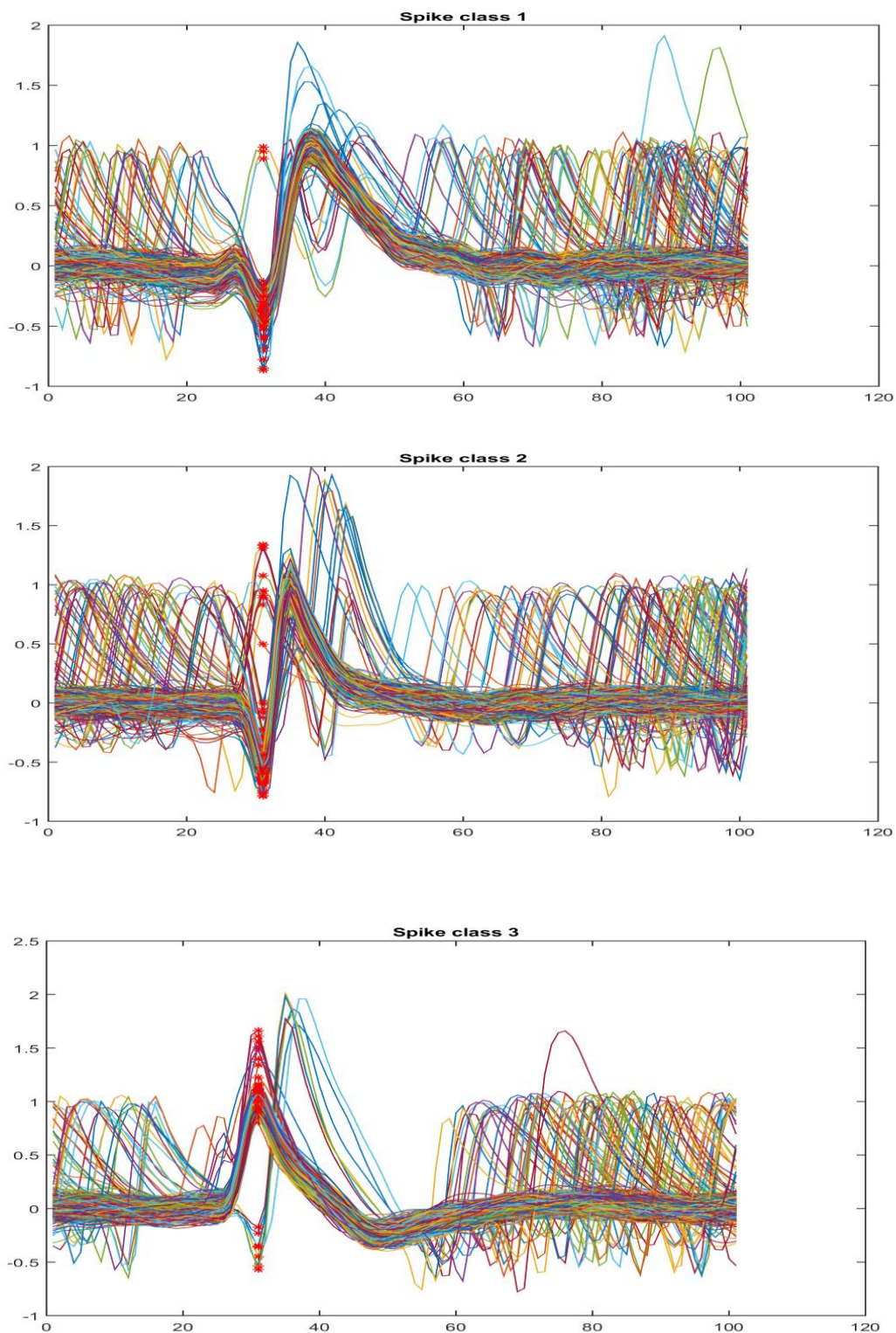


Ερώτημα 2.3

Αρχείο Δεδομένων	Αριθμός σωστά εντοπισμένων κορυφών	Αριθμός σημείων θορύβου
Data_Eval_E_1	3251	138
Data_Eval_E_2	3290	278
Data_Eval_E_3	3137	523
Data_Eval_E_4	3185	905

Μετά την αντιστοίχιση των Spike με τα πραγματικά Spike καθώς και την αντιστοίχιση των Spikes με τις αντίστοιχες κλάσεις που ανήκουν η μορφή των 3 διαφορετικών κλάσεων-

νευρώνων που προκύπτουν παρουσιάζεται παρακάτω για τό πρώτο αρχείο δεδομένων DataEval1.



Παραπάνω φαίνεται η ταξινόμηση των Spike στις αντίστοιχες κλάσεις. Παρατηρούμε επιπλέον κάποια παραμορφωμένα Spikes τα οποία έχουν προκύψει από επικάλυψη Spikes από

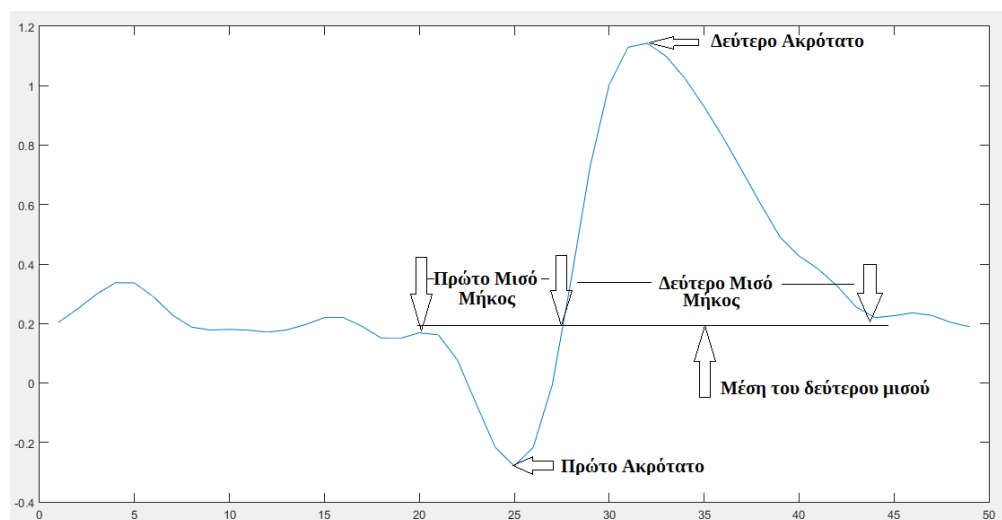
διαφορετικούς νευρώνες-κλάσεις. Για παράδειγμα στο γράφημα της κλάσης 3 φαίνονται και Spikes που μοιάζουν με αυτά της κλάσης 1 και 2, αλλά στην πραγματικότητα προκύπτουν από την υπέρθεση ενός Spike που ανήκει στην κλάση 3 με κάποιο Spike άλλης κλάσης και επομένως κατά την διαδικασία της αντιστοίχισης αναγνωρίζεται ως Spike της κλάσης 3. Η υπέρθεση μπορεί να γίνει αντιληπτή αν παρατηρήσουμε ότι αυτά τα Spikes έχουν μέγιστη τιμή 2 αντί για 1 όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των υπολοίπων, που σημαίνει ότι έχουν προκύψει από το άθροισμα δύο Spikes. Επικαλύψεις Spikes μπορούν να παρατηρηθούν και στις άλλες δύο κλάσεις.

Ερώτημα 2.4

Σε αυτό το ερώτημα θα προσπαθήσουμε να βρούμε δύο χαρακτηριστικά των Spike με τη χρήση των οποίων να ταξινομήσουμε τα διαφορετικά είδη νευρώνων στο δισδιάστατο χώρο. Κατά την διάρκεια αναζήτησης έγιναν δοκιμές για διάφορα χαρακτηριστικά και συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 9 διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι :

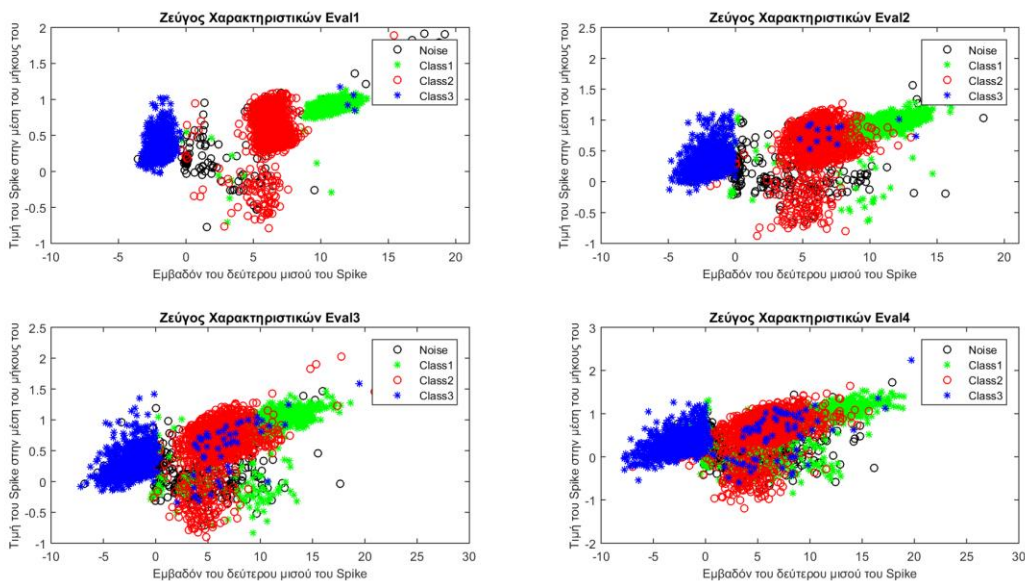
Χαρακτηριστικά που δοκιμάστηκαν

1. Πλάτος πρώτου ακρότατου
2. Λόγος μεταξύ πρώτου και δεύτερου μήκους
3. Συνολικό μήκος του Spike
4. Συνολικό εμβαδόν του Spike'
5. Εμβαδόν του δεύτερου μισού του Spike
6. Τιμή του Spike στην μέση του μήκους του
7. Τιμή του Spike στη μέση του δεύτερου μισού του μήκους του
8. Θέση του δεύτερου ακρότατου
9. Θέση της μέγιστης τιμή του Spike

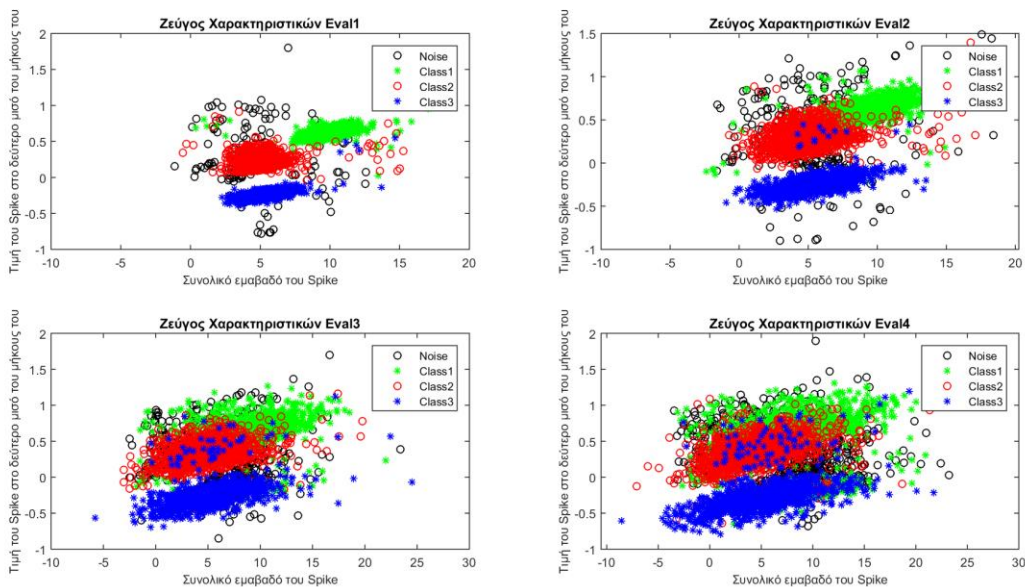


Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιοι από τους συνδυασμούς στο δισδιάστατο χώρο και θα χρησιμοποιηθεί διαφορετικό χρώμα για κάθε είδος νευρώνα.

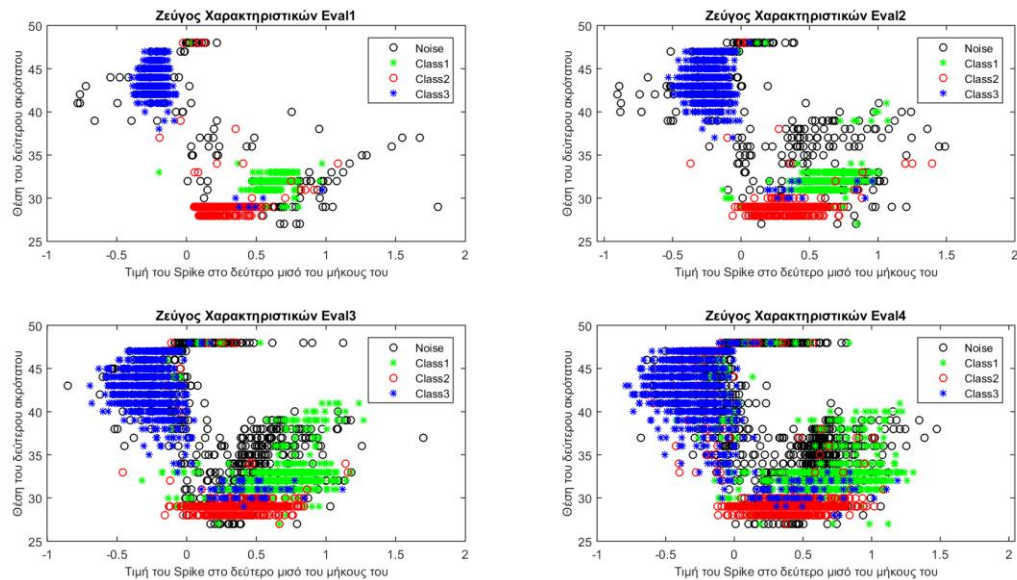
Χαρακτηριστικά 5 και 6



Χαρακτηριστικά 4 και 7



Χαρακτηριστικά 7 και 8



Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανής η επίδραση του θορύβου στα χαρακτηριστικά των Spikes. Μπορούμε να δούμε ότι για την περίπτωση του πρώτου δείγματος δεδομένων με μικρό ποσοστό θορύβου τα διαφορετικά είδη Spikes μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες με βάση τα χαρακτηριστικά τους, καθώς φαίνεται ξεκάθαρα ότι τα διαφορετικά χρώματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικό είδος νευρώνα είναι συγκεντρωμένα σε συγκεκριμένες περιοχές του χώρου. Καθώς προχωράμε στα δεδομένα με μεγαλύτερο ποσοστό θορύβου, τα χαρακτηριστικά των Spikes αλλοιώνονται από τον θόρυβο με αποτέλεσμα να προκύπτει μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές των χαρακτηριστικών που οδηγεί σε επικαλύψεις μεταξύ των ομάδων των Spikes. Από τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στα δεδομένα με τον περισσότερο θόρυβο DataEval4 κάτω δεξιά, φαίνεται ότι η επικάλυψη στα χαρακτηριστικά είναι έντονη με αποτέλεσμα να κάνει την διαδικασία διαχωρισμού των νευρώνων με χρήση των χαρακτηριστικών τους πολύ δύσκολη.

Ερώτημα 2.5

Στην συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε τα παραπάνω χαρακτηριστικά και την συνάρτηση MyClassify που δίνεται για να βρούμε το ποσοστό επιτυχίας ταξινόμησης με βάση τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Χαρακτηριστικά 5 και 6

	Ποσοστό Ταξινόμησης
DataEval1	94.49
DataEval2	84.4
DataEval3	71.49
DataEval4	54.84

Χαρακτηριστικά 4 και 7

	Ποσοστό Ταξινόμησης
DataEval1	86.82
DataEval2	76.47
DataEval3	68.21
DataEval4	57.29

Χαρακτηριστικά 7 και 8

	Ποσοστό Ταξινόμησης
DataEval1	94.88
DataEval2	91.59
DataEval3	80.32
DataEval4	70.49

Παρατηρούμε ότι από τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν ο συνδυασμός των 7 και 8 είναι ο πιο αποδοτικός. Στην συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε αυτό τον συνδυασμό και θα προσθέσουμε και επιπλέον χαρακτηριστικά για να δούμε τα αποτελέσματα στο ποσοστό ταξινόμησης.

Συνδυασμοί χαρακτηριστικών

	Χαρακτηριστικά 7 , 8	Χαρακτηριστικά 7 , 8 και 6	Χαρακτηριστικά 7 , 8 και 4	Χαρακτηριστικά 7 , 8 και 5
DataEval1	94.88	94.49	95.08	96.95
DataEval2	91.59	92.06	90.75	92.81
DataEval3	80.32	81.60	81.42	83.42
DataEval4	70.49	71.23	72.41	69.76

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα βλέπουμε ότι έχουμε μια μικρή βελτίωση στα αποτελέσματα της ταξινόμησης προσθέτοντας επιπλέον χαρακτηριστικά. Όμως αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι αυτό δεν είναι σίγουρο ότι θα συμβεί πάντα, δηλαδή το να χρησιμοποιήσουμε πολλά χαρακτηριστικά δεν θα μας δώσει πάντα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης. Το ποσοστό επιτυχίας δεν εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των χαρακτηριστικών αλλά και από την ποιότητα πληροφορίας που περιέχει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Επομένως, προσθέτοντας χαρακτηριστικά που μπορούν να δώσουν χρήσιμη πληροφορία για την πρόβλεψη θα βελτιώσουν το ποσοστό πρόβλεψης, σε διαφορετική περίπτωση θα έχουμε αντίθετα αποτελέσματα.

Για τη επίδειξη των παραπάνω θα χρησιμοποιήσουμε και τα 9 χαρακτηριστικά προσθέτοντας κάθε φορά ένα χαρακτηριστικό παραπάνω με την σειρά από το 1ο μέχρι και το 9ο χαρακτηριστικό ,έτσι έχουμε:

Χαρακτηριστικά	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DataEval1	94.29	93.51	93.01	96.16	96.47	96.85	96.36	95.77	97.54
DataEval2	83.66	84.31	84.59	86.64	90.19	90.94	93.55	92.9	95.61
DataEval3	70.3	70.3	72.13	73.04	81.05	80.41	83.51	85.24	88.98
DataEval4	53.38	59.49	61.45	61.53	68.62	69.11	71.06	71.06	80.19

Βλέπουμε ότι η προσθήκη χαρακτηριστικών δεν βελτιώνει απαραίτητα την πρόβλεψη καθώς μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η προσθήκη ενός καινούργιου χαρακτηριστικού κάποιες φορές αυξάνει το ποσοστό πρόβλεψης ενώ σε άλλες περιπτώσεις η επιτυχία πρόβλεψης μπορεί να μην μεταβάλλεται ή ακόμα και να μειώνεται. Επειδή τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν είναι γενικά αντιπροσωπευτικά και περιέχουν πληροφορία για την μορφή των Spike βλέπουμε ότι σε γενικές γραμμές αυξάνεται το ποσοστό πρόβλεψης, πραγματική

βελτίωση όμως επιτυγχάνεται όταν το χαρακτηριστικό που προστίθεται περιέχει σημαντική πληροφορία για την ταξινόμηση όπως συμβαίνει στην περίπτωση των χαρακτηριστικών 5 και 9 που όπως φαίνεται το ποσοστό επιτυχίας ταξινόμησης αυξάνεται απότομα.

Μέρος 2: Βιβλιογραφική

NIRS & Συναισθήματα

Εισαγωγή

Στο παρόν έγγραφο θα αναφέρουμε και θα αναλύσουμε τις εξελίξεις της τελευταίας 20ετίας επάνω στην χρήση του NIRS για την παρατήρηση και τη μελέτη των συναισθημάτων. Μέσω αναφορών σε έρευνες αλλά και σχολιασμό αυτών, θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μία πλήρη εικόνα της κατάστασης της παρούσας τεχνολογίας σήμερα καθώς επίσης να εξηγήσουμε γιατί η NIRS τεχνολογία είναι ένας αρκετά αποδοτικός τρόπος μελέτης του προμετωπιαίου φλοιού για την ανάλυση της συναισθηματικής λειτουργίας του εγκεφάλου μας.

Στο πρώτο μέρος του άρθρου εξηγούμε την τεχνολογία NIRS και μελετάμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σε ότι αφορά την συναισθηματική λειτουργία. Επίσης, αναλύουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία συναισθημάτων στον προμετωπιαίο φλοιό.

Στο δεύτερο μέρος συζητάμε τα ευρήματα από τις μελέτες NIRS σχετικά με την επεξεργασία των συναισθημάτων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις υπάρχουσες απόψεις σχετικά με τη συναισθηματική λειτουργία στον προμετωπιαίο φλοιό (PFC). Λόγω της ευρέως αποδεκτής σύμβασης των μελετών NIRS, αντιμετωπίζουμε την αύξηση της συγκέντρωσης οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [αναφερόμενη ως (oxy-Hb)] ως τον πρωταρχικό και γνήσιο δείκτη της φλοιικής ενεργοποίησης σε αυτή την ανασκόπηση.

Στο τρίτο μέρος του άρθρου, περιγράφουμε ένα πιθανό μέλλον της έρευνας για τα συναισθήματα, στο οποίο τα μοναδικά χαρακτηριστικά του NIRS θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επικερδώς. Συζητάμε επίσης αρκετά πρακτικά προβλήματα που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές κατά τη διεξαγωγή τέτοιων ερευνών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία NIRS.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος του άρθρου, συζητάμε για τον ρόλο του μηχανικού στο θέμα μας. Αναλύουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να βοηθήσει αλλά και να βοηθηθεί από την τεχνολογία NIRS και τη σχέση της με τα συναισθήματα.

fNIRS: Τι είναι;

Η λειτουργική απεικόνιση εγκεφάλου με χρήση φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου (fNIRS) αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδο απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας. Χρησιμοποιείται κυρίως για να εντοπίζει ταυτόχρονες αλλαγές στις οπτικές ιδιότητες του ανθρώπινου εγκεφαλικού φλοιού μέσω πολλαπλών σημείων μέτρησης και παρουσιάζει τα αποτελέσματα στη μορφή χαρτών ή εικόνων της συγκεκριμένης περιοχής. Αυτό βασίζεται στη μέτρηση των τοπικών αλλαγών στις συγκεντρώσεις της οξυγονώμενης (oxy-HB) και μη-οξυγονώμενης (deoxy-HB) αιμοσφαιρίνης.

Από την πρώτη στιγμή που εισήχθη η φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου ως τεχνολογικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον μεταξύ γνωστικών νευροεπιστημόνων, παρά τα διάφορα μειονεκτήματα της συγκριτικά με άλλες μη-επεμβατικές μεθόδους μέτρησης της ενεργοποίησης των νευρώνων στον εγκέφαλο. Για παράδειγμα, η NIRS τεχνολογία έχει χειρότερη χωρική ανάλυση από άλλες τεχνικές νευροαπεικόνισης οι οποίες μετρούν την νευροαγγειακή ανταπόκριση, όπως τη Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (fMRI) και την Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET). Παρόμοια, η κροταφική ανάλυση της NIRS τεχνολογίας είναι αρκετά κατώτερη από αυτές της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (EEG) και μαγνητοεγκεφαλογραφίας.

Η προτίμηση της τεχνολογίας αυτής από άλλες οφείλεται μερικώς σε διάφορα μοναδικά χαρακτηριστικά που διαθέτει. Αρχικά, η NIRS μέτρηση πιστεύεται ότι προκαλεί σημαντικά λιγότερη σωματική και ψυχολογική επιβάρυνση από άλλες υπάρχουσες τεχνικές νευροαπεικόνισης. Έτσι, η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα επωφελής όταν προσπαθούμε να μετρήσουμε νευρικές αντιδράσεις σε ηλικιωμένους και νήπια. (Ichikawa et al., 2010; Ozawa et al., 2011; Kida and Shinohara, 2013b). Επιπλέον, η ευκολία με την οποία μπορείς να συλλέξεις δεδομένα μέσω μιας μέτρησης NRIS, την κάνει κατάλληλη για έρευνες με μεγάλο αριθμό συμμετοχόντων. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε το σημαντικό πλεονέκτημα της ανθεκτικότητας σε εξωγενείς θορύβους του περιβάλλοντος. Φαίνεται λοιπόν πως αν και η τεχνολογία NRIS έχει κάποιους περιορισμούς σε σχέση με άλλες όπως είδαμε προηγουμένως, έχει επίσης κάποια ιδιαίτερα πλεονεκτήματα που την καθιστούν χρήσιμη σε πολλές περιπτώσεις.

Επεξεργασία συναισθημάτων στον προμετωπιαίο φλοιό.

Οι νευρωνικοί μηχανισμοί που αποτελούν τη βάση της συναισθηματικής εμπειρίας και διάθεσης αποτέλεσαν το επίκεντρο της εντατικής έρευνας τόσο στους τομείς της γνωστικής νευροεπιστήμης όσο και της κλινικής ψυχιατρικής. Σύμφωνα με το μοντέλο «limbic system» (MacLean, 1949) των νευρικών μηχανισμών της συναισθηματικής αντίδρασης, οι αρχαίες υποκορεστικές δομές δημιουργούν πρωτόγονα συναισθήματα, όπως ο φόβος. Τα συναισθήματα που προέρχονται από τον ερπετοειδή εγκέφαλο δέχονται περαιτέρω επεξεργασία στις διάφορες περιοχές του εγκεφάλου των φυλογενετικά προηγμένων νευρικών κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένου του PFC. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, πιο πρόσφατες μελέτες έχουν προσδιορίσει το PFC ως βασική περιοχή στην πρόκληση και ρύθμιση των συναισθηματικών απαντήσεων (Davidson and Fox, 1982; Damasio, 1996; Rolls, 1996).

Παρόλο που πλέον υπάρχουν επαρκείς εμπειρικές μελέτες για το ρόλο του PFC στην επεξεργασία των συναισθημάτων, η ακριβής λειτουργία που παρέχεται από αυτή την περιοχή είναι ακόμα ασαφής. Ταυτόχρονα, υπάρχουν αρκετές ευρέως αποδεκτές απόψεις σχετικά με τη λειτουργία κάθε υποπεριοχής του PFC, όπως συνοψίζεται σε μια διορατική ανασκόπηση από τον Dalglish (2004).

Πρώτον, η ορμητική περιοχή του PFC έχει στενά συνδεθεί με την εκμάθηση ανταμοιβής και την ενίσχυση της μάθησης (Rolls, 1996). Συγκεκριμένα, το κογχομετωπιαίο PFC φαίνεται να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη συσχέτιση εξωγενών ερεθισμάτων με επιβραβεύσεις, προωθώντας έτσι την ανάθεση συναισθηματικής αξίας και αξιοπιστίας. Δεύτερον, το μεσοκοιλιακό PFC μπορεί να λειτουργήσει ως διεπαφή μεταξύ σπλαχνικών αντιδράσεων και υψηλότερης γνωστικής λειτουργίας. Η άποψη αυτή υποστηρίζεται από την επιρροή της «υπόθεσης σωματικού δείκτη» (Damasio, 1996, “somatic-marker hypothesis”), η οποία προτείνει ότι οι σωματικοί δείκτες, ως περιφερειακές αντιδράσεις στα ερεθίσματα, υποβάλλονται σε επεξεργασία στο μεσοκοιλιακό PFC ως μέρος ενός συστήματος που καθοδηγεί γνωστικές λειτουργίες ανώτερης τάξης.

Τρίτον, η υπόθεση της “ασυμμετρίας σθένους” του PFC (Davidson et al., 1990, “Valence asymmetry hypothesis”) υποδηλώνει ότι η κινητήρια τάση ενός ζωντανού οργανισμού μπορεί να διαμορφωθεί κατά μήκος της διάστασης προσέγγισης / απόσυρσης. Πιο συγκεκριμένα, όταν ενεργοποιούνται τα κίνητρα προσέγγισης, ένας οργανισμός έχει ισχυρό κίνητρο να επιδιώξει ένα στόχο που του προσφέρει ανταμοιβές.

Αντίθετα, η ενεργοποίηση των κινήτρων απόσυρσης δίνει έμφαση στην αποφυγή επιβλαβών καταστάσεων και όχι στην απόκτηση ανταμοιβών.

Η βασική πρόταση της υπόθεσης ασυμμετρίας σθένους είναι ότι το δεξί PFC ενεργοποιεί το κίνητρο απόσυρσης και το αριστερό PFC ενεργοποιεί το κίνητρο προσέγγισης, επιτρέποντας έτσι την προσαρμοστική συμπεριφορά.

Επισκόπηση μελετών NIRS

Αρκετές μελέτες NIRS εξέτασαν το ρόλο της ενεργοποίησης του PFC στην επεξεργασία των συναισθημάτων. Μια επισκόπηση αυτών των ευρημάτων θα μπορούσε να είναι ευεργετική για διάφορους λόγους.

Πρώτον, τα υπάρχοντα ευρήματα θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως ικριώματα στα οποία οι ερευνητές θα μπορούσαν να κατασκευάσουν καινοτόμα πειραματικά σχέδια.

Δεύτερον, μια περίληψη των υπαρχόντων δεδομένων NIRS μπορεί να υποστηρίξει ή να αντιταχθεί στις καθιερωμένες απόψεις σχετικά με τη συναισθηματική λειτουργία του PFC (*Davidson and Fox, 1982, Damasio, 1996, Rolls, 1996*).

Αν και διαφορετικοί τύποι αιμοδυναμικής απόκρισης συχνά αντιμετωπίζονται ως ίσοι, η [oxy-Hb] αντανakλά διαφορετικές πτυχές αιμοδυναμικών αποκρίσεων από τη συγκέντρωση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [αναφερόμενη ως (deoxy-Hb)], η αλλαγή της οποίας υποτίθεται ότι συνδέεται στενά με απόκριση BOLD (*Song et al., 2006*).

Επομένως, μια προσεκτική εξέταση των δεδομένων NIRS μπορεί να παράγει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με την ενεργοποίηση των νευρωνων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των συναισθημάτων.

Προβολή συναισθηματικά φορτισμένων εικόνων

Η πιο συχνή τεχνική μελέτης των συναισθημάτων περιλαμβάνει άτομα που βλέπουν εικόνες με διαφορετικό συναισθηματικό σθένος, κάτι που επιτρέπει τη διερεύνηση των υποκείμενων νευρικών δικτύων που εμπλέκονται στην ενεργοποίηση των συναισθημάτων. Οι ερευνητές έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν τα δικά τους συναισθηματικά ερεθίσματα ή να χρησιμοποιήσουν επικυρωμένες βάσεις ερεθισμάτων που αναπτύχθηκαν από άλλους ερευνητές (π.χ. *Διεθνές σύστημα συναισθηματικής εικόνας, IAPS, Lang et al., 2008, Nencki Affective Picture System, Marchewka κ.ά., 2014*). Σε μια έρευνα του 2011 (*Glottzbach et al.*), ερευνητές διαπίστωσαν ότι η διμερής oxy-Hb μειώθηκε σε σύγκριση με τις ουδέτερες εικόνες, γεγονός που υποδηλώνει ότι το

PFC επηρεάζεται κατά τη διάρκεια αρνητικών ερεθισμάτων. Ωστόσο, αυτά τα ευρήματα είναι περιορισμένα επειδή δεν συμπεριελήφθη μια θετική κατάσταση για μέτρο σύγκρισης.

Μια άλλη έρευνα του 2011 (*Hoshi et al.*), κατέγραψε αλλαγές oxy-Hb κατά τη διάρκεια της παρουσίας τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών ερεθισμάτων. Αυτή η μελέτη βρήκε επίσης σημαντική αύξηση στην oxy-Hb για “αρνητικές” εικόνες αλλά και σημαντική μείωση στην oxy-Hb για θετικές (σε σύγκριση με τις ουδέτερες εικόνες).

Ωστόσο, μια ακόμη έρευνα του 2003 (*Herrmann et al*) δεν διαπίστωσε διαφορές στην oxy-Hb μεταξύ της αδράνειας (καμία εικόνα) και της προβολής ουδέτερων, αρνητικών και θετικών εικόνων. Αυτή η μικρή συλλογή μελετών δείχνει τη σημασία των συνθηκών διέγερσης που περιλαμβάνονται σε πειράματα που διερευνούν τα συναισθήματα.

Επιλέγοντας να παραλείψουν μια ουδέτερη, αρνητική ή θετική συνθήκη ερεθισμάτων σημαίνει ότι οι ερευνητές δεν κάνουν πάντοτε τις ίδιες συγκρίσεις στις μελέτες τους (δηλαδή, ενώ κάποιοι συγκρίνουν αρνητικό [ή θετικό] με κάποιο ουδέτερο σθένος, άλλοι συγκρίνουν αρνητικό με θετικό, πράγμα που επηρεάζει τα αποτελέσματα και καθιστά την σύγκριση μεταξύ των μελετών προβληματική).

Ένας επιπλέον παράγοντας που δυσχεραίνει τη σύγκριση των ευρημάτων είναι ότι οι ερευνητές κάνουν χρήση διαφορετικών αναλυτικών προσεγγίσεων, κάτι που φαίνεται να έχει αντίκτυπο στα ευρήματα. Σε μια έρευνα ο Ozawa (*Ozawa et al, 2014*) ανέλυσε τα δεδομένα του συγκρίνοντας τις ουδέτερες και αρνητικές συνθήκες με την αδρανή oxy-Hb και τα αποτελέσματα έδειξαν αυξήσεις στην oxy-Hb και για τους δύο τύπους ερεθισμάτων. Ωστόσο, όταν συγκρίθηκαν ουδέτερα ερεθίσματα απευθείας με αρνητικά ερεθίσματα, δεν υπήρχαν εμφανείς διαφορές στην oxy-Hb. Συνεπώς, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η σύγκριση ερεθισμάτων με την αδράνεια μπορεί να σχετίζεται τόσο με τα συναισθήματα όσο και με κάποια δραστηριότητα που γίνεται κατά τη διάρκεια της έρευνας. Ο Herrmann και οι συνεργάτες του (*Herrmann et al, 2003*) συνέκριναν την oxy-Hb σε θετικά, αρνητικά και ουδέτερα ερεθίσματα προς την αδράνεια και δεν κατάφεραν να καταλήξουν σε καμία διαφορά της. Θα πρέπει λοιπόν οι ερευνητές να διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα αναφοράς (αδράνειας) θα συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση, σε συνδυασμό με τις συνθήκες ελέγχου και πειραματισμού, ώστε να επιτρέπεται ο διαχωρισμός της ενεργοποίησης της oxy-Hb από κάποια δραστηριότητα και από τα συναισθήματα.

Ημισφαιρική Ασυμμετρία

Πολλές μελέτες NIRS έχουν χρησιμοποιήσει διμερείς ανιχνευτές για τη μέτρηση των αιμοδυναμικών αποκρίσεων, κάτι που βοηθάει στην εξέταση της ημισφαιρικής ασυμμετρίας στο PFC. Στις μελέτες αυτές ένα από τα παρακάτω κριτήρια

προσαρμόστηκε για να κρίνει την ημισφαιρική ασυμμετρία στις φλοιώδεις ενεργοποιήσεις.

1. Η σημαντική αύξηση της [oxy-Hb] από τη γραμμή βάσης μόνο σε ένα από τα ημισφαίρια, ή
2. Η σημαντική δια-ημισφαιρική διαφορά στο επίπεδο της αλλαγής [oxy-Hb].

Μερικές μελέτες έχουν αποδείξει την υπόθεση σθένους-ασυμμετρίας. Για παράδειγμα, ο Morinaga και οι συνεργάτες του (*Morinaga et al, 2007*) ανέφεραν ότι η αναμονή ηλεκτροπληξίας συσχετίστηκε με μεγαλύτερη αύξηση της [oxy-Hb] στο δεξί σε σύγκριση με το αριστερό PFC. Επιπλέον, οι αυξήσεις του [oxy-Hb] στο δεξί PFC συσχετίζονταν με τα κίνητρα αποφυγής στους συμμετέχοντες. Ταυτόχρονα, αρκετές μελέτες απέτυχαν να ανιχνεύσουν την ημισφαιρική ασυμμετρία στην ενεργοποίηση από την δραστηριότητα, όπως προέβλεπε η υπόθεση της “ασυμμετρίας σθένους”. Μεγάλο μέρος της εμπειρικής υποστήριξης για την υπόθεση “ασυμμετρίας σθένους” λήφθηκε με τη μέτρηση της ασυμμετρίας στην ηλεκτρική ενέργεια EEG (*Davidson and Fox, 1982, Hagemann, 2004*), ωστόσο, η σχέση μεταξύ της ισχύος του EEG και της παροδικής νευροαγγειακής απόκρισης (όπως μετράται από το NIRS) δεν είναι απλή. Έτσι, είναι πιθανό οι φασικές μεταβολές στο [oxy-Hb] να είναι λιγότερο ευαίσθητες από το EEG σε σχέση με τις αλλαγές στα κίνητρα προσέγγισης / απόσυρσης.

Ενεργοποίηση του PFC μέσω δραστηριοτήτων

Ερευνητές χρησιμοποίησαν επίσης το NIRS για να μετρήσουν την ενεργοποίηση σε πιο απαιτητικές δραστηριότητες Σε αυτή την ενότητα συζητούνται δύο τύποι μελετών.

1. Εκείνοι που διερευνούν την επίδραση της επαγόμενης ή φυσικής διάθεσης που προκαλείται κατά την δραστηριότητα και
2. Εκείνοι μελετούν το συναισθηματικό περιεχόμενο της ίδιας της δραστηριότητας.

Ο Aoki και συνεργάτες του (*Aoki et al, 2011*) κατέδειξαν ότι τα φυσιολογικά επίπεδα αρνητικής διάθεσης συσχετίζονταν αρνητικά με τη δραστηριότητα του PFC κατά τη διάρκεια μίας δραστηριότητας λεκτικής ενεργούς μνήμης (EM). Αυτή είναι μια σημαντική παρατήρηση, καθώς υποδηλώνει ότι η φυσική αρνητική διάθεση επηρεάζει τη δραστηριότητα του PFC. Ωστόσο, ο Ozawa (*Ozawa et al, 2014*) χρησιμοποίησε επίσης μια δραστηριότητα EM και βρήκε αυξημένη oxy-Hb όταν οι συμμετέχοντες είχαν επαγόμενη αρνητική διάθεση.

Ενώ υπάρχουν διαφορές στην ακριβή φύση των εργασιών EM που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις δύο μελέτες, καθώς και διαφορές στο σχεδιασμό της μελέτης (δηλ. χρησιμοποιώντας φυσική διάθεση έναντι επαγόμενης διάθεσης), αυτά τα συγκρουόμενα ευρήματα δείχνουν ότι η σχέση μεταξύ αρνητικής διάθεσης και γνωστικής oxy-Hb που σχετίζεται με τη δραστηριότητα δικαιολογεί και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

Επεξεργασία ενστικτωδών αντιδράσεων

Λίγες μελέτες που χρησιμοποιούν τεχνολογία NIRS μέχρι σήμερα έχουν εξετάσει ειδικά τους νευρικούς μηχανισμούς που μεσολαβούν στην επίδραση των ενστικτωδών "σωματικών" δεικτών στη συμπεριφορά. Αυτό οφείλεται εν μέρει σε έναν τεχνικό περιορισμό του NIRS. Το μεσοκοιλιακό PFC, το οποίο θεωρείται ότι είναι ο τόπος ενσωμάτωσης μεταξύ των σωματικών δεικτών και των γνωστικών λειτουργιών ανώτερης τάξης (*Damasio, 1996*), βρίσκεται πολύ μακριά από την επιφάνεια του κρανίου για ακριβείς μετρήσεις ενεργοποίησης χρησιμοποιώντας NIRS.

Όσον αφορά τη σχέση μεταξύ των ενστικτωδών αντιδράσεων και του PFC, αρκετές μελέτες κατάφεραν να αποκαλύψουν μια συσχέτιση μεταξύ της ενεργοποίησης του PFC και της ενεργοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος (ANS) σε ανταπόκριση στη συναισθηματική διέγερση. Για παράδειγμα, ο Tanida και συνεργάτες του (*Tanida et al, 2007*) ανέφεραν ότι ο βαθμός ασυμμετρίας δεξιάς-μετατόπισης σκατά την ενεργοποίηση του PFC που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια ψυχικού άγχους συσχετίστηκε θετικά με το επίπεδο ενεργοποίησης του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Παρομοίως, η αύξηση της [oxy-Hb] έχει συσχετιστεί θετικά με την αλλαγή του καρδιακού ρυθμού κατά την προβολή βίντεο που σχετίζονται με τραύματα (*Matsuo et al., 2003*). Περαιτέρω, ο Moghimi και συνεργάτες του (*Moghimi et al, 2012*) έχουν συνδέσει την απότομη κλίση της κορυφής [oxy-Hb] σε ένα υποκειμενικά αναφερόμενο επίπεδο διέγερσης, το οποίο είναι ένας σχετικά χονδροειδής αλλά ευρέως αποδεκτός δείκτης ενεργοποίησης του ANS (για παρόμοια ευρήματα, βλέπε *Matsuo et al., 2003 Roos et al., 2011*). Αυτές οι μελέτες προσφέρουν μερική υποστήριξη για την άποψη ότι το PFC επεξεργάζεται ενστικτώδεις αντιδράσεις ή σωματικούς δείκτες που σχετίζονται με εξωγενείς διεγέρτες.

Ενεργοποίηση PFC σε ψυχασθενείς.

Εκτός από τη μέτρηση της επίδρασης του συναισθήματος, η έρευνα έχει επίσης διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο η συγκίνηση επηρεάζει τις γνωσιακές επιδόσεις σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν συναισθηματική φόρτιση. Η μεταβαλλόμενη συναισθηματική επεξεργασία είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό στην παθοφυσιολογία των διαταραχών της διάθεσης (*Matsubara et al., 2014*). Παραδείγματος χάριν, έχει αποδειχθεί ότι η αυξημένη δραστηριότητα του dlPFC όταν υπάρχει αρνητικό ερέθισμα συσχετίζεται με μειώσεις της κατάθλιψης (*Heller et al., 2013*). Επιπλέον, έχει υποστηριχθεί ότι η δυσκολία εκκίνησης top-down διαδικασιών ελέγχου που απαιτούνται

για τη ρύθμιση του συναισθήματος είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σε διάφορες ομάδες ασθενών ή διαταραχές, συμπεριλαμβανομένης της μείζονος καταθλιπτικής διαταραχής (MDD) (Johnstone et al., 2007, Matsubara et al., 2014) , της διπολικής διαταραχής (BD) (Matsubara et al., 2014) και της διαταραχής της προσωπικότητας (New et al., 2008, Krause-Utz et al., 2012).

Ο Matsubara (2014) χρησιμοποίησε μια συναισθηματική προσαρμογή του παραδείγματος Stroop (Stroop, 1935) για να διερευνήσει την προμετωπική ενεργοποίηση σε συναισθηματικές λέξεις σε ασθενείς με BD και MDD και διαπίστωσε διαφορετικά πρότυπα δραστηριότητας PFC για ασθενείς με BD και MDD σε σύγκριση με τους υγιείς συμμετέχοντες. Συγκεκριμένα, στις λέξεις που σχετίζονται με την απειλή, οι ασθενείς με BD παρουσίασαν αυξημένη οξυ-Hb στην κάτω μετωπική μετωπική περιοχή ενώ οι ασθενείς με MDD έδειξαν αυξημένη [oxy-Hb] στην αριστερή μεσαία μετωπική περιοχή. Επιπρόσθετα, όταν ανταποκρίθηκαν σε ευτυχισμένες λέξεις, οι ασθενείς με BD έδειξαν μειωμένη [oxy-Hb] στις μεσαίες μετωπικές περιοχές και στα δύο ημισφαίρια, ενώ οι ασθενείς με MDD δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές με τους υγιείς συμμετέχοντες. Επιπλέον, οι ασθενείς με BD εμφάνισαν τόσο αυξημένη όσο και μειωμένη [oxy-Hb] στις ανώτερες μετωπικές και εμπρος-μετωπικές περιοχές σε σύγκριση με ασθενείς με MDD όταν ανταποκρίθηκαν σε χαρούμενες λέξεις.

Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι οι τροποποιημένες νευρικές αποκρίσεις του PFC σε συναισθηματικούς ερεθισμούς μπορεί να είναι ένας δείκτης χαρακτηριστικών σε πληθυσμούς ασθενών (Matsubara et al., 2014). Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επιβεβαίωση αυτών των αρχικών ευρημάτων. Μία ακόμη παρατήρηση της έρευνας ήταν ότι οι διαφορές στην [oxy-Hb] που συσχετίζονται με τις συγκινήσεις μεταξύ των ομάδων ασθενών υποδηλώνουν ότι διαφορετικές νευρικές οδοί παίζουν διαφορετικό ρόλο στη συναισθηματική επεξεργασία σε αυτές τις διαταραχές.

Η BD και η MDD έχουν συσχετιστεί με την κοινωνική αγχώδη διαταραχή (SAD) (Kessler et al., 2005) και όλες οι τρεις διαταραχές εμφανίζονται να δείχνουν μεταβαλλόμενες νευρικές αποκρίσεις κατά τη διάρκεια της συναισθηματικής επεξεργασίας.

Χρησιμοποιώντας μια λεκτική δραστηριότητα που προκάλεσε φόβο και αμφιβολίες στην αξιολόγηση της από άλλους, ο Yokoyama και συνεργάτες του (Yokoyama et al., 2015) μέτρησαν την [oxy-Hb] και διαπίστωσαν ότι οι ασθενείς που πάσχουν από SAD εμφάνισαν μικρότερες αυξήσεις στην νΙPFC oxy-Hb σε σύγκριση με υγιείς συμμετέχοντες. Επιπλέον, η σωστή δραστηριότητα του νΙPFC αποδείχθηκε ότι συσχετίζεται αρνητικά με την κοινωνική αποφυγή σε ασθενείς με SAD. Αντίθετα, αυτή η συσχέτιση αντιστράφηκε στους υγιείς συμμετέχοντες. Η μείωση του νΙPFC oxy-Hb υποδεικνύει ότι οι ασθενείς με SAD μπορεί να έχουν δυσκολία να στρατολογήσουν

επιτυχώς τις περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με τη ρύθμιση των συναισθημάτων. Ο Liu (*Liu et al., 2014*) επίσης χρησιμοποίησε μια λεκτική δραστηριότητα και διαπίστωσε ότι οι ασθενείς με MDD επέδειξαν μικρότερες αυξήσεις στην [oxy-Hb] κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της δραστηριότητας και ότι το διμερές PFC και η προγενέστερη διάμεση oxy-Hb συσχετίζονται με τη σοβαρότητα της κατάθλιψης.

Οι μελέτες NIRS που αναφέρουν παρατηρήσιμες διαφορές στην [oxy-Hb] μεταξύ ομάδων ασθενών, καθώς και μεταξύ ομάδων ασθενών και υγιών ατόμων, καταδεικνύουν ότι το NIRS είναι μια αποτελεσματική μεθοδολογία απεικόνισης στη μελέτη της παθοφυσιολογίας των ασθενών. Ωστόσο, δεδομένου του τρόπου με τον οποίο η έρευνα δείχνει ότι η συναισθηματική κατάσταση και η ιδιοσυγκρασία μπορεί να έχουν ξεχωριστά και συνδυασμένα αποτελέσματα στη γνωστική επεξεργασία (*Crocker et al., 2012*), οι μελλοντικές μελέτες πρέπει να εξετάσουν το ρόλο των χαρακτηριστικών των συναισθημάτων στον πειραματικό σχεδιασμό τους.

Προβλήματα της τεχνολογίας NIRS στην έρευνα των συναισθημάτων

Εκτός από τις γενικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές κατά την ανάλυση των δεδομένων NIRS λόγω προβλημάτων ανάλυσης και ακρίβειας, η εφαρμογή του NIRS στην έρευνα συναισθημάτων ενέχει πρόσθετες δυσκολίες και παράγοντες.

Το πρώτο πρόβλημα αφορά τον θόρυβο που προκαλείται από τις περιφερειακές αντιδράσεις στη συναισθηματική διέγερση. Η επαγωγή μιας συναισθηματικής κατάστασης συνοδεύεται συχνά από αλλαγές στην σωματική κατάσταση, όπως η συστολή των μυών του προσώπου ή η αυξημένη καρδιαγγειακή δραστηριότητα. Αν και μετριάζονται με ομοιοστατική ρύθμιση, αυτές οι μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό και την αρτηριακή πίεση θα μπορούσαν ενδεχομένως να καλύψουν τις αιμοδυναμικές αποκρίσεις που σχετίζονται με τα συναισθήματα. Ομοίως, η αερόβια διαδικασία κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με συστολή μυών μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στις μετρήσιμες [oxy-Hb] .

Περισσότερα σε αυτόν τον τομέα έχει αναλύσει ο Schecklmann, ο οποίος βέβαια κατά τη διάρκεια μιας έρευνας που αφορούσε την προφορική ευχέρεια, δεν διαπίστωσε συστηματική σχέση μεταξύ σημάτων ηλεκτρομυογράφου και [oxy-Hb] . Ωστόσο, η επίδραση των περιφερειακών αποκρίσεων στα σήματα NIRS έχει εξεταστεί μόνο υπό περιορισμένες συνθήκες. Μια ανάλυση παλινδρόμησης που θα διεξαχθεί χρησιμοποιώντας ταυτόχρονες μετρήσεις σημάτων NIRS και δεικτών περιφερικής απόκρισης, όπως η ηλεκτρομυογραφία, ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση, θα

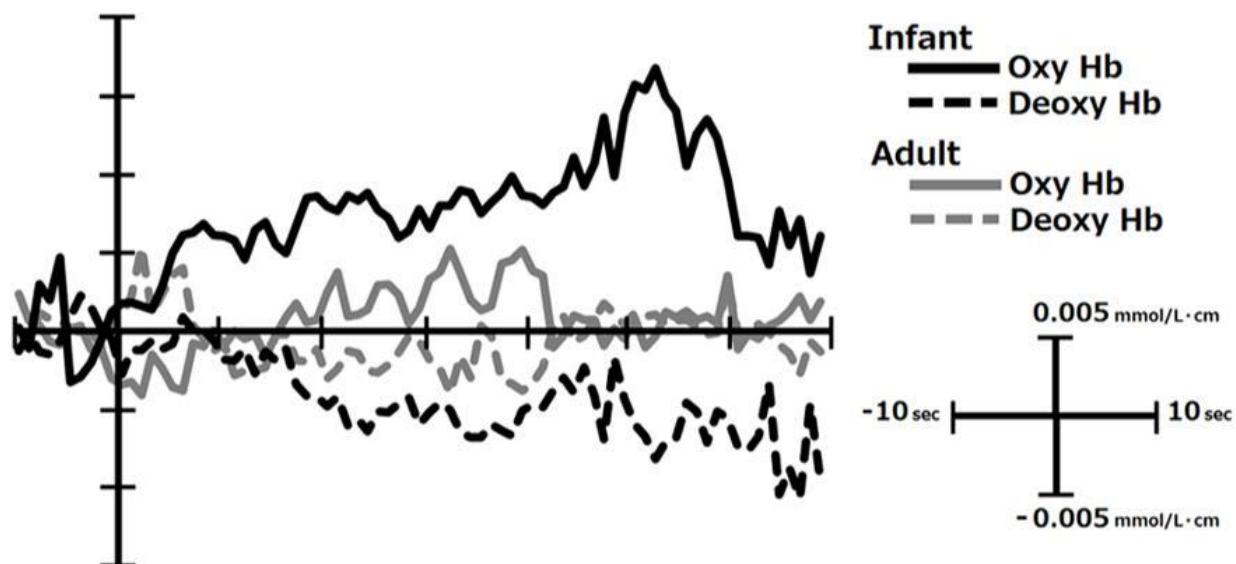
μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αποκλειστεί η επίδραση αυτών των παραγόντων (Schecklmann *et al.*, 2010).

Ένα άλλο πρόβλημα είναι το χρονικό διάστημα της ενεργοποίησης των νευρώνων που προκαλείται από τη συναισθηματική διέγερση. Τόσο η υποκειμενική εμπειρία ενός συναισθήματος όσο και οι νευρικές αντιδράσεις που προκαλούνται από τη συναισθηματική διέγερση μπορεί να διαρκούν περισσότερο από την ίδια την διέγερση (León-Carrión *et al.*, 2007). Έτσι, η εφαρμογή συμβατικών μεθόδων προεπεξεργασίας οι οποίες περιορίζουν χρονικά το δείγμα, συνεπάγεται τον κίνδυνο εξάλειψης σημαντικών αποτελεσμάτων.

Στην ίδια έρευνα παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν αλλαγές ανάλογα με το φύλο, καθώς στους άντρες φάνηκαν πιο έντονες υπερβάσεις και υποτροπές στα υπό μελέτη συναισθήματα απ' ότι στις γυναίκες, ένα ακόμη παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Σε συνδυασμό μάλιστα με το προηγούμενο, παρατηρήθηκε ότι εάν οι ερευνητές είχαν λάβει υπ' όψιν τους τα σήματα NIRS χρησιμοποιώντας την περίοδο μετά την εκτροπή της διέγερσης ως βασική γραμμή, οι παρατηρούμενες διαφορές λόγω φύλου θα μπορούσαν να έχουν συγκαλυφθεί.

Ένας πιθανός τρόπος αντιμετώπισης αυτού του ζητήματος είναι η χρήση υποκειμενικών αξιολογήσεων της συναισθηματικής κατάστασης για τη συνεχή παρακολούθηση της κροταφικής πορείας των συναισθηματικών αντιδράσεων για παρατεταμένη διάρκεια. Αυτό θα επιτρέψει στους ερευνητές να καθορίσουν εμπειρικά το χρονικό παράθυρο και στη συνέχεια να ποσοτικοποιήσουν τις αιμοδυναμικές απαντήσεις βάσει αυτών των δεδομένων.

Το τρίτο πρόβλημα είναι η επιλογή του κατάλληλου δείκτη της ενεργοποίησης του φλοιού. Σε πολλές από τις προηγούμενες μελέτες, η διαρκής αύξηση της [oxy-Hb] ελήφθη ως δείκτης της φλοιώδους ενεργοποίησης, εν μέρει επειδή αυτή η παράμετρος είναι αρκετά ευαίσθητη στη συναισθηματική διέγερση όπως φαίνεται από τα δεδομένα του σχήματος σε μια έρευνα περί ανταπόκρισης στο πρόσωπο του βρέφους από μητέρες και μη-μητέρες (Nishitani *et al.*, 2011).



Ταυτόχρονα, ο Suh και συνεργάτες του ανέφεραν σε μια έρευνα του 2006, ότι η επαγόμενη διέγερση από το φλοιό προκαλεί απότομη (μέσα σε 1-2 δευτερόλεπτα μετά την διέγερση) και σπαραδική αύξηση της [deoxy-Hb], ενώ η μεταβολή της συνολικής συγκέντρωσης αιμοσφαιρίνης στην μεταγενέστερη περιοχή δεν ήταν έντονη.

Με αυτό τον τρόπο, η συμβατική μέθοδος ανάλυσης, δηλαδή η μέση τιμή της στάθμης [oxy-Hb] κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου διέγερσης που διαρκεί για αρκετά δευτερόλεπτα, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να εξασθενήσει σε κάποιο βαθμό η δυνατότητα εντοπισμού του κεντρικού άκρου της φλοιώδους ενεργοποίησης. Αυτό μπορεί εν μέρει να εξηγήσει την αδυναμία να βρεθεί συνεπής τύπος ημισφαιρικής ασυμμετρίας στις υπάρχουσες μελέτες NIRS (βλέπε Ημισφαιρική Ασυμμετρία). Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, συνιστάται στους ερευνητές να αξιολογούν στατιστικά τις αλλαγές σε [deoxy-Hb] καθώς και [oxy-Hb] με υψηλή χρονική ανάλυση χρησιμοποιώντας αναλυτικές μεθόδους, όπως point-to-point δοκιμές, μέθοδος ευρέως διαδεδομένη σε μελέτες σχετικές με ERP (event-related potential) όπως αυτή των Blair & Karniski, 1993.

Πιθανές εφαρμογές του NIRS

Οι προαναφερθείσες θεωρίες σχετικά με το ρόλο του PFC στην επεξεργασία των συναισθημάτων (Davidson and Fox, 1982, Damasio, 1996, Rolls, 1996) μοιράζονται την άποψη ότι το PFC είναι μία από τις βασικές περιοχές όπου η συναισθηματική αντίδραση και τα κίνητρα, σχετίζονται άμεσα με την την προσοχή, την κίνηση και τη λήψη αποφάσεων. Η σημασία της λειτουργίας του PFC στην επεξεργασία των

συναισθημάτων καθιστά έναν βασικό στόχο για μελλοντική έρευνα συναισθημάτων. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζουμε μια σύντομη επισκόπηση των πιθανών πεδίων έρευνας στα οποία το NIRS θα μπορούσε να βοηθήσει τις έρευνες για την επεξεργασία των συναισθημάτων.

Βιολογία & συναισθηματική αντίδραση

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα γνωρίσματα που σχετίζονται με ανταμοιβή και το άγχος μπορούν να διαμορφώσουν ευπάθεια σε παθολογικές καταστάσεις όπως η κατάθλιψη (*Pizzagalli et al., 2005, Bogdan et al., 2013*). Αυτά τα ευρήματα δίνουν βάρος στις έρευνες για τη βιολογική προδιάθεση που καθορίζουν την απόκριση του PFC σε ερεθίσματα που προκαλούν συναισθήματα. Μια τέτοια έρευνα μπορεί να βοηθήσει στην αποσαφήνιση των αιτίων των μεμονωμένων διαφορών στις συναισθηματικές αντιδράσεις και ενδεχομένως να βοηθήσει στον εντοπισμό παραγόντων κινδύνου που οδηγούν σε ψυχιατρικές παθήσεις. Όπως αναφέραμε παραπάνω, έγινε μια προσπάθεια σε ότι αφορά την BD και την MDD (*Johnstone et al., 2007, Matsubara et al., 2014*) όμως χρειαζόμαστε ακόμα αρκετές έρευνες για να μπορούμε να είμαστε σίγουροι για τα αποτελέσματα. Η χρήση του NIRS για τη μέτρηση της ενεργοποίησης του PFC είναι ανεκτίμητη λόγω της καταλληλότητας αυτής της τεχνικής για τη μέτρηση της ενεργοποίησης του φλοιού σε μεγάλες ομάδες συμμετεχόντων

Σύνδεση κίνησης και συναισθημάτων

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που σχετίζεται με την επεξεργασία συναισθημάτων στο PFC είναι η επίδραση της συναισθηματικής κατάστασης στη λειτουργία των σωματικών κινήσεων. Όπως δηλώνει ο Frijda (*Frijda, 1987*), μία από τις βασικές λειτουργίες του συναισθήματος είναι να καθοδηγεί την κινητική συμπεριφορά. Ωστόσο, μέχρι πρόσφατα, η έννοια της «δράσης» έλειπε σε μεγάλο βαθμό απ'την έρευνα σχετικά με τις νευρικές βάσεις του συναισθήματος, με λίγες εξαιρέσεις (*van Peer et al., 2007, Volman et al., 2011*). Η κίνηση είναι γνωστό από καιρό ότι τροποποιεί άμεσα τη συγκίνηση και τη διάθεση (*Niedenthal, 2007*) και έχει καθιερωθεί μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ της κινητικής λειτουργίας και της υποκειμενικής εμπειρίας του συναισθήματος (*Zhu and Thagard, 2002*). Θεωρώντας ότι το PFC είναι λειτουργικά συνδεδεμένο με πολλές περιοχές της κίνησης όπως η παρεγκεφαλίδα (*Kipping et al., 2013*) και τα

βασικά γάγγλια (Kung et al., 2013), είναι πιθανό αυτή η περιοχή να μεσολαβεί στις σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ κινητικής λειτουργίας και συναισθημάτων.

Πολλές τεχνικές νευροαπεικόνισης περιορίζουν την ποικιλομορφία δράσεων που μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα αφού οι μετρήσεις της νευρικής ενεργοποίησης επηρεάζονται από γύρω θορύβους. Αυτό, με τη σειρά του, περιορίζει τα είδη των φαινομένων που μπορούν να διερευνηθούν οι ερευνητές. Καθώς το NIRS είναι ισχυρό σε σχέση με τον εξωτερικό θόρυβο, έχει τη δυνατότητα να διευρύνει το πεδίο των ερευνών για τους νευρικούς μηχανισμούς που αποτελούν τη βάση της αλληλεπίδρασης μεταξύ κίνησης και συναισθημάτων.

Ο ρόλος του μηχανικού

Εξέλιξη της τεχνολογίας & των τεχνικών

Όπως είδαμε παραπάνω, η τεχνολογία NIRS συναντάει διάφορα προβλήματα κατά την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων μιας έρευνας. Πολλά από τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με το ηλεκτρολογικό και το μηχανικό κομμάτι της συσκευής που χρησιμοποιείται. Συνεπώς πρέπει να γίνουν περαιτέρω έρευνες και εξελίξεις στην τεχνολογία των κομματιών αυτών ώστε, μέσω μιας συσκευής NIRS, να μπορούμε να αναλύσουμε ακόμα ευκολότερα και διακριτά τα αποτελέσματα που μας παρέχει.

Λόγω της δυσκολίας που ενέχει η μελέτη του εγκεφάλου έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες για να μας βοηθήσουν (EEG, NIRS, PET κ.α.). Ευθύνη του μηχανικού είναι να μπορέσει να συνδιάσει κατάλληλα τις τεχνολογίες αυτές ώστε να χρησιμοποιήσει τα θετικά της κάθε τεχνολογίας και να απαλείψει όποια μειονεκτήματα εμπεριέχει κάθε τεχνολογία (ευαισθησία στο θόρυβο, δυσκολία στην χρήση, προβλήματα ακριβείας). Πρέπει λοιπόν να αναπτυχθούν πιο φορητές συνδιαστικές συσκευές, ώστε να διευκολυνθούν οι έρευνες που γίνονται και έτσι να μπορέσουμε να εμβαθύνουμε κι άλλο στα συναισθήματα και το τρόπο με τον οποίο μας επηρεάζουν. Μια πρόσφατη προσπάθεια σε αυτό τον τομέα έγινε από τον Jiawei Xu και συνεργάτες του (Jiawei Xu et al., 2018) τον Νοέμβριο του 2018, όταν έφτιαξαν μια συσκευή για πολυτροπική παρακολούθηση του εγκεφάλου η οποία χρησιμοποιεί NIRS, EEG και EIT.

Χρήση της υπάρχουσας θεωρίας

Η γνώση της κυκλοφορίας της [oxy-Hb] στο PFC μπορεί να αξιοποιηθεί από μηχανικούς διαφόρων τομέων. Αρχικά, μια καλή μελέτη στο θέμα μπορεί να βοηθήσει μηχανικούς που ασχολούνται με artificial intelligence να ενσωματώσουν τεχνικά συναισθήματα μέσω νέων τρόπων και να προσαρμόσουν κινήσεις κι αντιδράσεις σύμφωνα με τα συναισθήματα που “νιώθουν”. Έπειτα, ένα ρομπότ το οποίο μπορεί να αναλύσει άμεσα δεδομένα του NIRS έχει τη δυνατότητα να καταλάβει το συναίσθημα του ατόμου που το φοράει. Αυτό μπορεί να βοηθήσει ασθενείς με ψυχολογικές διαταραχές καθώς το ρομπότ θα έχει τη δυνατότητα να καταλάβει εγκαίρως ότι ο ασθενής του αισθάνεται φόβο ή δυσφορία και να του παρέχει την απαραίτητη βοήθεια καθώς συγχρόνως ενημερώσει κάποιον γιατρό ή υπεύθυνο.

Ένας άλλος τομέας που μπορεί να βοηθήθει από τις έρευνες αυτές είναι πως με περαιτέρω ανάλυση θα μπορέσουμε να δημιουργήσουμε ένα τέλειο τεχνικό μοντέλο του ανθρώπινου εγκεφάλου το οποίο θα λειτουργεί όπως ο δικός μας εγκέφαλος. Θα έχουμε τη δυνατότητα να παρουσιάσουμε τη ροή των πληροφοριών μέσα στον εγκέφαλο μέσω υγρών και χημικών συνάψεων, κάτι που μπορεί να βοηθήσει στην εκπαίδευση νέων νευροεπιστημόνων αλλά ίσως και στην εξέλιξη της ρομποτικής.

Προς στιγμήν, διάφορες έρευνες έχουν γίνει για σκοπούς διαφήμισης και marketing, όπως στην έρευνα του Yanagisawa (Yanagisawa et al, 2015) που έγινε για να μπορέσουν εταιρίες όπως η Coca Cola και η Pepsi να καταλάβουν τι συναισθήματα διεγείρουν τα logo και τα προϊόντα τους.

Οι πτυχές της τεχνολογίας που μπορούν να αξιοποιήσουν τη γνώση των συναισθημάτων μας είναι πολλές και ο ρόλος του μηχανικού σε αυτές είναι μεγάλος καθώς έχει την ευθύνη της δημιουργίας της συσκευής που θα αξιοποιεί τα συναισθήματα αυτά.

Σύνοψη

Παρά τους τεχνικούς περιορισμούς, η τεχνολογία NIRS είναι μια αξιόπιστη τεχνική για την ποσοτικοποίηση πολλών πτυχών της συναισθηματικής λειτουργίας του PFC, όπως η ευαισθησία στην ανταμοιβή ερεθισμάτων (Rolls, 1996) και η επεξεργασία των σπλαχνικών αντιδράσεων (Damasio, 1996).

Το συνεχώς αυξανόμενο πεδίο της επιστήμης των συναισθημάτων είναι προς όφελος των μελετών που υιοθετούν το NIRS για τη μέτρηση της ενεργοποίησης των

εγκεφαλικών νευρώνων κατά τη διάρκεια συναισθηματικών και γνωστικών δραστηριοτήτων. Γνωρίζουμε πλέον πως η τεχνολογία NIRS είναι κατάλληλη για τη μέτρηση της νευρικής δραστηριότητας του PFC και το PFC έχει αποδειχθεί ότι συμμετέχει στην επεξεργασία των συναισθηματικών πληροφοριών.

Πολλά από τα οφέλη που προσφέρει το NIRS, συμπεριλαμβανομένης της φορητότητας του, της μειωμένης ενόχλησης των συμμετεχόντων και της ικανότητας του να μελετήσει ένα ευρύτερο φάσμα συμπεριφορών, το καθιστούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για τη μελέτη της νευρικής λειτουργίας σε ποικίλους πληθυσμούς συμμετεχόντων.

Αναφορές

Functional magnetic resonance imaging

Ichikawa et al., 2010

Ichikawa, H., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., and Kakigi, R. (2010). Infant brain activity while viewing facial movement of point-light displays as measured by near-infrared spectroscopy (NIRS). *Neurosci. Lett.* 482, 90–94. doi: 10.1016/j.neulet.2010.06.086

Ozawa et al., 2011

Ozawa, M., Kanda, K., Hirata, M., Kusakawa, I., and Suzuki, C. (2011). Influence of repeated painful procedures on prefrontal cortical pain responses in newborns. *Acta Paediatr.* 100, 198–203. doi: 10.1111/j.1651-2227.2010.02022.x

Kida and Shinohara, 2013b

Kida, T., and Shinohara, K. (2013b). Gentle touch activates the prefrontal cortex in infancy: an NIRS study. *Neurosci. Lett.* 541, 63–66. doi: 10.1016/j.neulet.2013.01.048

MacLean, P. D. (1949).

Psychosomatic disease and the visceral brain; recent developments bearing on the Papez theory of emotion. Psychosom. Med. 11, 338–353.

Davidson and Fox, 1982

Davidson, R. J., and Fox, N. A. (1982). Asymmetrical brain activity discriminates between positive and negative affective stimuli in human infants. *Science* 218, 1235–1237. doi: 10.1126/science.7146906

Damasio, 1996

Damasio, A. R. (1996). *The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex*. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 351, 1413–1142. doi: 10.1098/rstb.1996.0125

Positron Emission Tomography

Rolls, 1996

Rolls, E. T. (1996). *The orbitofrontal cortex*. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 351, 1433–1444. doi: 10.1098/rstb.1996.0128

Dalgleish, 2004

Dalgleish, T. (2004). *The emotional brain*. *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 582–585. doi: 10.1038/nrn1432

Lang P. J., Bradley M. M., Cuthbert B. N. (2008). *International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual*. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.

Marchewka et al, 2014

Marchewka A., Zurawski L., Jednoróg K., Grabowska A. (2014). *The Nencki Affective Picture System (NAPS): introduction to a novel, standardized, wide-range, high-quality, realistic picture database*. *Behav. Res. Methods* 46, 596–610. 10.3758/s13428-013-0379-1

Glotzbach et al, 2011

Glotzbach E., Mühlberger A., Gschwendtner K., Fallgatter A. J., Pauli P., Herrmann M. J. (2011). *Prefrontal brain activation during emotional processing: a functional near infrared spectroscopy study (fNIRS)*. *Open Neuroimag. J.* 5, 33–39. 10.2174/1874440001105010033

Hoshi et al, 2011

Hoshi Y., Huang J., Iguchi Y., Naya M., Okamoto T., Ono S. (2011). *Recognition of human emotions from cerebral blood flow changes in the frontal region: a study with event-related near-infrared spectroscopy*. *J. Neuroimaging* 21, 94–101. 10.1111/j.1552-6569.2009.00454.x

Herrmann et al, 2003

Herrmann M. J., Ehlis A. C., Fallgatter A. J. (2003). *Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with NIRS*. *Biol. Psychol.* 64, 255–263. 10.1016/S0301-0511(03)00095-4

Morinaga et al, 2007

Morinaga, K., Akiyoshi, J., Matsushita, H., Ichioka, S. Tanaka, Y., Tsuru, J., et al. (2007). Anticipatory anxiety-induced changes in human lateral prefrontal cortex activity. *Biol. Psychol.* 74, 34–38. doi: 10.1016/j.biopsycho.2006.06.005

Davinson & Fox, 1982

Davidson, R. J., and Fox, N. A. (1982). Asymmetrical brain activity discriminates between positive and negative affective stimuli in human infants. *Science* 218, 1235–1237. doi: 10.1126/science.7146906

Aoki et al, 2011

Aoki R., Sato H., Katura T., Utsugi K., Koizumi H., Matsuda R., et al. . (2011). Relationship of negative mood with prefrontal cortex activity during working memory tasks: an optical topography study. *Neurosci. Res.* 70, 189–196. 10.1016/j.neures.2011.02.011

Ozawa et al, 2014

Ozawa S., Matsuda G., Hiraki K. (2014). Negative emotion modulates prefrontal cortex activity during a working memory task: a NIRS study. *Front. Hum. Neurosci.* 8:46. 10.3389/fnhum.2014.00046

Tanida et al, 2007

Tanida, M., Katsuyama, M., and Sakatani, K. (2007). Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions: a near-infrared spectroscopy study. *Brain Res.* 1184, 210–216. doi: 10.1016/j.brainres.2007.09.058

Matsuo et al., 2003

Matsuo, K., Kato, T., Taneichi, K., Matsumoto, A., Ohtani, T., Hamamoto, T., et al. (2003). Activation of the prefrontal cortex to trauma-related stimuli measured by near-infrared spectroscopy in posttraumatic stress disorder due to terrorism. *Psychophysiology* 40, 492–500. doi: 10.1111/1469-8986.00051

Moghimi et al, 2012

Moghimi, S., Kushki, A., Guerguerian, A. M., and Chau, T. (2012). Characterizing emotional response to music in the prefrontal cortex using near infrared spectroscopy. *Neurosci. Lett.* 525, 7–11. doi: 10.1016/j.neulet.2012.07.009

Roos et al., 2011

Roos, A., Robertson, F., Lochner, C., Vythilingum, B., and Stein, D. J. (2011). Altered prefrontal cortical function during processing of fear-relevant stimuli in pregnancy. *Behav. Brain Res.* 222, 200–205 doi: 10.1016/j.bbr.2011.03.055

Matsubara et al., 2014

Matsubara T., Matsuo K., Nakashima M., Nakano M., Harada K., Watanuki T., et al. . (2014). Prefrontal activation in response to emotional words in patients with bipolar disorder and major depressive disorder. *Neuroimage* 85, 489–497. 10.1016/j.neuroimage.2013.04.098

Heller et al., 2013

Heller A. S., Johnstone T., Peterson M. J., Kolden G. G., Kalin N. H., Davidson R. J. (2013). Increases in prefrontal cortex activity when regulating negative emotion predicts symptom severity trajectory over six months in depression. *JAMA Psychiatry* 70, 1181–1189. 10.1001/jamapsychiatry.2013.2430

Johnstone et al., 2007

Johnstone T., van Reekum C. M., Urry H. L., Kalin N. H., Davidson R. J. (2007). Failure to regulate: counterproductive recruitment of top-down prefrontal-subcortical circuitry in major depression. *J. Neurosci.* 27, 8877–8884. 10.1523/JNEUROSCI.2063-07.2007

New et al., 2008

New A. S., Goodman M., Triebwasser J., Siever L. J. (2008). Recent advances in the biological study of personality disorders. *Psychiatr. Clin. North Am.* 31, 441–461. 10.1016/j.psc.2008.03.011

Stroop, 1935

Stroop J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *J. Exp. Psychol.* 18, 643–662. 10.1037/h0054651

Kessler et al., 2005

Kessler R. C., Chui W. T., Demler O., Walters E. E. (2005). Prevalence, severity, and comorbidity of 12-month DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Arch. Gen. Psychiatry* 62, 617–627. 10.1001/archpsyc.62.6.617

Yokoyama et al., 2015

Yokoyama C., Kaiya H., Kumano H., Kinou M., Umekage T., Yasuda S., et al. . (2015). Dysfunction of ventrolateral prefrontal cortex underlying social anxiety disorder: a multi-channel NIRS study. *Neuroimage Clin.* 8, 455–461. 10.1016/j.nicl.2015.05.011

Liu et al., 2014

Liu X., Sun G., Zhang X., Xu B., Shen C., Shi L., et al. . (2014). Relationship between the prefrontal function and the severity of the emotional symptoms during a verbal fluency task in patients with major depressive disorder: a multi-channel NIRS study. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry* 54, 114–121. doi: 10.1016/j.pnpbp.2014.05.005

Crocker et al., 2012

Crocker L. D., Heller W., Spielberg J. M., Warren S. L., Bredemeier K., Sutton B. P., et al. . (2012). Neural mechanisms of attentional control differentiate trait and state negative affect. *Front. Psychol.* 3:298. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00298

Krause-Utz et al., 2012

Krause-Utz A., Oei N. Y. L., Niedtfeld I., Bohus M., Spinhoven P., Schmahl C., et al. . (2012). Influence of emotional distraction on working memory performance in borderline personality disorder. *Psychol. Med.* 42, 2181–2192. doi: 10.1017/S0033291712000153

Hagemann, 2004

Hagemann, D. (2004). Individual differences in anterior EEG asymmetry: methodological problems and solutions. *Biol. Psychol.* 67, 157–182 doi: 10.1016/j.biopsycho.2004.03.006

Schecklmann, 2010

Schecklmann, M., Ehrlis, A. C., Plichta, M. M., and Fallgatter, A. J. (2010). Influence of muscle activity on brain oxygenation during verbal fluency assessed with functional near-infrared spectroscopy. *Neuroscience* 171, 434–442. doi: 10.1016/j.neuroscience.2010.08.072

León-Carrión, 2007

León-Carrión, J., Martín-Rodríguez, J. F., Damas-López, J., Pourrezai, K., Izzetoglu, K., Barroso y Martín, J. M., et al. (2007). A lasting post-stimulus activation on dorsolateral prefrontal cortex is produced when processing valence and arousal in visual affective stimuli. *Neurosci. Lett.* 422, 147–152. doi: 10.1016/j.neulet.2007.04.087

Nishitani et al., 2011

Nishitani, S., Doi, H., Koyama, A., and Shinohara, K. (2011). Differential prefrontal response to infant facial emotions in mothers compared with non-mothers. *Neurosci. Res.* 70, 183–188. doi: 10.1016/j.neures.2011.02.007

Suh et al., 2006

Suh, M., Bahar, S., Mehta, A. D., and Schwartz, T. H. (2006). Blood volume and hemoglobin oxygenation response following electrical stimulation of human cortex. *Neuroimage* 31, 66–75. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.11.030

Blair and Karniski, 1993

Blair, R. C., and Karniski, W. (1993). An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology* 30, 518–524. doi: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb02075.x

Pizzagalli et al., 2005

Pizzagalli, D. A., Jahn, A. L., and O'Shea, J. P. (2005). Toward an objective characterization of an anhedonic phenotype: a signal-detection approach. *Biol. Psychiatry* 57, 319–327. doi: 10.1016/j.biopsych.2004.11.026

Bogdan et al., 2013

Bogdan, R., Nikolova, Y. S., and Pizzagalli, D. A. (2013). Neurogenetics of depression: a focus on reward processing and stress sensitivity. *Neurobiol. Dis.* 52, 12–23. doi: 10.1016/j.nbd.2012.05.007

Frijda, 1987

Frijda, N. H. (1987). Emotion, cognitive structure and action tendency. *Cogn. Emot.* 1, 115–143. doi: 10.1080/02699938708408043

van Peer et al., 2007

van Peer, J. M., Roelofs, K., Rotteveel, M., van Dijk, J. G., Spinhoven, P., and Ridderinkhof, K. R. (2007). The effects of cortisol administration on approach-avoidance behavior: an event-related potential study. *Biol. Psychol.* 76, 135–146. doi: 10.1016/j.biopsycho.2007.07.003

Volman et al., 2011

Volman, I., Toni, I., Verhagen, L., and Roelofs, K. (2011). Endogenous testosterone modulates prefrontal-amygdala connectivity during social emotional behavior. *Cereb. Cortex* 21, 2282–2290. doi: 10.1093/cercor/bhr001

Niedenthal, 2007

Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science* 316, 1002–1005. doi: 10.1126/science.1136930

Zhu and Thagard, 2002

Zhu, J., and Thagard, P. (2002). *Emotion and action*. *Philos. Psychol.* 15, 19–36. doi: 10.1080/09515080120109397

Kipping et al., 2013

Kipping, J. A., Grodd, W., Kumar, V., Taubert, M., Villringer, A., and Margulies, D. S. (2013). *Overlapping and parallel cerebello-cerebral networks contributing to sensorimotor control: an intrinsic functional connectivity study*. *Neuroimage* 83, 837–848. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.07.027

Kung et al., 2013

Kung, S.-J., Chen, J. L., Zatorre, R. J., and Penhune, V. B. (2013). *Interacting cortical and basal ganglia networks underlying finding and tapping to the musical beat*. *J. Cogn. Neurosci.* 25, 401–420. doi: 10.1162/jocna_00325

Jiawei Xu et al., 2018

Jiawei Xu ; Mario Konijnenburg ; Shuang Song ; Hyunsoo Ha ; Roland van Wegberg ; Chris Van Hoof A 665 μ W Silicon Photomultiplier-Based NIRS/EEG/EIT Monitoring ASIC for Wearable Functional Brain Imaging , doi: 10.1109/TBCAS.2018.2883289;

Yanagisawa et al., 2015

Kazuki Yanagisawa ; Hitoshi Tsunashima; *Evaluation of pleasant and unpleasant emotions evoked by visual stimuli using NIRS*, doi: 10.1109/ICCAS.2015.7364944

Παράρτημα: Κώδικας Matlab

Οργάνωση κώδικα

Τα αρχεία κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας παρουσιάζονται στην συνέχεια μαζί με μία σύντομη περιγραφή της χρήσης τους. Με κατάλληλα σχόλια και sections μέσα στα αρχεία φαίνεται ποιο κομμάτι υλοποιεί κάθε ερώτημα.

plotGraphs.m: Το script καλεί όλα τα παρακάτω αρχεία σύμφωνα με την σειρά των ερωτημάτων και κατά την εκτέλεση του τρέχει αυτόματα όλα τα ερωτήματα της εργασίας, κατασκευάζει και αποθηκεύει τα διαγράμματα και τους πίνακες που χρησιμοποιούνται στην εργασία. Αποτελεί το βασικό script εκτέλεσης του κώδικα.

findBestK.m: Το script καλείται για να υπολογίσει και να κατασκευάσει τα διαγράμματα των κορυφών συναρτήσεως του K και βρίσκει το καλύτερο K. Στην συνέχεια αφού βρούμε τον κανόνα το plotGraphs.m σχεδιάζει τον κανόνα.

TestDataCountSpikes.m: Το script χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει τον κανόνα που βρήκαμε, χρησιμοποιώντας τον κανόνα υπολογίζει τον αριθμό των Spikes στα δεδομένα DataTestX.

EvalDataCountSpikes.m: Το script χρησιμοποιώντας τον κανόνα υπολογίζει τον αριθμό των Spikes στα δεδομένα EvalTestX και επίσης βρίσκει τις χρονικές στιγμές που έχουμε το πρώτο ακρότατο και κάνει την αντιστοίχιση σύμφωνα με αυτό δημιουργώντας τον πίνακα savedData(i).spikeEst .

noiseSpikes.m: Το script υπολογίζει ποιά από τα Spike που βρέθηκαν είναι πραγματικά και ποιά είναι θόρυβος. Επιπλέον κάνει την αντιστοίχιση των Spike που είναι πραγματικά με την κλάση στην οποία ανήκει αποθηκεύοντας το αποτέλεσμα στο πίνακα της δομής savedData(i).classEst(r).

Calfeatures.m: Στο script αυτό έχουμε ορίσει κάποια χαρακτηριστικά για τα Spikes, έχουν οριστεί 9 συνολικά χαρακτηριστικά . Κατά την εκτέλεση του script υπολογίζουμε τις τιμές για αυτά τα χαρακτηριστικά για τα Spikes που βρέθηκαν και αποθηκεύτηκαν στον πίνακα savedData(i).spikeEst, και αποθηκεύουμε τις τιμές των χαρακτηριστικών στον πίνακα της δομής savedData(i).features.

plotFeatures.m: Το script κατασκευάζει και αποθηκεύει τα διαγράμματα με όλους τους συνδυασμούς των χαρακτηριστικών ανά δύο.

bestFeaturesOrder.m: Το script υπολογίζει την απόδοση των συνδυασμών και κατατάσει τους παραπάνω συνδυασμούς με βάση τον καλύτερο προς τον χειρότερο.

plotBestComb.m: Το script κατασκευάζει τα διαγράμματα των 5 καλύτερων συνδυασμών χαρακτηριστικών.

rateComb(savedData,figureNum, indexes).m: Συνάρτηση που παίρνει μέσω του συντελεστή indexes τους συνδυασμούς χαρακτηριστικών και εξάγει το ποσοστό επιτυχίας ταξινόμησης.

Κάθε γραμμή του συντελεστή αντιστοιχεί σε ένα συνδυασμό χαρακτηριστικών που αποθηκεύονται σε κάθε στήλη ως ένας αριθμός από το 1 μέχρι το 9 δηλώνοντας το αντίστοιχο χαρακτηριστικό.

saveFigureFullSize(handle, fileName).m: Η συνάρτηση χρησιμοποιείται για την αποθήκευση διαγραμμάτων σε Full Screen Size.

MyClassify.m: Η δοσμένη συνάρτηση για την εξαγωγή του ποσοστού επιτυχίας ταξινόμησης.

Αρχεία Κώδικα

Παραθέτουμε παρακάτω τα αρχεία κώδικα της εργασίας μας. Για πιο εύκολη και οργανωμένη ανάγνωση ή χρήση τους, παραθέτουμε και [σύνδεσμο όπου μπορεί να γίνει λήψη των αρχείων](#).

plotGraphs.m

```
%% ----- Erwthma 1.1 -----
close all
figureNum = 0;

mkdir('plots/1.1');
for i = 1:8
    name = ['Data/Data_Test_' num2str(i)];
    load(name)
    figure(figureNum+1)
    figureNum = figureNum+1;
    plot(data(1:10000))
    name_title = sprintf('DataTest%d',i);
    title(name_title,'FontSize',15)
    loc = sprintf('plots/1.1/%s',name_title);
    saveas(figureNum,loc,'png')
end

%% ----- Erwthma 1.2 -----
mkdir('plots/1.2');
findBestK;
%Grafikh K vs Sigma
figure(figureNum+1)
figureNum = figureNum+1;
plot(sigma,bestKapa)
ylabel('K')
```



```

xlabel('sigma')
title('Συντελεστής K συναρτήσεως της διακύμανσης του θορύβου','FontSize',15)
name_title = sprintf('K_Vs_Sigma');
loc = sprintf('plots/1.2/%s',name_title);
saveas(ffigureNum,loc,'png')
%
%% ----- Erwthma 1.3 -----
mkdir('plots/1.3');
figure(ffigureNum+1)
figureNum = figureNum+1;
plot(sigma,bestKapa)
hold on
%Kanonas
sig = 0.05:0.01:0.45;
x = sig;
plot(sig,(2.973 + 26.08*x + -332.6*x.^2 + 1556*x.^3 + -3289*x.^4 + 2624*x.^5))
ylabel('K')
xlabel('sigma')
title('Ο κανόνας είναι πολυώνυμο 5ου βαθμού')
name_title = sprintf('Kanonas');
loc = sprintf('plots/1.3/%s',name_title);
saveas(ffigureNum,loc,'png')

%Epalh8evoume oti o kanonas doulevei swsta
%Xrhsimopoioume ton kanona sta DataTest dedomana gia epalh8eush
TestDataCountSpikes;

f = figure(ffigureNum+1);
figureNum = figureNum+1;
Data = [Nspikes,givenNumSpikes,minE];
colNames = {'Εντοπισμένες','Δοσμένες','Διαφορά'};
rowNames =
{'DataTest1','DataTest2','DataTest3','DataTest4','DataTest5','DataTest6','DataTest7','DataTest8'};
uit = uitable(f,'RowName',rowNames,'ColumnName',colNames,'Data',Data,'Position',[10 220
330 180]);
name_title = sprintf('NumOfSpikesByTheRule');
loc = sprintf('plots/1.3/%s',name_title);
saveas(ffigureNum,loc,'png')
%
%% ----- Erwthma 2.1 -----
mkdir('plots/2.1');
%Xrhsimopoioume ton kanona sta DataEval dedomena

```

```

%EvalDataCountSpikes;

f = figure(figureNum+1);
figureNum = figureNum+1;
Data = [Nspikes,givenNumSpikes,ArxikhDiafora];
colNames = {'Εντοπισμένες','Δοσμένες','Διαφορά'};
rowNames = {'DataEval1','DataEval2','DataEval3','DataEval4'};
uit = uitable(f,'RowName',rowNames,'ColumnName',colNames,'Data',Data,'Position',[10 220
330 100]);
name_title = sprintf('NumOfSpikesByTheRule');
loc = sprintf('plots/2.1/%s',name_title);
saveas(figureNum,loc,'png')

%% ----- Erwthma 2.2 -----
mkdir('plots/2.2');
%Plot twn spikes pou vrikame apo ton kanona
for i = 1:4
    figure(figureNum+1);
    figureNum = figureNum+1;
    for g = 1:length(savedData(i).spikeEst)
        plot( savedData(i).spikeEst(:,g))
        hold on
        plot(2*lengthSpike+1,savedData(i).spikeEst(2*lengthSpike+1,g),'r*')
    end
    title('Spikes ordered by the first Peak');
    name_title = sprintf('SpikesByFirstPeakEval%d',i);
    loc = sprintf('plots/2.2/%s',name_title);
    saveas(figureNum,loc,'png')
end

%% ----- Erwthma 2.3 -----
mkdir('plots/2.3');
%Υπολογισμος 8oruvou sta Spikes kai antistoixhsh twn spikes se classes
noiseSpikes;

%Pososto epituxias telika
successEnd = 100 - (abs(TelikhDiafora)./numOfGivenSpikes).*100;
%Pososto 8oruvou sta deigmata
Noise = ((numOfNoiseSpikes)./(numOfrealSpikes+numOfNoiseSpikes)).*100;

f = figure(figureNum+1);
figureNum = figureNum+1;
Data = [numOfNoiseSpikes +
numOfrealSpikes,numOfrealSpikes,numOfNoiseSpikes,Noise,successEnd];

```

```

colNames = {'Αρχικός Αριθμός Spikes','Μετά την αποθρομβοποίηση','Αριθμός
Θορύβου','Ποσοστό θορύβου','Τελικό Ποσοστό Επιτυχίας'};
rowNames = {'DataEval1','DataEval2','DataEval3','DataEval4'};
uit = uitable(f,'RowName',rowNames,'ColumnName',colNames,'Data',Data,'Position',[10 20 755
100]);
name_title = sprintf('NumOfSpikesByTheRule');
loc = sprintf('plots/2.3/%s',name_title);
saveas(figureNum,loc,'png')

i = 1;
name = ['Data/Data_Eval_E_' num2str(i)];
load(name)
for class = 1:3
    figure(figureNum+1)
    figureNum = figureNum+1;
    T = savedData(i).spikeFirstPeakTimes(savedData(i).classEst == class) ;
    T2 = savedData(i).spikeTimesEst(savedData(i).classEst == class) ;
    for j = 1:length(T)
        m = T(j) ;
        d = 30;
        plot(data(m-d:m+d+40))
        hold on
        plot(d+1,data(m),'r*')
    end
    name_title = sprintf(['Spike class ' num2str(class)]);
    title(name_title)
    loc = sprintf('plots/2.3/%s',name_title);
    saveas(figureNum,loc,'png')
end

%% ----- Erwthma 2.4 -----
mkdir('plots/2.4')
calfeatures;
plotFeatures;

%% ----- Erwthma 2.5 -----
mkdir('plots/2.5')
bestFeaturesOrder;
mkdir('plots/2.5/BestF')
plotBestComb;
features = [5 6;4 7;7 8];
figureNum = rateComb(savedData,figureNum,features);

```

```

features = [7 8 6; 7 8 4; 7 8 5];
figureNum = rateComb(savedData,figureNum,features);

for i = 1:9
features = 1:i;
figureNum = rateComb(savedData,figureNum,features);
end

```

findBestK.m

```

%% Evresh twñ idanikwn K ths Sxeshs  $T=K \cdot \sigma$  kai plot korufwn vs K
%-----Erwthma 1.2-----
close all
minE = zeros(8,1);
bestKPosition = zeros(8,1);
foundNumSpikes = zeros(8,1);
givenNumSpikes = zeros(8,1);
bestKapa = zeros(8,1);
sigma = zeros(8,1);
best_T = zeros(8,1);
nValues = 200;
min_k = 2;
max_k = 4;
for i = 1:8
    name = ['Data/Data_Test_' num2str(i)];
    load(name)
        sequenceOfTimes = 1:1:length(data);
        std_n = median(abs(data))/0.6745;
        stepK = (max_k-min_k)/nValues;
        Nspikes = zeros(nValues,1);

        j = 1;
        for k = min_k:stepK:max_k
            T = k*std_n;
            %Ta 8etika spikes
            Nspikes(j) = nnz( diff(data>T) == 1);
            j = j+1;
        end
end

```

```

[minE(i),bestKPosition(i)] = min(abs(Nspikes - spikeNum));
    foundNumSpikes(i) = Nspikes(bestKPosition(i));
    givenNumSpikes(i) = spikeNum;
    minE(i) = foundNumSpikes(i) - givenNumSpikes(i);
    k = min_k:stepK:max_k;
    bestKapa(i) = k(bestKPosition(i));
    sigma(i) = std_n;
    best_T(i) = k(bestKPosition(i))*std_n;

    %Sxediash k vs Spikes
    figure.figureNum+1)
    figureNum = figureNum+1;
    plot(k,Nspikes)
    hold on
    plot(k,ones(length(k),1)*spikeNum)
    plot(k(bestKPosition(i)),spikeNum,'r*')
    xlabel('K')
    ylabel('Number of Spikes')
    name_title = sprintf('KorufesVsK DataTest%d',i);
    title(name_title,'FontSize',15)
    loc = sprintf('plots/1.2/%s',name_title);
    saveas(figureNum,loc,'png')

end

```

TestDataCountSpikes.m

```

%-----Erwthma 1.3 epivevaiwsh kanona-----
minE = zeros(8,1);
Nspikes = zeros(8,1);
givenNumSpikes = zeros(8,1);
for i =1:8
    name = ['Data/Data_Test_' num2str(i)];
    load(name)
    std_n = median(abs(data))/0.6745;
    sequenceOfTimes = 1:1:length(data);
    %Kanonas gia ta K
    x = std_n;
    bestK = 2.973 + 26.08*x + -332.6*x.^2 + 1556*x.^3 + -3289*x.^4 + 2624*x.^5;
    T = bestK*std_n;

```

```

        Nspikes(i) = nnz( diff(data>T) == 1) ;
        givenNumSpikes(i) = spikeNum;
    minE(i) = Nspikes(i)-spikeNum;
end

```

EvalDataCountSpikes.m

```

close all
ArxikhDiafora = zeros(4,1);
Nspikes = zeros(4,1);
givenNumSpikes = zeros(4,1);
for i = 1:4
%-----Erwthma 2.1-----
    name = ['Data/Data_Eval_E_' num2str(i)];
    load(name)
    sequenceOfNum = 1:1:length(data);
    std_n = median(abs(data))/0.6745;
    x = std_n;
    %Kanonas tou K
    bestK = 2.973 + 26.08*x + -332.6*x.^2 + 1556*x.^3 + -3289*x.^4 + 2624*x.^5;
    T = bestK*std_n;
    %Ari8mos twN Spikes
    Nspikes(i) = nnz(diff(data>T) == 1);
    %Diafora apo ton pragmatiko ari8mo twN spikes
    givenNumSpikes(i) = length(spikeTimes);
    ArxikhDiafora(i) = Nspikes(i)-givenNumSpikes(i);
    %8a vroume tis xronikes 8eseis/stigmes twN spikes,stis opoies mia exmh pernaei
    %to katwfli 'T'
    spikeTimesEst = sequenceOfNum( diff(data>T) == 1) + 1;
    %Apo8hkeuoume tis xronikes stigmes se mia domh
    savedData(i).spikeTimesEst = spikeTimesEst;

%-----Erwthma 2.2-----
    %Briskoume thn xronikh stigmh tou prwtou akrotatou
    lengthSpike = 12;
    spikeFirstPeakTimes = spikeTimesEst;
    mesosOros = mean(data);
    for r = 1:length(spikeFirstPeakTimes);
        if spikeFirstPeakTimes(r)-lengthSpike > 0 && spikeFirstPeakTimes(r)+lengthSpike <=
length(data);
            [~, lmax] = max(data((spikeFirstPeakTimes(r)-
lengthSpike):(spikeFirstPeakTimes(r)+lengthSpike)));

```

```

        [~, Imin] = min(data((spikeFirstPeakTimes(r)-
lengthSpike):(spikeFirstPeakTimes(r)+2*lengthSpike)));

        %Pernoume to prwto xrinika apo ta duo akrotata
        I = min(Imax,Imin) - lengthSpike - 1;
        spikeFirstPeakTimes(r) = spikeFirstPeakTimes(r) + I;
    end
end

%Apo8hkeuoume tis xronikes stigmes se mia domh gia to plot argotera
savedData(i).spikeFirstPeakTimes = spikeFirstPeakTimes;
%Apo8hkeuoume ta stigmiotupa tw n kumatomofwn evrous '3*lengthSpike+1'
savedData(i).spikeEst = zeros(4*lengthSpike+1,length(spikeFirstPeakTimes));
for j = 1:length(spikeFirstPeakTimes)
    savedData(i).spikeEst(:,j) = data((spikeFirstPeakTimes(j)-
2*lengthSpike):(spikeFirstPeakTimes(j)+2*lengthSpike));
end
%-----

end

```

noiseSpikes.m

```

close all
numOfNoiseSpikes = zeros(4,1);
numOfrealSpikes = zeros(4,1);
numOfGivenSpikes = zeros(4,1);
%% Ypologismos tw n realSpikes kai noiseSpikes
%-----Erwthma 2.3-----
for i = 1:4
    name = ['Data/Data_Eval_E_' num2str(i)];
    load(name)
    numOfGivenSpikes(i) = length(spikeTimes);
    maxRange = 30;
    sm = 14;
    noisePointsIndex = [];
    savedData(i).classEst = zeros(size(savedData(i).spikeTimesEst,2),1);
    for r = 1:size(savedData(i).spikeFirstPeakTimes,2)
        minDistance = savedData(i).spikeFirstPeakTimes(r) - spikeTimes;
        minDistance(minDistance < 0) = maxRange + 1000; %aporiptoume arnhtikes times
        [minDistance ,index] = min(minDistance);
        if minDistance > maxRange || minDistance < sm

```

```

noisePointsIndex = [noisePointsIndex r];
else
savedData(i).classEst(r) = spikeClass(index);
end
end
noisePointTimes = savedData(i).spikeFirstPeakTimes(noisePointsIndex);
RealSpikesTimes = savedData(i).spikeFirstPeakTimes;
RealSpikesTimes(noisePointsIndex) = [];
numOfNoiseSpikes(i) = length(noisePointTimes);
numOfrealSpikes(i) = length(RealSpikesTimes);

end

```

Calfeatures.m

```

%% Xarakthristika
%-----Erwthma 2.4 -----
close all
for i = 1:4
    %Feature1 = Platos prwtou akrotatou
    firstPeakPosition = 2*lengthSpike+1;
    feature1 = savedData(i).spikeEst(firstPeakPosition,:);
    %Feature2 = Logos meta3u prwtou kai deutrou mhkous
    feature2 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature3 = Sunoliko mhkos tou Spike
    feature3 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature4 = Sunoliko embado tou Spike
    feature4 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature5 = Embado tou deutrou misou tou Spike
    feature5 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature6 = Timh tou Spike sthn mesh tou mhkous tou
    feature6 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature7 = Timh tou Spike sthn mesh tou deyterou misou mhkous tou
    feature7 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature8 = 8esh tou deutrou akrotatou
    feature8 = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    %Feature9 = 8esh ths megisths timhs tou spike
    feature9 = feature1;
    firstZeroVect = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    secondZeroVect = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);
    thirdZeroVect = zeros(size(savedData(i).spikeEst,2),1);

```



```

for r = 1:size(savedData(i).spikeEst,2)
%Prwto mgdeniko ekei pou allazei h paragwgos,logo 8oruvou mporei na
%mh n pernaei apo to mhden h kumatomorph,ara xrhsimopoioume auth thn
%proseggish,to idio kai ta to trito mhdeniko,to deuthero mhdeniko
%pernaei sigoura apo to mhden,ara deuthero mhdeniko ekei poy
%allazei proshmo h kumatomorph meta to shmeio prwtou akrwtatou.
deriv = diff(savedData(i).spikeEst(:,r)); %Paragwgos kumatomorphs
firstZero = firstPeakPosition-1;
signOfPeakDer = sign(deriv(firstPeakPosition-1));
while( sign(deriv(firstZero)) == signOfPeakDer && firstZero > 1 )
firstZero = firstZero - 1 ;
end
secondZero = firstPeakPosition;
signOfPeak = sign(savedData(i).spikeEst(firstPeakPosition,r));
while( sign(savedData(i).spikeEst(secondZero,r)) == signOfPeak && secondZero <
4*lengthSpike-1 )
secondZero = secondZero + 1 ;
end
%To trito mhdeniko einai ekei pou exoume allagei tou proshmmou ths
%paragwgou duo fores se sxesh me thn arxikh timh tou proshmmou enos
%shmeiou meta apo to shmeio tou prwtou akrotatou
thirdZero = secondZero + 1;
while( sign(deriv(thirdZero)) == -signOfPeakDer && thirdZero < 4*lengthSpike-1)
thirdZero = thirdZero + 1 ;
end
%Deytero Akrotato
feature8(r) = thirdZero;
%8esh ths Max timhs tou spike
if(savedData(i).classEst(r) == 3), feature9(r) = firstPeakPosition; else feature9(r) =
thirdZero; end
%Trito Mhdeniko
while( sign(deriv(thirdZero)) == signOfPeakDer && thirdZero < 4*lengthSpike)
thirdZero = thirdZero + 1 ;
end

%Apo8hkeuoume ta xarakthristika
feature2(r) = (secondZero - firstZero)/(thirdZero - secondZero);
feature3(r) = (thirdZero - firstZero);
feature4(r) = trapz(firstZero:thirdZero,savedData(i).spikeEst(firstZero:thirdZero,r));
feature5(r) =
trapz(secondZero:thirdZero,savedData(i).spikeEst(secondZero:thirdZero,r));
feature6(r) = savedData(i).spikeEst(round((firstZero+thirdZero)/2),r);
feature7(r) = savedData(i).spikeEst(round((secondZero+thirdZero)/2),r);

```

```

firstZeroVect(r) = firstZero;
secondZeroVect(r) = secondZero;
thirdZeroVect(r) = thirdZero;

end

savedData(i).features = [feature1 feature2 feature3 feature4 feature5 feature6 feature7
feature8 feature9];

end

%{
Plot twn spikes feature7
figure(2)
for g = 1:130
plot( savedData(i).spikeEst(:,g))
hold on
plot(firstZeroVect(g),savedData(i).spikeEst(firstZeroVect(g),g),'b*')
plot(secondZeroVect(g),savedData(i).spikeEst(secondZeroVect(g),g),'g*')
plot(thirdZeroVect(g),savedData(i).spikeEst(thirdZeroVect(g),g),'y*')
plot(round((thirdZeroVect(g)+secondZeroVect(g))/2),feature7(g),'m*')
plot(2*lengthSpike+1,savedData(i).features(g,1),'r*')
name = ['Spike' num2str(g)];
title(name);
%pause(0.5);
%hold off
end
legend('Kumatomorfes','firstZero','secondZero','ThirdZero','Endiamesa se 2,3
Zeros','PrwtoAkrotato')
%}

%{
Plot twn spikes me feature8
figure(3)
for g = 1:130
plot( savedData(i).spikeEst(:,g))
hold on
plot(2*lengthSpike+1,savedData(i).features(g,1),'r*')
plot(feature8(g),savedData(i).spikeEst(feature8(g),g),'m*')
name = ['Spike' num2str(g)];
title(name);
%pause(0.5);
%hold off

```

```

end
legend('Kumatomorfes','PrwtoAkrotato','DeuteroAkrotato')
%}

%{
Plot twn spikes me feature9
figure(4)
for g = 1:130
plot( savedData(i).spikeEst(:,g))
hold on
plot(feature9(g),savedData(i).spikeEst(feature9(g),g),'m*')
name = ['Spike' num2str(g)];
title(name);
%pause(0.5);
%hold off
end
legend('Kumatomorfes','MaxValues')
%}

```

plotFeatures.m

```

%Epilogh xarakthristikwn x kai y
q = 0;
for x = 1:9
    q = q+1;
    for y = q:9
        if(x~=y)
            close all
            handler = figure(figureNum+1);
            figureNum = figureNum+1;
            for i = 1:4
                titlesLabel= { 'Πλάτος πρώτου ακρότατου' ...
                    'Λόγος μεταξύ πρώτου και δεύτερου μήκους' ...
                    'Συνολικό μήκος του Spike' ...
                    'Συνολικό εμβαδόν του Spike' ...
                    'Εμβαδόν του δεύτερου μισού του Spike' ...
                    'Τιμή του Spike στην μέση του μήκους του' ...
                    'Τιμή του Spike στο δεύτερο μισό του μήκους του' ...
                    'Θέση του δεύτερου ακρότατου' ...
                    'Θέση της μέγιστης τιμή του Spike'};
            end
        end
    end
end

```

```

subplot(2,2,i)
color = savedData(i).classEst;
gscatter(savedData(i).features(:,x), savedData(i).features(:,y),color,'kgrb','o*',6,'on');
legend({'Noise', 'Class1','Class2', 'Class3'},'FontSize',9);
xlabel(titlesLabel(x),'FontSize',10);
ylabel(titlesLabel(y),'FontSize',10);
title(['Ζεύγος Χαρακτηριστικών ' 'Eval' num2str(i)]);
end
name_title = sprintf('Features_x=%d_y=%d',x,y);
loc = sprintf('plots/2.4/%s',name_title);
saveFigureFullSize(handler,loc);
end
end
end

```

plotBestComb.m

```

NBestComb = 5;
for j=1:NBestComb
    x = OrderedRate(j,1);
    y = OrderedRate(j,2);
    close all
    handler = figure.figureNum+1;
    figureNum = figureNum+1;
    for i = 1:4
        titlesLabel= { 'Πλάτος πρώτου ακρότατου' ...
            'Λόγος μεταξύ πρώτου και δεύτερου μήκους' ...
            'Συνολικό μήκος του Spike' ...
            'Συνολικό εμβαδό του Spike' ...
            'Εμβαδόν του δεύτερου μισού του Spike' ...
            'Τιμή του Spike στην μέση του μήκους του' ...
            'Τιμή του Spike στο δεύτερο μισό του μήκους του' ...
            'Θέση του δεύτερου ακρότατου' ...
            'Θέση της μέγιστης τιμή του Spike'};

        subplot(2,2,i)
        color = savedData(i).classEst;
        gscatter(savedData(i).features(:,x), savedData(i).features(:,y),color,'kgrb','o*',6,'on');
    end
end
end

```

```

        legend({'Noise', 'Class1','Class2', 'Class3'},'FontSize',9);
        xlabel(titlesLabel(x),'FontSize',10);
        ylabel(titlesLabel(y),'FontSize',10);
        title(['Ζεύγος Χαρακτηριστικών ' 'Eval' num2str(i)]);
    end
    name_title = sprintf('BestFeatures_x=%d_y=%d',x,y);
    loc = sprintf('plots/2.5/BestF/%s',name_title);
    saveFigureFullSize(handler,loc);

end

```

bestFeaturesOrder.m

```

%-----Erwthma 2.5-----
%Epilogh xarakthristikwn x kai y
q = 0;
XYRate=[];
for x = 1:9
    q = q+1;
    for y = q:9
        if(x~=y)
            rate = zeros(4,1);
            for i = 1:4
                %Epilogh xarakthristikwn
                Data = [savedData(i).features(:,x) savedData(i).features(:,y)];
                group = savedData(i).classEst;
                rate(i) = MyClassify(Data, group);
            end
            RateData(x,y).rate = rate;
            XYRate = [ XYRate ; x y RateData(x,y).rate(4)];
        end
    end
end

end

[~,Index]=sort(XYRate(:,3),'descend');
OrderedRate = XYRate(Index,:);

```

rateComb.m

```

function [ figureNum ] = rateComb(savedData,figureNum, indexes )
%-----Erwthma 2.5-----
%Epilogh xarakthristikwn
rate = zeros(4,1);
for j = 1:size(indexes,1)
for i = 1:4
    %Epilogh xarakthristikwn
    Data = savedData(i).features(:,indexes(j,:));
    group = savedData(i).classEst;
    rate(i) = MyClassify(Data, group);
end
f = figure(figureNum+1);
figureNum = figureNum+1;
colNames = {'Ἐπίλογος Ὁ ἀξιολόγησης'};
rowNames = {'DataEval1','DataEval2','DataEval3','DataEval4'};
uitable(f,'RowName',rowNames,'ColumnName',colNames,'Data',rate,'Position',[10 20 255 100]);
name_title = sprintf('Rate_%d',figureNum);
loc = sprintf('plots/2.5/%s',name_title);
saveas(figureNum,loc,'png')

end

end

```

saveFigureFullSize.m

```

function [ output_args ] = saveFigureFullSize( handle, fileName )
% saveFigure
% Saves figure specified by `handle` as `fileName` in fullscreen
% as to get around the stupid behavior.

screen_size = get(0, 'ScreenSize');
origSize = get(handle, 'Position'); % grab original on screen size
set(handle, 'Position', [0 0 screen_size(3) screen_size(4) ] ); %set to screen size
set(handle,'PaperPositionMode','auto') %set paper pos for printing
saveas(handle, fileName,'png') % save figure
set(handle,'Position', origSize) %set back to original dimensions

End

```

MyClassify.m

```
function Acc = MyClassify(Data,group)
group=categorical(group);
idx=randperm(size(Data,1),floor(size(Data,1)*0.7));
train=Data(idx,:);
trGroup=group(idx);
test=Data; test(idx,:)=[];
teGroup=group; teGroup(idx)=[];
class = classify(test,train,trGroup);
Acc=(sum(class==teGroup)/numel(teGroup))*100;
end
```