



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΔΔΠΜΣ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ – ΑΚΤΙΝΟΦΥΣΙΚΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΕΜΠΛΟΚΗΣ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ»**

ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ΞΑΝΘΙΠΠΗ

**Επιβλέποντες : Καθηγητής Ευσταθόπουλος Ευστάθιος
Καθηγητής Σείμμένης Ιωάννης**

ΑΘΗΝΑ , ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Εισαγωγή.....	8

ΜΕΡΟΣ 1^ο – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1^ο

Βασικές Αρχές Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού.....	10
1.1 Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός - Βασικές αρχές MRI.....	10
1.2 Χρόνοι μαγνητικής αποκατάστασης T1 , T2 , T2*.....	16
1.2.1 Χρόνος T1.....	16
1.2.2 Χρόνος T2.....	17
1.2.3 Χρόνος T2*.....	17
1.3 Σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης— ληφθέν σήμα.....	18
1.4 Ακολουθίες Παλμών	19
1.4.1 Παράμετροι TR και TE	19
1.4.2 Τεχνική Spin-Echo.....	22
1.4.3 Τεχνική Gradient Echo.....	23
1.5 Χωρική πληροφορία και κωδικοποίηση στο χώρο.....	24
1.5.1 Επιλογή επιπέδου τομής.....	25
1.5.2 Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση συχνότητας.....	26
1.5.3 Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση φάσης.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

FMRI.....	27
2.1 Λειτουργικές Περιοχές Εγκεφάλου.....	27
2.2 Αρχές Λειτουργικής Μαγνητικής Απεικόνισης.....	28
2.3 Λειτουργική Μαγνητική Απεικόνιση.....	29

ΜΕΡΟΣ 2^ο – ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σκοπός	31
3.1 Υλικό και Μεθοδολογία.....	31
3.1.1 Υλικό	31
3.1.2 Στατιστικός Έλεγχος Δείγματος	33
3.1.3 Μεθοδολογία	35
3.1.3.1 Επεξεργασία Δεδομένων.....	39
3.1.3.2 Προεπεξεργασία	42
3.1.3.3 Στατιστική Ανάλυση.....	47
3.2 Συγκρίσεις	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Αποτελέσματα.....	62
4.2 Συμπεράσματα.....	77
4.3 Συζήτηση	78
4.4 Τελικά Συμπεράσματα	81

Βιβλιογραφία.....	83
--------------------------	-----------

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές μου κύριο Ευστάθιο Ευσταθόπουλο και κύριο Ιωάννη Σεϊμένη για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και για τη καθοδήγησή τους καθόλη τη διάρκεια αυτής.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Ευστράτιο Καραβασίλη για τη πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την κυρία Φωτεινή Χρηστίδη για τη σημαντική συμβολή της.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου για την αγάπη και τη στήριξή της.

Αφιερωμένη στην οικογένειά μου!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη διερευνούμε την απομακρυσμένη και χωρίς καμία επαφή επικοινωνία μεταξύ διδύμων αδελφών με τη βοήθεια λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας. Το δείγμα μας αποτελείται από επτά ζεύγη διδύμων αδελφών και έξι ζεύγη ατόμων γνωστών μεταξύ τους, που χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα ελέγχου (control). Κατά την πειραματική διαδικασία ο ένας εκ των δύο συμμετείχε στην διαδικασία νευροαπεικόνισης εντός του μαγνητικού τομογράφου ενώ ο άλλος συμμετείχε στην πειραματική διαδικασία μεταφερόμενος σε ένα απομονωμένο χώρο περίπου 25 m μακριά. Ο συμμετέχων στον απομακρυσμένο χώρο παρακολουθούσε ένα βίντεο αποτελούμενο από εικόνες πιστοποιημένες να προκαλούν συναισθήματα λύπης, χαράς και φόβου ενώ ενδιάμεσα μεσολαβούσαν καταστάσεις ηρεμίας. Ταυτόχρονα με αυτή τη διαδικασία λαμβάναμε εικόνες fMRI από τον εγκέφαλο του συμμετέχοντα εντός του μαγνητικού τομογράφου. Μετά το τέλος της διαδικασίας αποκλείστηκαν τέσσερις συμμετέχοντες (1 εκ των διδύμων και 3 από την ομάδα ελέγχου) λόγω σημαντικών σφαλμάτων (artifacts) εξαιτίας της κίνησης εντός του μαγνητικού τομογράφου. Κατόπιν επεξεργασίας των δεδομένων προέκυψαν κάποιες κοινές ενεργοποιήσεις στους εγκεφάλους των διδύμων αλλά και κάποιες στους εγκεφάλους της ομάδας ελέγχου ενώ παρουσιάστηκαν και ενεργοποιήσεις κατά τη διάρκεια της φάσης όπου λαμβάναμε εικόνες fMRI από το άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου χωρίς να προκαλούμε ερέθισμα στο άτομο εκτός του μαγνητικού τομογράφου (κατάσταση ηρεμίας – resting). Λόγω όλων αυτών των ενεργοποιήσεων δεν επιτύχαμε να καταλήξουμε σε ένα σαφές συμπέρασμα για την απομακρυσμένη και χωρίς επαφή επικοινωνία μεταξύ διδύμων αδελφών. Δεδομένων των ψευδώς θετικών (false positive) αποτελεσμάτων που είχαμε αλλά και του μικρού δείγματος που συμμετείχε στην μελέτη συνίσταται περαιτέρω μελέτη του φαινομένου στο μέλλον.

ABSTRACT

In the present study, we investigated remote and no-contact communication between twin brothers using functional magnetic resonance imaging. Our sample consists of seven pairs of twin brothers and six pairs of individuals known to each other but not twins, who were used as controls. During the experimental procedure one person of the pair participated in the neuroimaging procedure on the MRI while the other participated in the experimental procedure by moving to an isolated area approximately 25 m away. The remote participant was watching a video consisting of images certified to evoke feelings of sadness, joy and fear while mediating resting situations. Simultaneously with this procedure we obtained fMRI images from the brain of the participant within the MRI. At the end of the procedure four participants were excluded (1 from the twins and 3 from the control group) due to significant artifacts due to movement within the MRI. After processing the data, there were some common activations in the twin brains but also some in the control brains, and some activations during resting, when no stimulus was seen on the person outside the MRI. Due to all these activations we were not able to reach a clear conclusion about the remote and non-contact communication between the twin brothers. Due to false positive results that came up and the small sample size involved in the study, further study of the phenomenon in the future is recommended.

Εισαγωγή

Η απομακρυσμένη και δίχως καμία επαφή επικοινωνία μεταξύ διδύμων έχει απασχολήσει επανειλημμένα την επιστημονική κοινότητα και πολλές έρευνες έχουν στραφεί σε αυτή τη κατεύθυνση. Έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα κοινών συναισθημάτων, κοινής σκέψης, κοινών αντιδράσεων με πιθανές εξηγήσεις τη γενετική σύνδεση, τη κοινωνική σύνδεση και το φαινόμενο της κβαντικής διεμπλοκής^{1,2,3,4}.

Η κβαντική διεμπλοκή είναι ένα αξιοσημείωτο κβαντικό φαινόμενο κατά το οποίο οι κινήσεις και γενικότερα οι ιδιότητες δύο σωματιδίων ή και αντικειμένων αλληλοεπηρεάζονται ακαριαία.

Λέμε ότι ένα σύστημα βρίσκεται σε κβαντική διεμπλοκή όταν η κατάστασή του δεν μπορεί να θεωρηθεί ως προϊόν των καταστάσεων των τοπικών στοιχείων του. Δηλαδή δεν αποτελείται από μεμονωμένα σωματίδια αλλά από ένα αδιαχώριστο σύνολο, που κάθε στοιχείο δε δύναται να περιγραφεί πλήρως δίχως να ληφθούν υπόψη τα υπόλοιπα. Στο φαινόμενο της κβαντικής διεμπλοκής δύο σωματίδια ή ομάδες σωματιδίων, τα οποία δημιουργήθηκαν μαζί ή αλληλεπιδρούν, μένουν σε κατάσταση διεμπλοκής ανεξάρτητα από τη μεταξύ τους απόσταση. Οι κβαντικές ιδιότητες ενός σωματιδίου καταλαμβάνουν ταυτόχρονα πολλαπλές καταστάσεις, οι οποίες στη συνέχεια διαμοιράζονται μεταξύ πολλών σωματιδίων.

Ιστορικά το έναυσμα για τη θεωρία της κβαντικής διεμπλοκής δώθηκε το 1935 από τον Albert Einstein και τους συνεργάτες του B. Podolski και N. Rosen, όταν δημοσίευσαν μια θεωρητική εργασία στην οποία ανέλυαν τη θεωρία της κβαντομηχανικής, διερωτώμενοι αν η κβαντομηχανική περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας μπορεί να θεωρηθεί πλήρης κι έδωσαν αρνητική απάντηση⁵. Ο E. Schrodinger ασχολήθηκε επίσης με τη μελέτη του φαινομένου λίγο αργότερα^{6,7} και απαντά στην εργασία των Einstein, Podolsky και Rosen όπου κι επινοεί τον όρο «διεμπλοκή», περιγράφοντας για πρώτη φορά το διάσημο πλέον νοητικό πείραμά του με τη γάτα, η οποία μπορεί να είναι ταυτόχρονα ζωντανή και νεκρή, με την κατάστασή της να συνδέεται με προηγούμενο τυχαίο γεγονός^{6,7}.

Σύμφωνα με τη θεωρία της κβαντικής διεμπλοκής ακόμα και στην περίπτωση που τα εμπλεγμένα σώματα διαχωρίζονται, οι αβέβαιες κβαντικές τους καταστάσεις πρέπει να παραμένουν συνδεδεμένες μέχρι να μετρηθεί ή να διαταραχθεί ένα απ' αυτά και η μέτρηση προσδιορίσει ακαριαία την κατάσταση του άλλου. Η μεταξύ τους απόσταση, ακόμη κι αν αυτή προσδιορίζεται από τα δύο άκρα του σύμπαντος, δε διαδραματίζει κανένα ρόλο. Αυτή η ιδέα φάνηκε στον Α. Einstein τόσο εξωφρενική, που σε γράμμα του το 1947 προς τον Μ. Born σαρκάστηκε την εν λόγω θεωρία λέγοντας πως είναι μια «στοιχειωμένη» δράση εξ αποστάσεως⁸. Από τότε ακολούθησε πακτωλός ερωταποκρίσεων μεταξύ επιστημόνων αφού φαινόταν να καταρρίπτεται έτσι μια βασική αρχή της ήδη διάσημης θεωρίας της σχετικότητας του Α. Einstein, που 'απαγόρευε' οποιαδήποτε μετάδοση πληροφορίας με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός. Όλες πλέον οι ερμηνείες συμφωνούν ότι η κβαντική διεμπλοκή δημιουργεί συσχετισμό μεταξύ των μετρήσεων και αμοιβαία πληροφόρηση μεταξύ των εμπλεγμένων σωματιδίων αλλά αποκλείεται η μετάδοση πληροφοριών με ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτή του φωτός.

Η κβαντική διεμπλοκή έχει πλέον καταδειχτεί πειραματικά με φωτόνια^{9,10,11,12,13,14,15}, νετρίνα¹⁶, ηλεκτρόνια^{17,18} και μόρια^{19,20}. Μάλιστα στις 13 Ιουλίου του 2019 επιστήμονες του Πανεπιστημίου της Γλασκώβης ανακοίνωσαν ότι έλαβαν την πρώτη φωτογραφία κβαντικής διεμπλοκής²¹, γνωστή ως διεμπλοκή των Bell.

Η αναζήτηση συνεχίζεται μέχρι σήμερα όπου πολλοί νευροεπιστήμονες σε συνεργασία με κβαντικούς κυρίως φυσικούς οραματίζονται την κβαντική διεμπλοκή των ανθρώπων σε ένα είδος ακαριαίας μεταβίβασης της σκέψης χωρίς κάποιου είδους επαφή των ανθρώπων κι ανεξάρτητα με την απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ τους. Σε αυτό το μονοπάτι βαδίζουμε και σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

ΜΕΡΟΣ 1^ο

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε με απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (ΑΜΣ) μέσω μαγνητικού τομογράφου. Ο μαγνητικός τομογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλειάδα απεικονίσεων. Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου. Δεδομένου ότι αυτό είναι το βασικό εργαλείο, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά των βασικών αρχών που διέπουν τον μαγνητικό τομογράφο και την λειτουργία του.

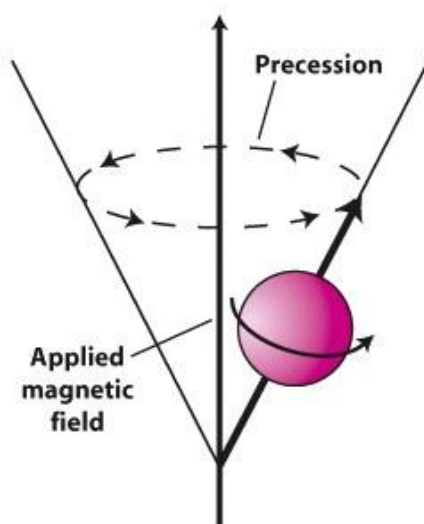
1.1 Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός – Βασικές Αρχές MRI

Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός είναι το φαινόμενο διέγερσης ενός δείγματος πυρήνων, το οποίο βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δίνοντάς του ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού παλμού κατάλληλης συχνότητας. Κατά το πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό το σύστημα μαγνητικών σπιν των πυρήνων συντονίζονται σε συμφωνία φάσης ενώ απορροφούν ενέργεια και μεταπίπτουν σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη. Με την παύση του παλμού το σύστημα των πυρήνων αποδιεγείρεται, χάνοντας τον συντονισμό των μαγνητικών σπιν σε φάση και αποδίδοντας την απορροφημένη ενέργεια στο περιβάλλον τους.

Καθώς οι διαδικασίες απώλειας ενέργειας και απώλειας φάσης κατά την αποδιέγερση εξαρτώνται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται οι πυρήνες, ποσοτικοποιώντας την εξάρτηση αυτή παίρνουμε τις επιθυμητές εικόνες του ανθρώπινου σώματος.

Κατάλληλοι πυρήνες για το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού είναι πυρήνες με περιττό αριθμό νουκλεονίων. Ως πηγή σήματος στην κλασική μαγνητική τομογραφία χρησιμοποιούμε τους πυρήνες ^1H , οι οποίοι αποτελούνται από ένα μόνο πρωτόνιο και βρίσκονται σε μεγάλη αναλογία στο ανθρώπινο σώμα. Βρίσκονται κυρίως στο νερό και στο λίπος του ανθρώπινου σώματος σε ποσοστό που προσεγγίζει το 70% .

Τα πρωτόνια, με βάση τις αρχές της κβαντομηχανικής, έχουν ιδιοστροφορμή (spin), μια ιδιότητα που στην κλασική μηχανική μπορεί να προσομοιαστεί με περιστρεφόμενη σβούρα. Σύμφωνα με τον ηλεκτρομαγνητισμό ένα περιστρεφόμενο πρωτόνιο επάγει μαγνητικό πεδίο με διεύθυνση παράλληλη στον άξονα περιστροφής του.



Περιστροφή πρωτονίου γύρω από τον άξονά του, παρουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου

Η μαγνητική διπολική ροπή μ είναι: $\mu = \gamma I$

γ : γυρομαγνητικός λόγος (για πρωτόνιο 42.58 MHz/Tesla)

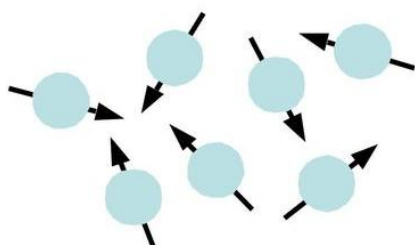
I : στροφορμή πυρήνα με $I = m\hbar$ και $m = \pm 1/2$

Το άνυσμα μ της μαγνητικής ροπής κάθε πυρήνα είναι τυχαία προσανατολισμένο.

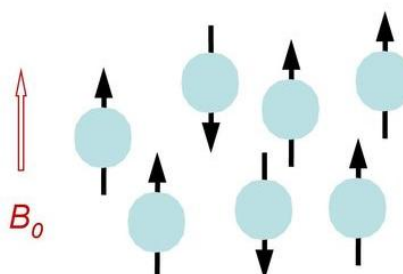
Όταν εφαρμοστεί ισχυρό εξωτερικό μαγνητικό πεδίο B_0 (1T αντιστοιχεί περίπου σε 20.000 φορές το μαγνητικό πεδίο της γης) οι μαγνητικές ροπές

των πυρήνων του υδρογόνου τείνουν να ευθυγραμμιστούν παράλληλα ή αντιπαράλληλα με τις δυναμικές γραμμές του εφαρμοζόμενου πεδίου B_0 .

Απουσία Εξωτερικού Πεδίου



Παρουσία Εξωτερικού Πεδίου



Τυχαίος προσανατολισμός πυρήνων Υδρογόνου. Παράλληλη ή αντιπαράλληλη ευθυγράμμιση των πυρήνων με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

Με την εφαρμογή του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου το πρωτόνιο εκτελεί τελικά μια σύνθετη μεταπτωτική κίνηση γύρω από γύρω από τις δυναμικές γραμμές του πεδίου με ρυθμό γωνιακής περιστροφής που προκύπτει απ' την εξίσωση Larmor που έχει ως εξής : $\omega = \gamma B$

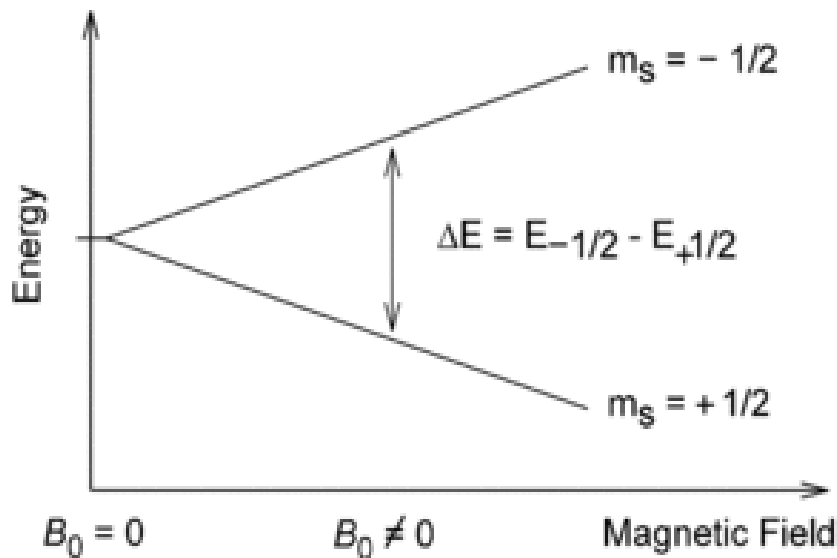
ω : γωνιακή συχνότητα περιστροφής

γ : γυρομαγνητικός λόγος

B : ένταση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου

Στην κλασική φυσική η κίνηση αυτή θα μπορούσε να προσομοιαστεί με γυροσκόπιο.

Δεδομένου ότι το πρωτόνιο ενός πυρήνα υδρογόνου έχει $\text{spin} = \frac{1}{2}$, κατά την εφαρμογή του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου θα υπάρχουν δύο διαθέσιμες ενεργειακές καταστάσεις $(2s+1)$ με τιμές $E = -\mu B$. Η παράλληλη ευθυγράμμιση των μαγνητικών σπιν των πυρήνων με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο αντιστοιχεί σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας σε σχέση με την αντιπαράλληλη ευθυγράμμιση. .



Διαίρεση των καταστάσεων spin πυρήνων σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

Η διαφορά ενέργειας των δύο καταστάσεων θα είναι $\Delta E = 2\mu_B$

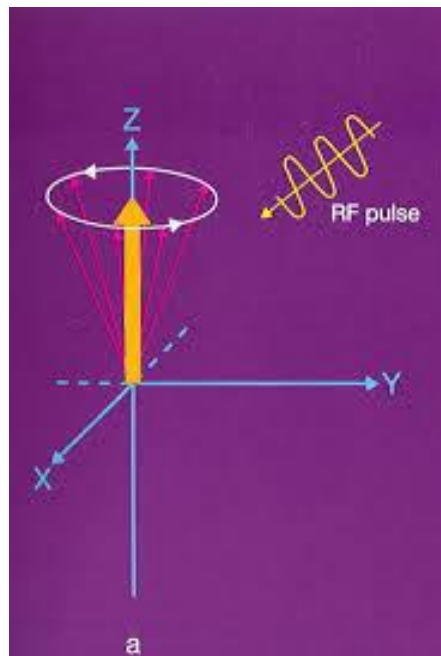
Η κατανομή των πυρήνων στις δύο καταστάσεις είναι σχεδόν ίδια. Η πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους (ελάχιστα περισσότερα με κατεύθυνση παράλληλη με αυτή του πεδίου) προκύπτει από την εξίσωση Boltzmann:

$$N/N = e^{-\Delta E/KT}$$

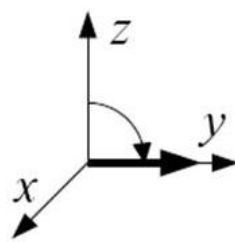
K: σταθερά Boltzmann $1.3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Για την μετάβαση από την κατάσταση χαμηλής ενέργειας στην κατάσταση υψηλής ενέργειας απαιτείται η ενέργεια $\Delta E = 2\mu_B$ που προαναφέραμε. Αυτή η ενέργεια δίνεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ($E = hf$) με τη συχνότητα της ακτινοβολίας να είναι ίση με τη συχνότητα Larmor. Για τις κλινικές εφαρμογές αυτή η συχνότητα βρίσκεται στην περιοχή των ραδιοκυμάτων. Επομένως χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς ραδιοσυχνότητας στις συχνότητες Larmor μπορούμε να διεγείρουμε το σύστημα των πυρήνων και η αποδιέγερση τους να μας δώσει το επιθυμητό σήμα, που η ανάλυση του θα γίνει η εικόνα που αναζητούμε. Με την χρήση αυτών των παλμών προκαλούμε μεταβολή της συνολικής μαγνήτισης των πυρήνων ^1H από διαμήκη σε εγκάρσια και στην αντίστροφη διαδικασία κατά την αποδιέγερση. Η μέτρηση αυτής της μεταβολής της μαγνήτισης με ειδικά πηνία λήψης είναι το σήμα που μετράται στην ΑΜΣ. κάποια spin θα αλλάξουν προσανατολισμό λόγω του νεοδημιουργηθέντος μαγνητικού πεδίου ενώ με

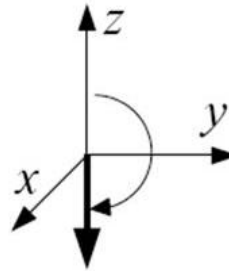
την παύση του και ενώ εκείνα μεταπίπτουν στην αρχική τους κατάσταση θα δημιουργήσουν έναν άλλο παλμό, ο οποίος είναι και το σήμα που μετράμε. Όπως προαναφέραμε όταν τα πρωτόνια βρίσκονται εντός μαγνητικού πεδίου τα spin προσανατολίζονται παράλληλα ή αντιπαράλληλα του άξονα του πεδίου, σχηματίζουν συγκεκριμένη γωνία με τον άξονα και περιστρέφονται με τη συχνότητα Larmor. Βρίσκονται εκτός φάσης και η συνολική μαγνήτιση είναι διάνυσμα παράλληλο στον άξονα του πεδίου. Με τον ηλεκτρομαγνητικό παλμό που προαναφέραμε, με συχνότητα ίση με τη συχνότητα Larmor, προκαλούμε συντονισμό και διεγείρουμε τα πρωτόνια. Το άνυσμα M της συνολικής μαγνήτισης εκτελεί μετάπτωση και επιλέγοντας κατάλληλα την ένταση για το χρονικό διάστημα εφαρμογής του B_1 επιτυγχάνουμε την γωνία νεύσης ϕ που επιθυμούμε ($\phi = \gamma B_1 t$). Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη θέση του ανύσματος της ολικής μαγνήτισης M αφού εφαρμοστεί παλμός 90° και 180° αντίστοιχα, όπου η μαγνήτιση M_z μηδενίζεται ή αντιστρέφεται αντίστοιχα.



Εφαρμογή RF παλμού στο άνυσμα ολικής μαγνήτισης



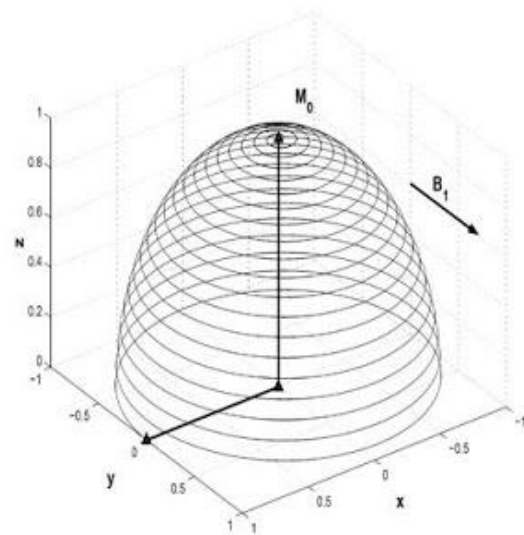
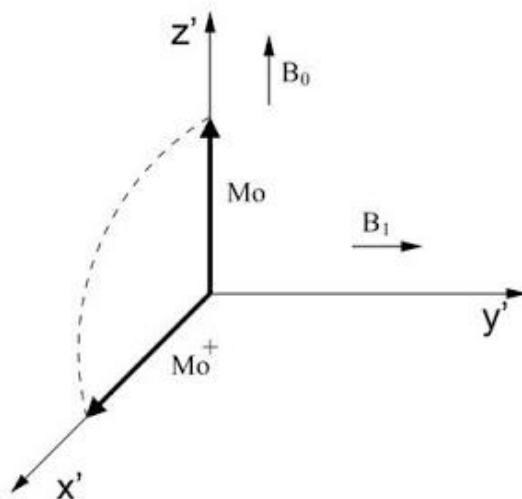
90 degrees



180 degrees

Μετάπτωση ανύσματος ολικής μαγνήτισης μετά την εφαρμογή παλμού 90° και 180°

Η ταυτόχρονη ύπαρξη των δύο κάθετων μεταξύ τους πεδίων οδηγεί τα μαγνητικά σπιν των πρωτονίων σε μια σύνθετη σπειροειδή κίνηση κατά την οποία περιστρέφονται γύρω από το B με συχνότητα περιστροφής ω_0 , ενώ ταυτόχρονα περιστρέφονται και γύρω από το B_1 με συχνότητα ω_1 , με την $\omega \gg \omega_1$. Αφού λήξει ο ραδιοπαλμός B_1 η μαγνήτιση M περιστρέφεται γύρω από το στατικό πεδίο B_0 με τη συχνότητα Larmor και σταδιακά επανέρχεται από την διεγερμένη κατάσταση στην αρχική. Η επαναφορά πραγματοποιείται με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς που σχετίζονται με την αποκατάσταση της διαμήκουσ μαγνήτισης M_z , που αυξάνεται με το χρόνο, και την αποκατάσταση της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} , που μειώνεται με το χρόνο.



Η σπειροειδής κίνηση της μαγνήτισης μετά την εφαρμογή παλμού

Εξωτερικός παρατηρητής

Παρατηρητής εντός του συστήματος

Οι μηχανισμοί αποκατάστασης ονομάζονται σπίν – πλέγμα ή αποκατάσταση T1, και σπίν – σπίν ή αποκατάσταση T2. Κατά τον πρώτο μηχανισμό η ενέργεια που είχε απορροφήσει το δείγμα πρωτονίων μεταφέρεται στο περιβάλλον του που την απορροφά χωρίς να διεγείρεται λόγω μεγαλύτερου μεγέθους. Κατά την αποκατάσταση σπιν-σπιν, τα μαγνητικά σπίν των πυρήνων που είχαν έρθει σε συμφωνία φάσης κατά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού, αλληλεπιδρούν ανταλλάσσοντας ενέργειες μεταξύ τους με αποτελέσματα να μην είναι πλέον σε φάση^{22,23,24}.

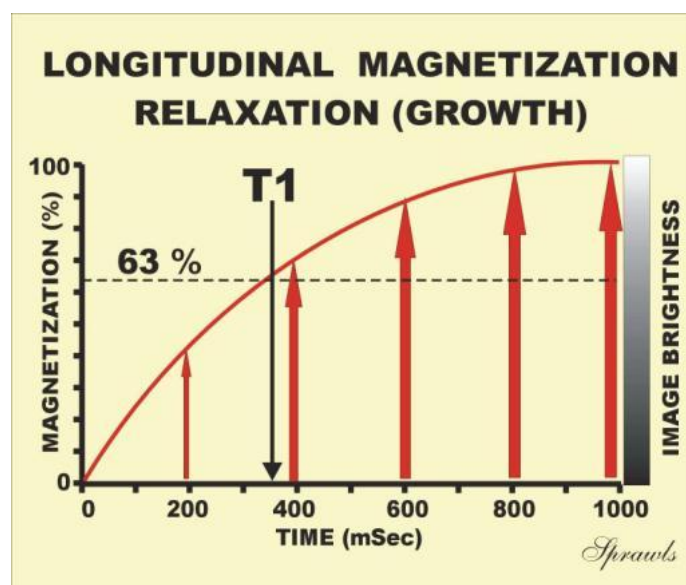
1.2 Χρόνοι T1 T2 T2*

1.2.1 T1

Η μεταβολή στο χρόνο της διαμήκουσ μαγνήτισης M_z είναι:

$$M_z(t) = M_z(0)(1 - e^{-t/T_1})$$

T_1 είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα των πυρηνικών μαγνητικών spin για να ανακτήσει το 63% της αρχικής τιμής της διαμήκουσ μαγνήτισης, που είχε στην αρχική κατάσταση ισορροπίας, πριν την εφαρμογή παλμού ραδιοσυχνότητας 90° Η τιμή του χρόνου T_1 εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου, από το είδος του ιστού και από την θερμοκρασία^{22,23,24}.



Καμπύλη T1

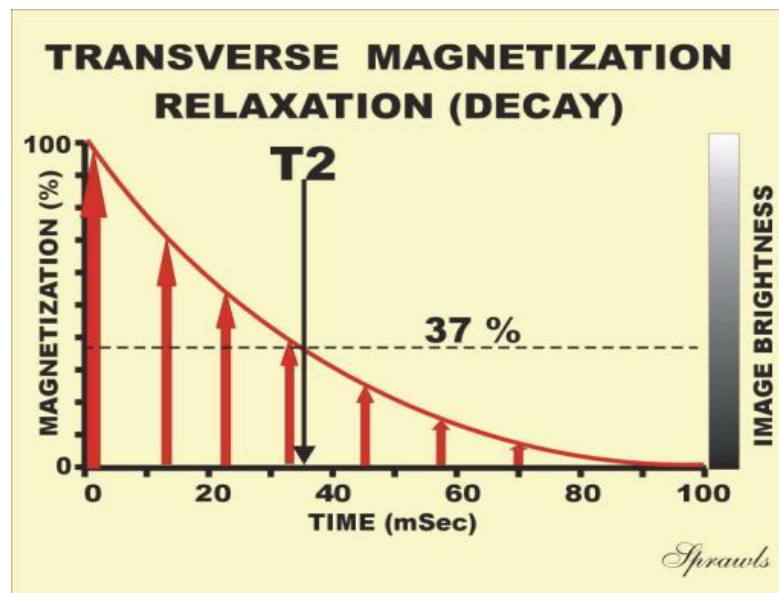
Magnetic Resonance Imaging, Perry Sprawls Ph.D.

1.2.2 T2

Η μεταβολή στο χρόνο της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} είναι:

$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0)e^{-t/T_2}$$

T2 είναι ο χρόνος εγκάρσιας μαγνητικής αποκατάστασης και είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα των πυρηνικών spin για να μειωθεί η τιμή της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} , που απέκτησε μετά τη λήξη του παλμού 90° , στο 37%. Η τιμή του T2 εξαρτάται από τη δομή του ιστού και την θερμοκρασία και είναι ανεξάρτητη του εξωτερικού πεδίου B_0 ^{22,23,24}.



Καμπύλη T2

Magnetic Resonance Imaging , Perry Sprawls Ph.D.

1.2.3 T2*

Ο πραγματικός χρόνος αποκατάστασης της εγκάρσιας μαγνήτισης εκτός από τη δομή του ιστού εξαρτάται και από τις ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου B_0 που επηρεάζουν το ρυθμό απώλειας φάσης ανάμεσα στα γειτονικά πυρηνικά σπίν. Ο χρόνος αυτός εκφράζεται από τη σταθερά T2* που είναι μικρότερος του T2.

$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0)e^{-t/T_2^*}$$

Ο χρόνος $T2^*$ αφορά στη συνολική εξασθένιση του μετρούμενου RF σήματος.

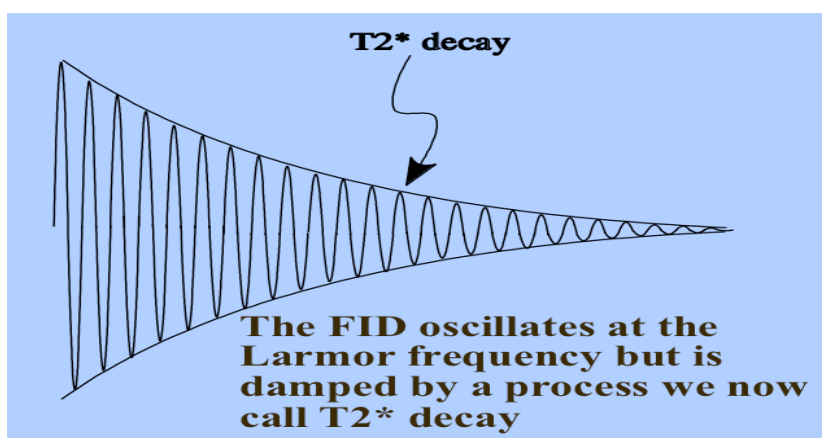
Κάθε ιστός έχει διαφορετικούς χρόνους μαγνητικής αποκατάστασης $T1$ και $T2$ και μπορούμε να πάρουμε εικόνες βασισμένες στην αντίθεση μεταξύ των ιστών που προέρχονται από διαφορές τιμών $T1$, $T2$ ή διαφορετικές πυκνότητες πρωτονίων. Κατά την λήψη εικόνων υπάρχει πάντα μια κυρίαρχη πηγή αντίθεσης αλλά μπορούν να δημιουργηθούν και εικόνες από τις άλλες δύο πηγές^{22,23,24}.

1.3 Σήμα Ελεύθερης Επαγωγικής Απόσβεσης— Ληφθέν Σήμα

Αφού εφαρμοστεί παλμός 90^0 σε δείγμα πρωτονίων, το άνυσμα της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} περιστρέφεται στο επίπεδο xy και παρουσιάζει εκθετική μείωση σύμφωνα με τον τύπο:

$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0)e^{-t/T2}$$

Λόγω της μεταβολής της μαγνητικής ροής επάγεται τάση στα άκρα σωληνοειδούς πηνίου με κύριο άξονα παράλληλο στο επίπεδο xy , η οποία είναι ένα διαμορφωμένο κατά πλάτος ηλεκτρικό σήμα, που εμφανίζεται ακριβώς μετά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού 90^0 , με φέρουσα συχνότητα τη συχνότητα Larmor. Το σήμα αυτό μειώνεται εκθετικά με χρονική σταθερά την $T2^*$ ^{22,23,24}.



Η φθίνουσα κυματομορφή του σήματος

1.4 Ακολουθίες Παλμών

Υπάρχουν δύο βασικές ακολουθίες παλμών οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία σήματος. Αυτές είναι η τεχνική Spin Echo και η τεχνική Gradient Echo , οι οποίες αναλύονται παρακάτω. Βασικές παράμετροι σε κάθε παλμό είναι οι χρόνοι TR και TE^{22,23,24}.

1.4.1 Παράμετροι TR και TE

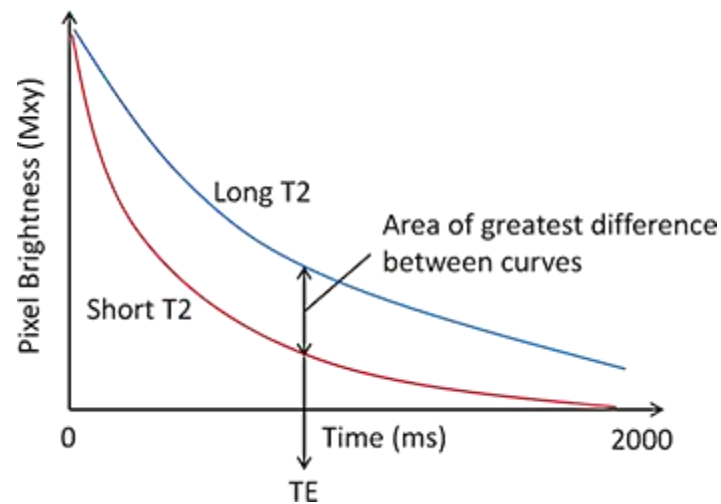
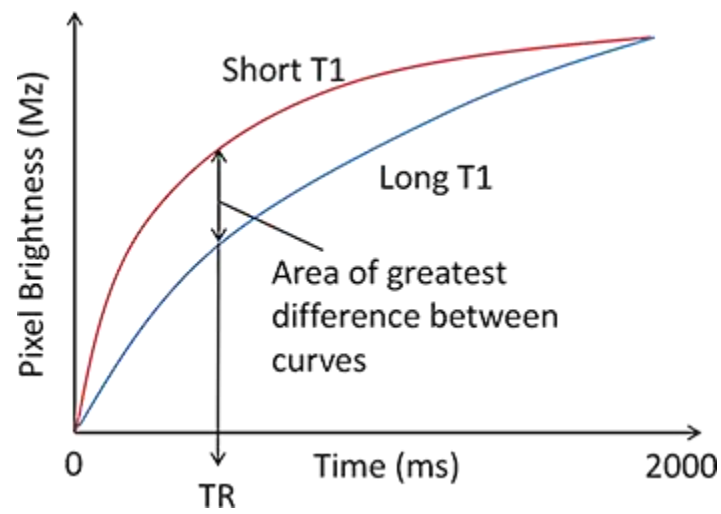
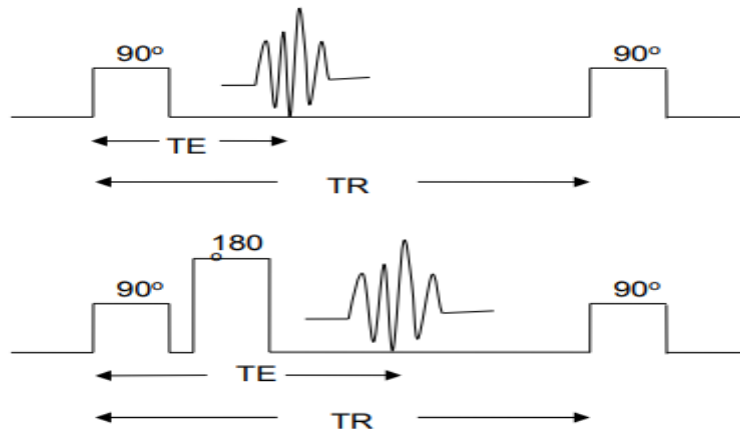
Ως χρόνος επανάληψης TR (repetition time) ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ραδιοπαλμών 90° . Με τη λήξη της εφαρμογής του παλμού η μαγνήτιση θα βρίσκεται στο επίπεδο xy και θα αρχίσει να αυξάνει στον άξονα z. Μετά από χρόνο TR όπου και θα εφαρμοστεί νέος παλμός η M_z , που έχει ανακτήσει ένα μέρος της, θα επανέλθει στο επίπεδο xy. Μετά από χρόνο TR η τιμή της θα είναι :

$$M_z(t) = M_z(0)(1 - e^{-TR/T_1})$$

Ως χρόνος αντήχησης TE (echo delay time) ορίζεται το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής του παλμού διέγερσης και της μέτρησης του σήματος από το πηνίο. Το σήμα προκύπτει από τη σχέση:

$$S \sim M_0(1 - \exp(-TR/T_1))(\exp(-TE/T_2^*)) \quad (\text{σχέση αναλογίας})$$

Για ένα συγκεκριμένο υλικό οι χρόνοι T1 και T2 είναι συγκεκριμένοι. Οι χρόνοι TR και TE μπορούν να ρυθμιστούν προκειμένου να επιτύχουμε την επιθυμητή αντίθεση στους ιστούς.



Σύγκριση δύο διαφορετικών ιστών

Όσο μεγαλύτερος ο χρόνος TR τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος μέχρι τον επόμενο RF παλμό 90° άρα η M_z έχει περισσότερο χρόνο για να ανακάμψει και τόσο υψηλότερο θα είναι το εγκάρσιο σήμα όταν εφαρμοσθεί ο RF παλμός 90° . Επομένως ο χρόνος TR καθορίζει το σήμα βαρύτητας T1.

Προκειμένου να μεγιστοποιήσουμε την αντίθεση μεταξύ των ιστών πρέπει να ορίσουμε το χρόνο TR έτσι ώστε να βρίσκεται στο σημείο όπου υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες. Επομένως όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα πρέπει να ορίσουμε μικρό χρόνο TR.

Επιπρόσθετα για να μεγιστοποιήσουμε το T1 σήμα σε μια εικόνα βαρύτητας T1 πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε την συνεισφορά από το T2 σήμα. Από το διάγραμμα παραπάνω η ελάχιστη αντίθεση εμφανίζεται σε μικρό TE ή σε πολύ μεγάλο. Όμως σε πολύ μεγάλα TE το σήμα είναι πολύ μικρό επομένως χρησιμοποιούμε μικρά TE.

Για εικόνες βαρύτητάς T2 πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε τη συνεισφορά της T1 αντίθεσης. Με βάση το διάγραμμα που παραθέσαμε νωρίτερα η μικρότερη αντίθεση T1 είναι σε μεγάλα ή σε μικρά TR. Σε μικρά TR το σήμα είναι πολύ μικρό για να χρησιμοποιηθεί επομένως χρησιμοποιούμε μεγάλα TR.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο TE τόσο περισσότερο χρόνο φθίνει το M_{xy} και τόσο μικρότερο είναι το εγκάρσιο T2 σήμα. Επομένως ο χρόνος TE καθορίζει το T2 σήμα. Για μεγιστοποίηση της T2 αντίθεσης χρησιμοποιείται μεγάλο TE (οχι πολύ μεγάλο γιατί το σήμα θα είναι αμελητέο).

Για Proton Density Imaging που δεν απεικονίζονται τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του πυρήνα του υδρογόνου αλλά ο αριθμός των πυρήνων στην περιοχή απεικόνισης θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την αντίθεση και της T1 και της T2. Η T1 ελαχιστοποιείται με μεγάλο TR (μεγάλο σήμα → μικρή αντίθεση T1) και η T2 ελαχιστοποιείται με μικρό TE (μεγάλο σήμα → μικρή T2 αντίθεση).

Συνοπτικά:

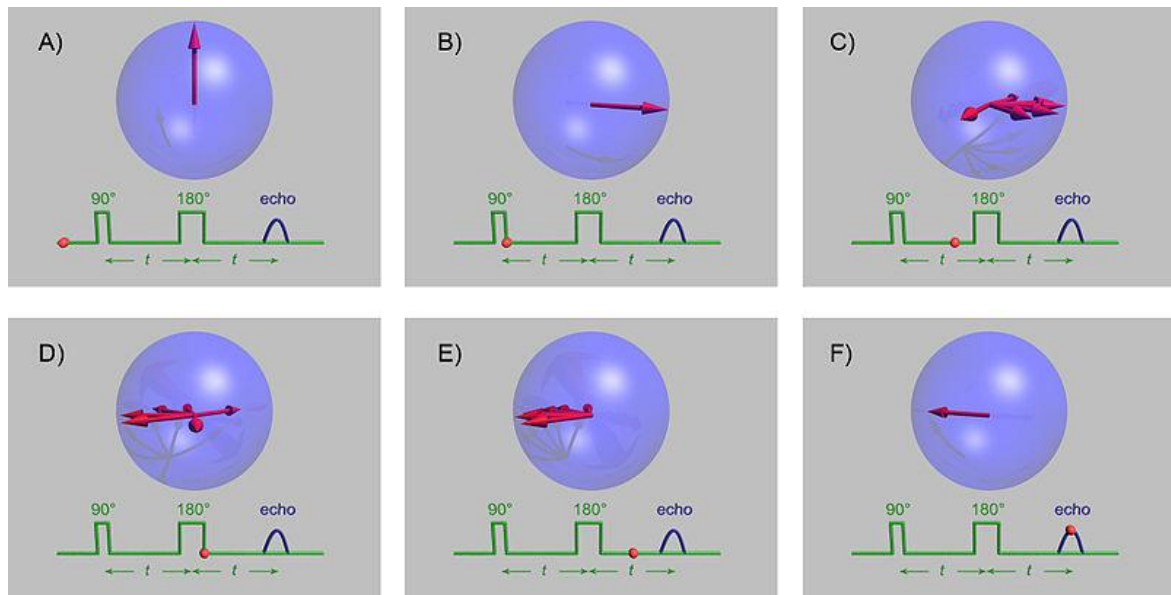
Για εικόνες T1 → μικρός χρόνος TR και μικρός χρόνος TE

Για εικόνες T2 → μεγάλος χρόνος TR και μεγάλος χρόνος TE

Για εικόνες πυκνότητας πρωτονίων → μεγάλος χρόνος TR και μικρός χρόνος TE^{22,23,24}.

1.4.2 Τεχνική Spin-Echo

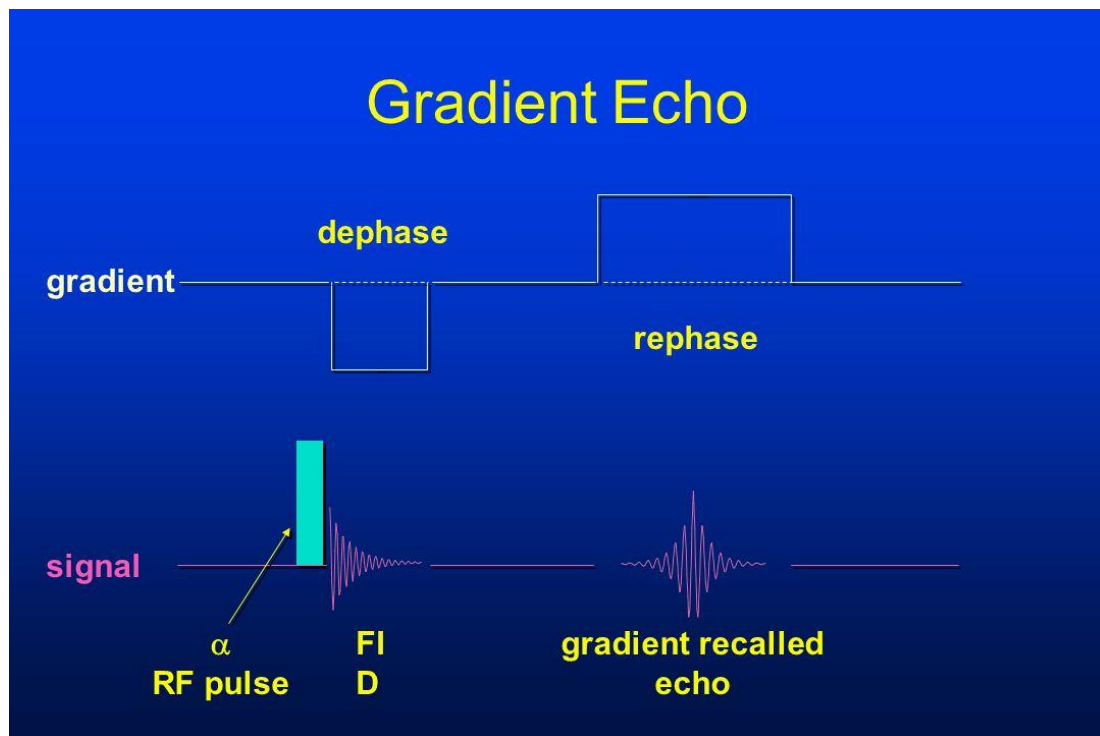
Σε ένα σύστημα πυρηνικών σπίν ευρισκόμενο σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο B_0 εφαρμόζουμε ένα ραδιοπαλμό 90° . Τα πυρηνικά σπίν έρχονται σε συμφωνία φάσης και η εγκάρσια μαγνήτιση M_{xy} παίρνει τη μέγιστη τιμή της. Το σύστημα των πυρηνικών σπίν ξεκινά την επαναφορά του στην αρχική ισορροπία. Η εγκάρσια μαγνήτιση φθίνει εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί αφού τα πυρηνικά σπίν χάνουν σταδιακά τη συμφωνία φάσης, λόγω ανομοιογένειας του μαγνητικού πεδίου. Αυτή η απώλεια φάσης οδηγεί σε άνοιγμα των πυρηνικών σπίν σε σχήμα που προσομοιάζεται με βεντάλια αφού μετά από λίγο χρόνο η πιο ταχεία και η πιο αργή συχνότητα θα φτάσουν έχουν διαφορά φάσης 180° με αποτέλεσμα να χάνεται η συνολική εγκάρσια μαγνήτιση. TE/2 μετά την ολοκλήρωση εφαρμογής παλμού 90° εφαρμόζουμε ένα παλμό 180° ώστε όλα τα σπίν που έχουν αρχίσει να χάνουν τη φάση τους στο εγκάρσιο επίπεδο να γυρίσουν κατά 180° και να συνεχίσουν να περιστρέφονται προς την αντίθετη κατεύθυνση κλείνοντας τη βεντάλια που προαναφέρθηκε. Με αυτό τον τρόπο όλα τα πυρηνικά σπίν σε χρόνο TE/2 θα συναντηθούν και θα βρίσκονται πάλι σε φάση σχηματίζοντας μία ηχώ^{22,23,24}.



Τεχνική Spin-Echo

1.4.3 Τεχνική Gradient Echo

Στην ακολουθία Gradient Echo γίνεται χρήση βαθμιδωτών πεδίων με σκοπό την απώλεια και την αποκατάσταση της συμφασικότητας των μαγνητικών ροπών. Προκειμένου να μειώσουμε τον απαιτούμενο χρόνο για απεικόνιση σε σχέση με την τεχνική spin echo εφαρμόζουμε την τεχνική gradient echo , εφαρμόζοντας παλμούς μικρότερους των 90° για εξοικονόμηση χρόνου . Αρχικά εφαρμόσουμε βαθμιδωτό πεδίο με αρνητική κλίση ώστε να βγουν εκτός φάσης τα σπίν και να εξαλειφθεί το σήμα όποτε και εφαρμόζουμε για διπλάσιο χρόνο βαθμιδωτό πεδίο θετικής κλίσης προκειμένου να επαναφέρουμε τα σπίν σε φάση και να λάβουμε το σήμα , το οποίο και λαμβάνεται στο μέσο της τελικής διαδικασίας που περιγράψαμε^{22,23,24}.



Τεχνική Gradient Echo

1.5 Χωρική Πληροφορία Και Κωδικοποίηση Στο Χώρο

Προκειμένου να έχουμε μια σωστή απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, ανεξάρτητα από την απεικονιστική τεχνική που χρησιμοποιούμε, απαιτείται μια σημαντική πληροφορία, η χωρική πληροφορία, δηλαδή απαιτείται ο προσδιορισμός της θέσης του κάθε πυρήνα που μας δίνει το σήμα. Προκειμένου να το επιτύχουμε μεταβάλλουμε χωρικά το μαγνητικό πεδίο προκειμένου να μεταβάλλεται χωρικά και η συχνότητα περιστροφής των πυρήνων και να μπορούμε να τους διεγείρουμε επιλεκτικά, ανάλογα με τη θέση που κατέχουν. Με αυτό τον τρόπο θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε από που προήλθε το σήμα και να έχουμε την απαραίτητη για την εικόνα μας χωρική πληροφορία. Για να επιτευχθούν όσα προαναφέραμε εφαρμόζουμε βαθμιδωτά πεδία των οποίων η ένταση μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος του άξονα στον οποίο εφαρμόζονται, παράλληλα πάντα με την ύπαρξη του μαγνητικού πεδίου B_0 . Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε μια διαφορετική συχνότητα Larmor σε διαφορετικά σημεία του χώρου και εφαρμόζοντας κατάλληλους μετασχηματισμούς Fourier παίρνουμε τις επιθυμητές εικόνες με

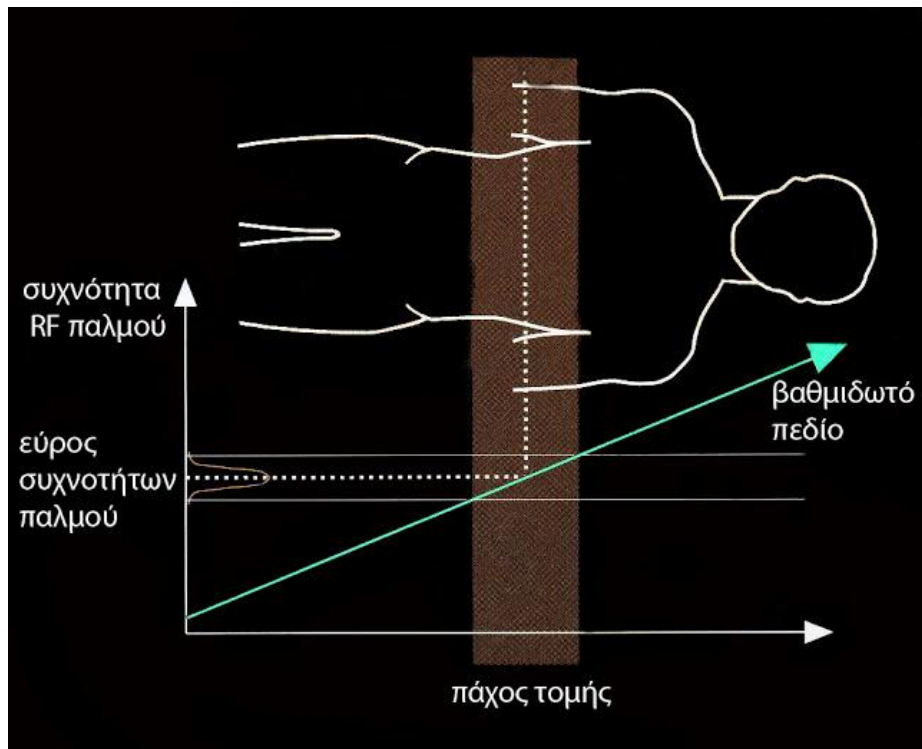
χωρική αντιστοιχία. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε να πάρουμε τις αντίστοιχες τομές στις επιθυμητές περιοχές του σώματος . Καταφέρνουμε λοιπόν να διαχωρίζουμε τα πρωτόνια κάθε τομής που μας ενδιαφέρει αφού έχουν ένα συγκεκριμένο γνωστό σε μας φάσμα συχνοτήτων, δίνοντάς μας τη δυνατότητα να τα διεγείρουμε χωριστά από τα υπόλοιπα πρωτόνια. Οι εικόνες που λαμβάνουμε αποτελούνται από pixels των οποίων η φωτεινότητα έχει άμεση σχέση με τις μαγνητικές ιδιότητες του αντίστοιχου ογκοστοιχείου, του οποίου το σήμα προκύπτει από τη μέση τιμή του συνόλου των σημάτων των περιεχομένων πρωτονίων.

Με τη χρήση των βαθμιδωτών πεδίων επιτυγχάνονται οι ακόλουθες διαδικασίες:

- A) επιλογή επιπέδου τομής
- B) κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση συχνότητας
- Γ) κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση φάσης^{22,23,24}

1.5.1 Επιλογή Επιπέδου Τομής

Όπως προαναφέραμε χρησιμοποιώντας βαθμιδωτά πεδία και παλμούς RF μπορούμε να απεικονίσουμε οποιοδήποτε ανατομικό επίπεδο (εγκάρσιο, στεφανιαίο, οβελιαίο, πλάγιο). Με τα βαθμιδωτά πεδία δημιουργούμε κλιμάκωση των συχνοτήτων κατά μήκος του άξονα του πεδίου οπότε εφαρμόζοντας παλμό συγκεκριμένης συχνότητας διεγείρουμε μόνο τους πυρήνες που έχουν την ίδια συχνότητα μετάπτωσης. Επομένως εφαρμόζοντας παλμό συγκεκριμένου εύρους συχνοτήτων διεγείρουμε επιλεκτικά τους πυρήνες που μας ενδιαφέρουν και το εύρος των συχνοτήτων που θα εφαρμόσουμε καθορίζει και το πάχος της τομής ενώ η κεντρική συχνότητα του παλμού θα καθορίσει τη θέση της τομής^{22,23,24}.



Διαφοροποίηση μαγνητικού πεδίου για επιλογή τομής

1.5.2 Κωδικοποίηση Και Αποκωδικοποίηση Συχνότητας

Εφαρμόζοντας τη βαθμίδα κωδικοποίησης συχνότητας κατά μήκος ενός άξονα επιτυγχάνουμε την κωδικοποίηση της πληροφορίας της θέσης των μαγνητικών ροπών κατά μήκος αυτού του άξονα ως προς την συχνότητα τους. Αρχικά διεγείρουμε με ένα παλμό 90° την αντίστοιχη τομή και ακολουθεί κωδικοποίηση της συχνότητας παράλληλα με τη διαδικασία ανίχνευσης και καταγραφής του σήματος από όπου και ονομάζεται βαθμίδα ανίχνευσης^{22,23,24}.

1.5.4 Κωδικοποίηση Και Αποκωδικοποίηση Φάσης

Με την εφαρμογή μιας βαθμίδας κωδικοποίησης φάσης προκύπτει αλλαγή φάσης της στοιχειώδους μαγνήτισης κάθε πυρήνα επομένως κωδικοποίηση της πληροφορίας της θέσης των μαγνητικών ροπών ως προς τη διαφορά

φάσης στον άξονα στον οποίο εφαρμόζεται, αφού πρώτα έχει επιλεγεί και διεγερθεί με παλμό 90^0 η αντίστοιχη τομή. Η βαθμίδα κωδικοποίησης φάσης εφαρμόζεται σε άξονα κάθετο με τον άξονα εφαρμογής της βαθμίδας κωδικοποίησης συχνότητας και για σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής οι μαγνητικές ροπές κατά μήκος του άξονα αποκτούν διαφορετικές συχνότητες μετάπτωσης και επανέρχονται στη συχνότητα Larmor μετά τη λήξη της εφαρμογής της βαθμίδας έχοντας όμως αποκτήσει διαφορά φάσης^{22,23,24}.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

fMRI

Η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (functional Magnetic Resonance Imaging) είναι μία μη επεμβατική μέθοδος νευροαπεικόνισης. Απεικονίζει την αιμοδυναμική αντίδραση που σχετίζεται με τη νευρωνική δραστηριότητα στον εγκέφαλο καταδεικνύοντας τις περιοχές του εγκεφάλου που δραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια μιας λειτουργίας ή ενός ερεθίσματος^{25,26,27}.

2.1 Λειτουργικές Περιοχές Του Εγκεφάλου

Ο φλοιός ενός εγκεφαλικού ημισφαιρίου αποτελείται από τέσσερις ανεξάρτητες ανατομικές περιοχές ή λοβούς, οι οποίοι είναι: ο μετωπιαίος, ο βρεγματικός, ο κροταφικός και ο ινιακός. Κάθε λοβός είναι υπεύθυνος για διαφορετικές λειτουργίες, συνεργαζόμενος με άλλες περιοχές του φλοιού. Ο μετωπιαίος λοβός είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της κίνησης καθώς και για τον προγραμματισμό μελλοντικής δράσης, ο βρεγματικός λοβός για την απεικόνιση του σώματος καθώς και την αφή, ο κροταφικός λοβός για τη μνήμη, τη μάθηση και τα συναισθήματα και τέλος ο ινιακός λοβός για την όραση. Κάθε εγκεφαλικό ημισφαίριο ελέγχει τις αισθητικές και κινητικές λειτουργίες της αντίθετης πλευράς του σώματος δηλαδή το αριστερό

ημισφαίριο ελέγχει τις κινήσεις της δεξιάς πλευράς του σώματος ενώ αντίστοιχα το δεξιό ημισφαίριο ελέγχει τις κινήσεις της αριστερής πλευράς του σώματος.

Αναλυτικότερα:

Μετωπιαίος λοβός: κέντρα ελέγχου εκούσιων κινήσεων σκελετικών μυών , συνειρμικά κέντρα που πραγματοποιούνται ανώτερες πνευματικές και νοητικές διεργασίες όπως είναι σχεδιασμός και λύση σύνθετων προβλημάτων , εκτίμηση αποτελεσμάτων συμπεριφοράς.

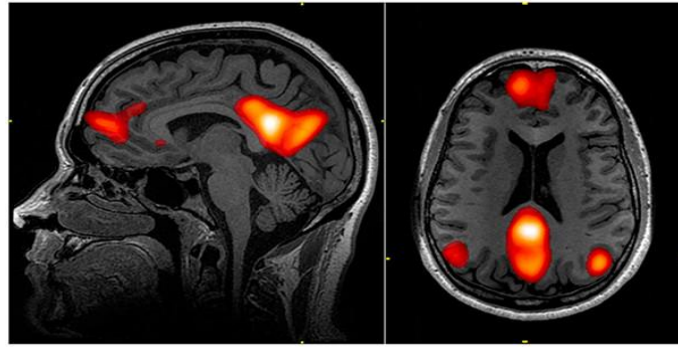
Βρεγματικός λοβός: κέντρο γεύσης, αισθητικές περιοχές που αφορούν στην αφή, στην πίεση, στον πόνο και στην αίσθηση της θερμοκρασίας καθώς και συνειρμικά κέντρα που αφορούν σε λειτουργίες του λόγου και έκφρασης σκέψεων και συναισθημάτων.

Κροταφικός λοβός: κέντρο όσφρησης και ακοής καθώς και συνειρμικά κέντρα που πραγματοποιείται η ερμηνεία αισθητικών εμπειριών , μνήμη ήχων.

Ινιακός λοβός: κέντρο όρασης καθώς και συνειρμικά κέντρα που αφορούν στη σύνδεση των οπτικών ερεθισμάτων με άλλες αισθητικές εμπειρίες.^{28,29}

2.2 Αρχές Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας

Έχει ανακαλυφθεί ότι η μη-οξυγονωμένη μορφή της αιμοσφαιρίνης εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες σε αντίθεση με την οξυγονωμένη μορφή της. Επομένως όταν μόρια μη-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα δεχθούν την επίδρασή του ενώ τα μόρια της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης θα μείνουν ανεπηρέαστα. Η Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία fMRI είναι μία τεχνική που χρησιμοποιεί τον μαγνητικό τομογράφο προκειμένου να «χαρτογραφεί» στον εγκέφαλο την υπό εξέταση λειτουργία. Αυτό επιτυγχάνεται αναδεικνύοντας εκείνες τις περιοχές του εγκεφάλου οι οποίες αναπτύσσουν αυξημένη νευρωνική δραστηριότητα και άρα παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές στην κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας.



Αυξημένη νευρωνική δραστηριότητα σε περιοχές του εγκεφάλου

Επομένως η μαγνητική τομογραφία δύναται να αναδείξει διαφορές στη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης στον εγκέφαλο. Όταν ένας νευρωνικός ιστός απαιτείται να πραγματοποιήσει μια τρέχουσα λειτουργία οι ανάγκες του για κατανάλωση οξυγόνου αυξάνονται. Επομένως η ικανότητα της μαγνητικής τομογραφίας να αναδείξει διαφορές στην απορρόφηση οξυγόνου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας συγκεκριμένης λειτουργίας σημαίνει αυτομάτως ότι δύναται να απεικονίσει την περιοχή ή τις περιοχές του εγκεφάλου που εξυπηρετούν τη συγκεκριμένη λειτουργία. Η τεχνική αυτή ονομάζεται BOLD καθώς εξαρτάται από τα 12 επίπεδα οξυγόνωσης του αίματος (BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent)^{25,26,27}.

2.3 Λειτουργική Μαγνητική Απεικόνιση Εγκεφάλου

Η Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία αποτελεί μία μη επεμβατική απεικονιστική μέθοδο, η οποία όπως προαναφέραμε, βασίζεται στη μέτρηση αλλαγών της εγκεφαλικής αιματικής ροής, αναδεικνύοντας τη νευρωνική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Η λειτουργική μαγνητική τομογραφία ανιχνεύει μεταβολές σχετικές με την οξυγόνωση και τη ροή του αίματος ως αντίκρισμα μίας νευρωνικής δραστηριότητας, που προκύπτει από την εκτέλεση συγκεκριμένων εντολών εκ μέρους του εξεταζόμενου, όπως είναι η κίνηση άκρου, η ομιλία, η παρακολούθηση εικόνων κ.λ.π. Επιπρόσθετα μπορεί να εντοπίσει περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με κρίσιμες λειτουργίες

όπως είναι η ομιλία και η μνήμη. Μπορεί, επίσης, να αναδείξει νευρωνική δραστηριότητα ακόμη και στο βάθος των αυλάκων του εγκεφάλου. Μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής αποτελεί ο θόρυβος λόγω της ευαισθησίας της σε καταστάσεις που σχετίζονται με την κίνηση όπως είναι η αναπνοή, οι χτύποι της καρδιάς αλλά και κινήσεις της κεφαλής του εξεταζόμενου κατά τη διάρκεια της εξέτασης, που οδηγούν στην παρουσία σφαλμάτων. Θόρυβο αποτελούν οι ανεπιθύμητες αλλαγές στο σήμα MR, που προκύπτουν από στοιχεία τα οποία δεν ενδιαφέρουν την εκάστοτε μελέτη. Οι κυριότερες πηγές θορύβου στην fMRI είναι ο θόρυβος του συστήματος, ο θερμικός θόρυβος, ο φυσιολογικός θόρυβος, η τυχαία νευρωνική δραστηριότητα και οι διαφορές τόσο στις ψυχικές διακυμάνσεις όσο και στις συμπεριφορές μεταξύ των ανθρώπων.

Όπως προαναφέραμε η Απεικόνιση Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας συνήθως χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό εξαρτώμενο από τα επίπεδα οξυγόνωσης του αίματος (BOLD) για τη μελέτη τοπικών αλλαγών στη συγκέντρωση δεοξυαιμοσφαιρίνης στον εγκέφαλο. Η απεικόνιση BOLD εκμεταλλεύεται εγγενείς διαφορές μεταξύ οξυγονωμένης και μη οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης αφού καθεμία από αυτές τις καταστάσεις έχει διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες, διαμαγνητικές και παραμαγνητικές, αντίστοιχα, με αποτέλεσμα να παράγει τοπικά διαφορετικά μαγνητικά πεδία. Λόγω των παραμαγνητικών ιδιοτήτων που έχει η δεοξυαιμοσφαιρίνη καταστέλλει το σήμα MR ενώ η οξυ-αιμοσφαιρίνη όχι. Η εγκεφαλική ροή του αίματος ανανεώνει με οξυγονωμένο αίμα τις περιοχές του εγκεφάλου που είναι ενεργές κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μίας διεργασίας με αποτέλεσμα να αλλάζει το μετρούμενο σήμα MR στις ενεργές περιοχές του εγκεφάλου. Αρχικά παρατηρείται μία αρνητική βύθιση κατά την αναπαράσταση του σήματος BOLD, που αντιστοιχεί σε πρόσκαιρη αύξηση της ποσότητας της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης δηλαδή της απο-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, όμως μετά από μία σύντομη λανθάνουσα κατάσταση μεταξύ του ερεθίσματος και της αντίδρασης η εισροή οξυγονωμένου αίματος αυξάνεται λόγω των αυξημένων αναγκών της νευρωνικής δραστηριότητας. Λόγω του γεγονότος ότι παρέχεται περισσότερο οξυγόνο από αυτό που καταναλώνεται μειώνεται η συγκέντρωση της δεοξυαιμοσφαιρίνης, που με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση του σήματος περίπου 2s μετά την έναρξη της νευρωνικής

δραστηριότητας. Η κορύφωση του σήματος, γνωστή ως κορυφή αιμοδυναμικής απόκρισης, πραγματοποιείται 5s-8s μετά την έναρξη της νευρωνικής δραστηριότητας. Η Λειτουργική Μαγνητική Απεικόνιση εφαρμόζεται συχνά στα πλαίσια της Νευροχειρουργικής ως προεγχειρητικός έλεγχος για την εντόπιση περιοχών του εγκεφάλου που σχετίζονται με τη κίνηση, την αίσθηση, την ομιλία και την όραση^{25,26,27}.

ΜΕΡΟΣ 2^ο

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της κβαντικής διεμπλοκής μέσω της απομακρυσμένης και χωρίς καμία επαφή επικοινωνίας μεταξύ δίδυμων αδερφών, με χρήση Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας.

Για το σκοπό αυτό ελέγχθηκαν μέσω λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας (fMRI) οι εγκεφαλοι δίδυμων αδερφών προκειμένου να διερευνηθεί αν και κατά πόσο ενεργοποιούνται κοινές περιοχές στους εγκεφάλους τους κατά τη διάρκεια ενός ερεθίσματος που όμως προκαλείται μόνο στον έναν από τους δύο κάθε φορά.

3.1 Υλικό και Μεθοδολογία

3.1.1 Υλικό

Στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά 26 άτομα, 18 ενήλικες και 8 ανήλικοι. Από τα 26 άτομα τα 15 ήταν γυναίκες και τα 7 άντρες.

Συμμετείχαν 7 ζεύγη διδύμων αδελφών, 2 μονοζυγωτικά και 5 διζυγωτικά καθώς και 6 ζεύγη ανθρώπων γνωστών μεταξύ τους αλλά όχι αδερφών ή συγγενών, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα ελέγχου (control).

Από τα επτά ζεύγη διδύμων τα 3 είναι ενήλικες και τα 4 είναι ανήλικοι. Τα 6 ζευγάρια που χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα ελέγχου (control) είναι ενήλικες.

Εξαιρέσεις:

Τελικά από την έρευνα έχουν εξαιρεθεί 4 άτομα, 1 άτομο από το group των διδύμων και 3 από την ομάδα ελέγχου εξαιτίας artifacts που δημιουργήθηκαν λόγω κίνησης κατά τη διάρκεια της μαγνητικής τομογραφίας.

Εν τέλει στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά 22 άτομα, με μέσο όρο ηλικίας τα 19,1 έτη, 15 ενήλικες, με μέσο όρο ηλικίας τα 22,1 έτη και 7 ανήλικοι, με μέσο όρο ηλικίας τα 15,3 έτη.

Το υλικό παρουσιάζεται και συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Υλικό

ΔΙΔΥΜΟΙ	ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑ	ΟΜ/ΚΟΙ / ΕΤ/ΚΟΙ	ΔΕΞ/ΠΕΣ / ΑΡ/ΠΕΣ	CONTROL	ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑ	ΔΕΞ/ΠΕΣ / ΑΡ/ΠΕΣ
13					9			
ΖΕΥΓΟΣ 1					ΖΕΥΓΟΣ 1			
A	1	17	M	Δ	A	2	24	Δ
B	1	17	M	A	B	2	24	Δ
ΖΕΥΓΟΣ 2					ΖΕΥΓΟΣ 2			
A	1	15	Δ	Δ	A	2	29	Δ
B					B	2	25	Δ
ΖΕΥΓΟΣ 3					ΖΕΥΓΟΣ 3			
A	2	15	Δ	Δ	A	1	19	Δ
B	1	15	Δ	Δ	B	1	18	Δ
ΖΕΥΓΟΣ 4					ΖΕΥΓΟΣ 4			
A	1	30	Δ	Δ	A	1	19	Δ
B	1	30	Δ	Δ	B			
ΖΕΥΓΟΣ 5					ΖΕΥΓΟΣ 5			
A	1	14	Δ	A	A	1	20	Δ
B	1	14	Δ	Δ	B	1	18	Δ
ΖΕΥΓΟΣ 6					ΖΕΥΓΟΣ 6			
A	1	18	Δ	Δ	A			
B	1	18	Δ	Δ	B			
ΖΕΥΓΟΣ 7								
A	2	20	M	Δ				
B	2	20	M	A				

1:θύλη , 2: άρρεν

M: μονοζυγωτικοί , Δ: διζυγωτικοί

Δ: δεξιόχειρες , Α: αριστερόχειρες

Στατιστικός Έλεγχος Δείγματος

gender * group Crosstabulation

		group		Total
		1	2	
gender	1	10	5	15
	2	3	4	7
Total		13	9	22

1: group διδύμων

2: group control

Group Statistics

Group		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
age	1	13	18,69	5,407	1,500
	2	9	21,78	3,866	1,289

1: group διδύμων

2: group control

Οι χρησιμοποιούμενες ομάδες δε διαφέρουν σημαντικά στατιστικά σε σχέση με την ηλικία.

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
age	Equal variances assumed	,199	,661	-1,467	20	,158	-3,085	2,103	-7,472	1,301
	Equal variances not assumed			-1,561	19,949	,134	-3,085	1,977	-7,210	1,039

Σύμφωνα με το επίπεδο σημαντικότητας που έχουμε θεωρήσει η t value είναι μεταξύ των ορίων του προβλεπόμενου διαστήματος. Επομένως οι ηλικίες των groups συμφωνούν με τα χαρακτηριστικά του δείγματος.

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	1,119 ^a	1	,290		
Continuity Correction ^b	,351	1	,554		
Likelihood Ratio	1,111	1	,292		
Fisher's Exact Test				,376	,276
Linear-by-Linear Association	1,068	1	,301		
N of Valid Cases	22				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2,86.

b. Computed only for a 2x2 table

Επειδή $Asymp. Syg. > 0,05$ και $Asymp. Syg. < Value$ το δείγμα μας είναι στατιστικά αποδεκτό (και μάλιστα το δείγμα των γυναικών είναι περισσότερο συμβατό σε σχέση με αυτό των ανδρών).

3.1.2 Μεθοδολογία

Εξοπλισμός

Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήσαμε μαγνητικό τομογράφο Philips Achieva 3.0T με πηνίο κεφαλής λήψης 8 καναλιών.

Στο απεικονιστικό πρωτόκολλο συμπεριλαμβάνονται ακολουθίες 3DT1 που αφορούν στην ανατομία του εγκεφάλου των συμμετεχόντων καθώς και ακολουθίες T2*-EPI fMRI κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του βίντεο από το συμμετέχοντα εκτός του μαγνητικού τομογράφου, κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του βίντεο από τον συμμετέχοντα εντός του μαγνητικού τομογράφου αλλά και κατά τη διάρκεια του resting και αφορούν στη λειτουργία του εγκεφάλου του συμμετέχοντα κατά τη διάρκεια των ερεθισμάτων και μη.

Πειραματική Διαδικασία

Αρχικά κάθε συμμετέχων συμπληρώνει ένα έντυπο στο οποίο καταγράφονται τα εξής στοιχεία:

- Δημογραφικά χαρακτηριστικά (φύλο, ηλικία)
- Σωματομετρικά χαρακτηριστικά (βάρος)
- Δεξιόχειρες/Αριστερόχειρες
- Ατομικό ιστορικό
- Ερωτηματολόγιο ασφαλείας για τη μαγνητική τομογραφία
- Ειδικά στους διδύμους: Μονοζυγωτικοί/Διζυγωτικοί

Σε κάθε ζευγάρι ονομάζουμε Α τον πρώτο συμμετέχοντα και Β τον δεύτερο. Η σειρά επιλέχθηκε εντελώς τυχαία. Κανείς από τους συμμετέχοντες δε γνωρίζει

απολύτως τίποτα για την διαδικασία που θα ακολουθήσει καθώς και το σκοπό αυτής.

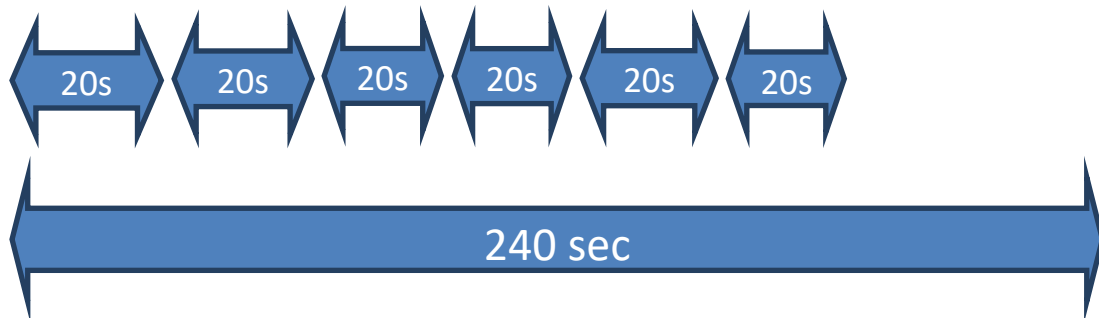
Ο πρώτος συμμετέχων μπαίνει μέσα στο μαγνητικό τομογράφο ο ενώ ο δεύτερος μεταφέρεται σε μία απομονωμένη αίθουσα περίπου 25 m μακριά από τον πρώτο.

Στον δεύτερο συμμετέχοντα, που βρίσκεται στην απομακρυσμένη αίθουσα, ξεκινά η παρουσίαση μιας video προβολής συνολικής διάρκειας 240s. Για το βίντεο χρησιμοποιήθηκαν εικόνες πιστοποιημένες να προκαλούν αισθήματα λύπης, χαράς και φόβου, από το 'The Geneva Affective Pictures Database'.³⁰ Παράλληλα ο Α υποβάλλεται σε μαγνητική τομογραφία εγκεφάλου και fMRI. Οι δύο διαδικασίες για τους Α και Β ξεκινούν ταυτόχρονα.

Ο Β κατά τα πρώτα 20 δευτ. του βίντεο παρακολουθεί έναν σταυρό. Τα επόμενα 20 δευτ. παρακολουθεί εικόνες που προκαλούν αίσθημα λύπης και οι οποίες εναλλάσσονται ανά 2 δευτ. Τα επόμενα 20 δευτ. ο Β παρακολουθεί ξανά το σταυρό. Στη συνέχεια για τα επόμενα 20 δευτ. παρακολουθεί εικόνες που εναλλάσσονται πάλι ανα 2 δευτερόλεπτα και προκαλούν αίσθημα χαράς. Τα επόμενα 20 δευτ. βλέπει πάλι το σταυρό. Τα επόμενα 20 δευτ. βλέπει εικόνες που προκαλούν αίσθημα φόβου κι εναλλάσσονται ξανά ανα 2 δευτερόλεπτα και μετά παρακολουθεί ξανά ένα σταυρό για 20 δευτ. Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλαμβάνεται ολόκληρη για μία ακόμη φορά και όπως αναφέραμε στο σύνολο της διαρκεί 240 δευτ.



+ ΕΙΚΟΝΕΣ/2s + ΕΙΚΟΝΕΣ/2s + ΕΙΚΟΝΕΣ/2s



Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία του video για τον Β αναμένουμε και την ολοκλήρωση της διαδικασίας του Α.

Όταν ολοκληρωθούν και οι δύο διαδικασίες οι συμμετέχοντες αλλάζουν θέσεις και ρόλους χωρίς να έρθουν καθόλου σε επαφή στο ενδιάμεσο. Τώρα ο Α βρίσκεται στην απομακρυσμένη αίθουσα ενώ Β βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό τομογράφο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Σε αυτή την δεύτερη φάση όμως υπάρχει μία προσθήκη. Αφού ο Α έχει παρακολουθήσει το βίντεο και έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ο Β, που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό τομογράφο, παρακολουθεί ξανά το βίντεο ενώ η διαδικασία της fMRI είναι σε ταυτόχρονη εξέλιξη.

Όταν η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί και για τους δύο συμμετέχοντες και οι δύο χωρίς να έρθουν σε επαφή καλούνται να συμπληρώσουν ερωτηματολόγια ασυνήθιστων εμπειριών αλλά και το ερωτηματολόγιο TCI-140 (Temperament and Character Inventory) σχετικά με την ιδιοσυγκρασία και το χαρακτήρα τους. Το TCI-140 αποτελεί μια συντομευμένη έκδοση του TCI-R³¹ και αποφέρει σωστά στοιχεία για την ιδιοσυγκρασία και το χαρακτήρα. Τα ερωτηματολόγια αυτά αναλύονται παρακάτω. Επιπλέον καλούνται να αξιολογήσουν τις εικόνες που συμμετείχαν στο βίντεο με μία κλίμακα από το 1

έως το 5 βάζοντας 1 σε μια εικόνα που δεν προκάλεσε καθόλου το συναίσθημα για το οποίο προοριζόταν και 5 σε μια εικόνα που προκάλεσε απολύτως το συναίσθημα για το οποίο προοριζόταν.

Για όσα ανήλικα άτομα συμμετείχαν εθελοντικά στην έρευνα ζητήθηκε επίσης η έγγραφη συγκατάθεση των γονέων ή κηδεμόνων που τα συνόδευαν.

Ψυχομετρικά ερωτηματολόγια

Όλοι οι συμμετέχοντες στα ζευγάρια διδύμων συμπλήρωσαν δύο ψυχομετρικά ερωτηματολόγια αναφορικά με διαστάσεις ιδιοσυγκρασίας και χαρακτήρα^{31,32} καθώς και ασυνήθιστες εμπειρίες³³. Το ερωτηματολόγιο TCI-140 βασίζεται στο μοντέλο δομής της προσωπικότητας επτά παραγόντων του Cloninger και επιτρέπει την εξαγωγή των παρακάτω διαστάσεων:

-Κληρονομούμενες διαστάσεις της ιδιοσυγκρασίας: Αναζήτηση νέων εμπειριών (novelty seeking), Αποφυγή βλάβης (harm avoidance), Εξάρτηση από επιβράβευση (reward dependence), Επιμονή (persistence)

-Διαμορφούμενες από το περιβάλλον διαστάσεις του χαρακτήρα: Αυτο-προσδιορισμός (self-directedness), Συνεργατικότητα (cooperativeness), Αυτο-υπέρβαση (Self-Transcendence).

Όλες οι ερωτήσεις απαντώνται με μία πενταβάθμια κλίμακα 1-5 (1= δεν με χαρακτηρίζει καθόλου, 5=με χαρακτηρίζει απόλυτα).

Βάσει βιβλιογραφίας και για να προχωρήσουμε σε καλύτερη σύγκριση ανάμεσα στα ψυχομετρικά προφίλ προσωπικότητας των διδύμων, έγινε επανακωδικοποίηση των τελικών τιμών κάθε διάστασης του ερωτηματολογίου (normalization, feature scaling) σε κλίμακα εύρος 0-1³⁴ λαμβάνοντας υπόψη την παρακάτω εξίσωση:

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

X' : η τελική επανακωδικοποιημένη συνολική τιμή για την εκάστοτε διάσταση του ερωτηματολογίου

X : η αρχική συνολική τιμή της διάστασης

X_{min} : η ελάχιστη συνολική τιμή της διάστασης (που υπολογίζεται από τον αριθμό των λημμάτων που απαρτίζουν τη διάσταση πολλαπλασιαζόμενο με 1)

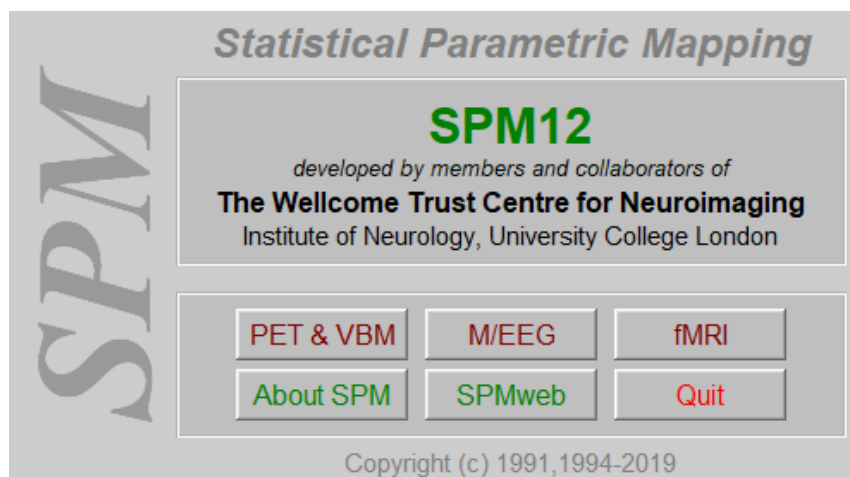
X_{max} : η μέγιστη συνολική τιμή της διάστασης (που υπολογίζεται από τον αριθμό των λημμάτων που απαρτίζουν τη διάσταση πολλαπλασιαζόμενο με 5)

Η τελική τιμή X' πολλαπλασιάζεται με 100 για να εκφράζει την επανακωδικοποιημένη τιμή σε ποσοστό. Χρησιμοποιήθηκε ένα όριο τιμής 10% ως ελάχιστο όριο διαφοράς μεταξύ των διαστάσεων των συμμετεχόντων που θεωρείται αποδεκτό για να γίνει σύγκριση στις διαστάσεις ιδιοσυγκρασίας και χαρακτήρα των διδύμων από τους Karavasilis et al³⁵, το 2017.

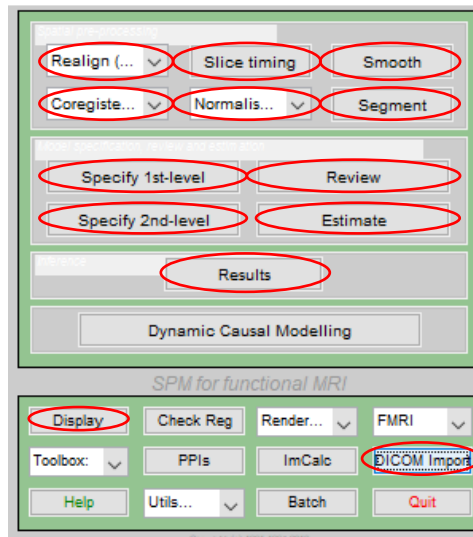
Το ερωτηματολόγιο EEQ έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί σε μελέτες διδύμων για την εκτίμηση τηλεπαθητικού-τύπου εμπειριών και εντυπωσιακών συμπτώσεων από τους Brusewitz et al³³ το 2013.

3.1.2.1 Επεξεργασία Δεδομένων

Για την επεξεργασία και ανάλυση των εικόνων που λάβαμε από τον μαγνητικό τομογράφο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPM12^{36,37} (Statistical Parametric Mapping), το οποίο λειτουργεί στη πλατφόρμα MATLAB.



Μέσα στην επιλογή fMRI του SPM12 εμφανίζεται το menu που θα χρησιμοποιήσουμε για την επεξεργασία των δεδομένων που λάβαμε μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας .

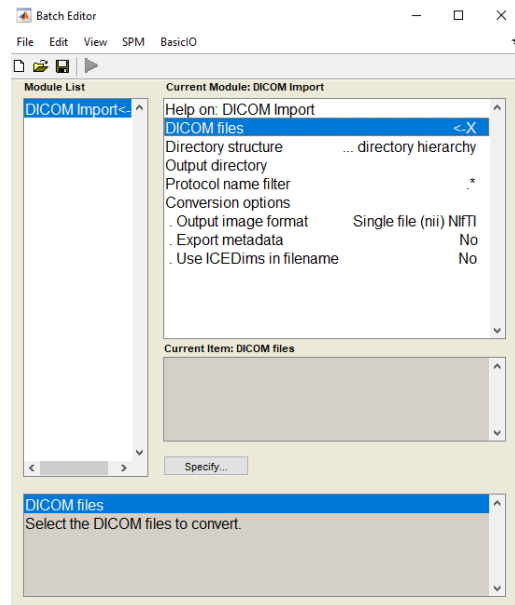
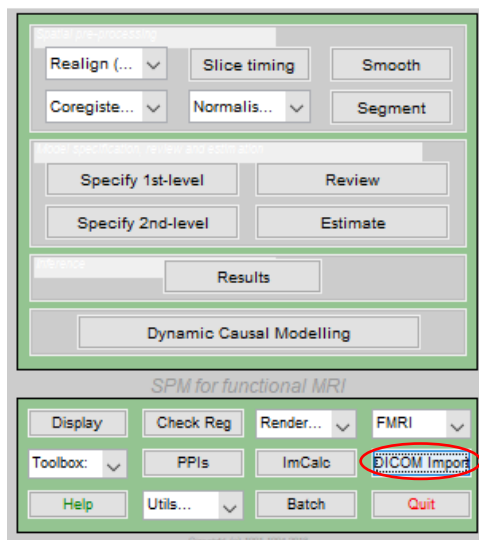


Μέσω του προγράμματος SPM12 ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα :

DICOM import:

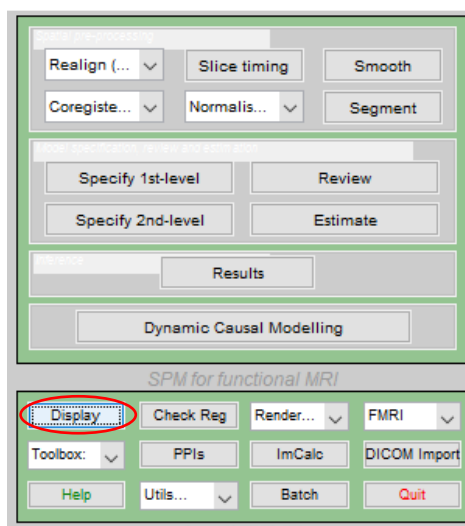
Οι εικόνες που λαμβάνουμε από τον μαγνητικό τομογράφο είναι σε μορφή DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Μέσω της επιλογής DICOM import μετατρέπουμε αυτές τις εικόνες σε μορφή NIfTI (.nii) προκειμένου να είναι συμβατές και διαχειρίσιμες από το πρόγραμμα SPM12.

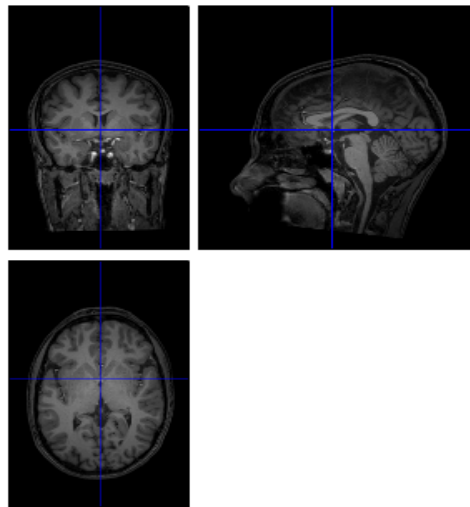
36,37



Display:

Μέσω της επιλογής Display και χρησιμοποιώντας ως βάση τις 3DT1 εικόνες γίνεται διόρθωση του προσανατολισμού κάθε εικόνας. Κάθε εικόνα μπορεί να περιστραφεί σε 3 επίπεδα axial, sagittal και coronal προκειμένου να διορθωθούν ασυμμετρίες που μπορεί να υπάρχουν και οι εικόνες να αποκτήσουν κοινό προσανατολισμό. Επιλέγουμε την πρόσθια σύμφυση που θα οριστεί ως το σημείο το οποίο θα θεωρείται στο εξής ως το σημείο μηδέν για κάθε εικόνα για τη χωρική προεπεξεργασία. Με αυτό τον τρόπο είναι ευκολότερο να ταυτιστούν οι εικόνες ανατομίας με τις λειτουργικές εικόνες.^{36,37}





Crosshair Position		Origin
mm:	6.0 20.0 -1.0	
vx:	137.2 140.5 86.8	
Intensity:	1.44561e+06	

right {mm}	0
forward {mm}	0
up {mm}	0
pitch {rad}	-0.18
roll {rad}	-0.1
yaw {rad}	-0.09
resize {x}	1
resize {y}	1
resize {z}	1
Set Origin	
Reorient...	

File: ..401-00004-000001-01.nii	
Dimensions: 288 x 288 x 170	
Datatype: uint16	
Intensity: Y = 2311.85 X	
3T 3D GR	
Vox size: -0.871 x 0.871 x 1	
Origin: 159 145 79.9	
Dir Cos: -0.053 -0.019 0.998	
0.990 -0.130 0.050	
0.129 0.991 0.025	

Full Volume	Hide Crosshair
World Space	Trilinear interp.
Auto Window	Add Overlay...

3.1.2.2 Προεπεξεργασία

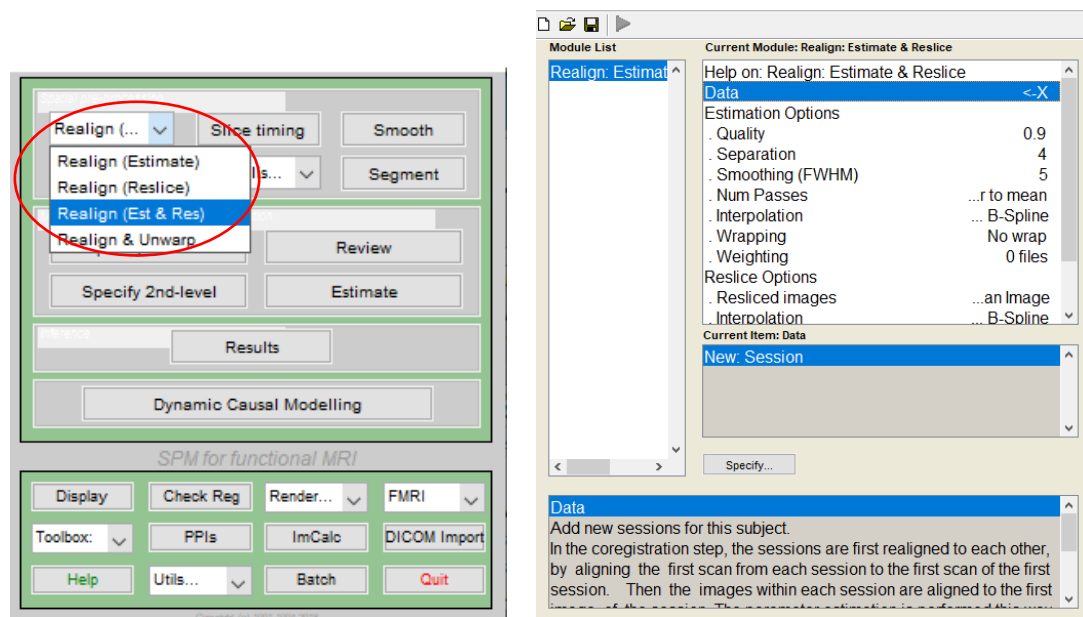
Εφαρμόζεται για να :

- α) ευθυγραμμίσει όλες τις εικόνες ενός ατόμου,
 - β) να ευθυγραμμίσει τις εικόνες όλων των ατόμων σε συγκεκριμένο χώρο.
- Τα βήματα της προεπεξεργασίας έχουν ως εξής:

Realign:

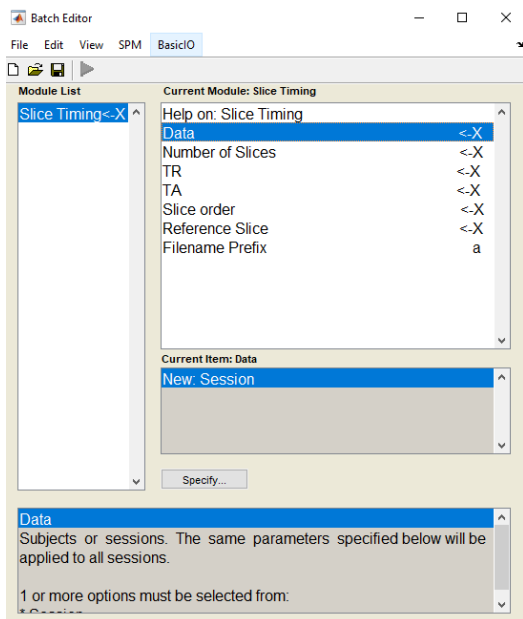
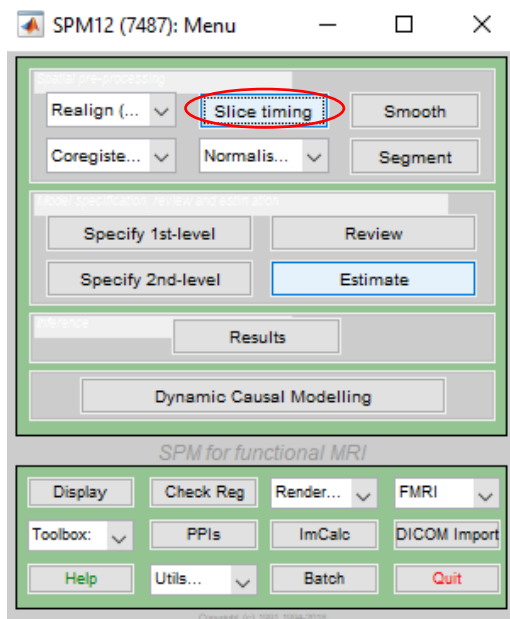
Μεγάλα σφάλματα δημιουργούνται λόγω της διαφοράς θέσης μεταξύ εικόνων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Αυτό όμως μπορεί να διορθωθεί σημαντικά με ευθυγράμμιση όλων των εικόνων μιας fMRI λήψης με μία εικόνα που

ορίζεται ως πρότυπο. Μετακινήσεις των δομών στους άξονες X,Y,Z και περιστροφή γύρω από αυτούς γίνονται προκειμένου να αφαιρεθεί ο θόρυβος που έχει δημιουργηθεί στις εικόνες εξαιτίας της κίνησης κατά τη διάρκεια της σάρωσης του εγκεφάλου.^{36,37}



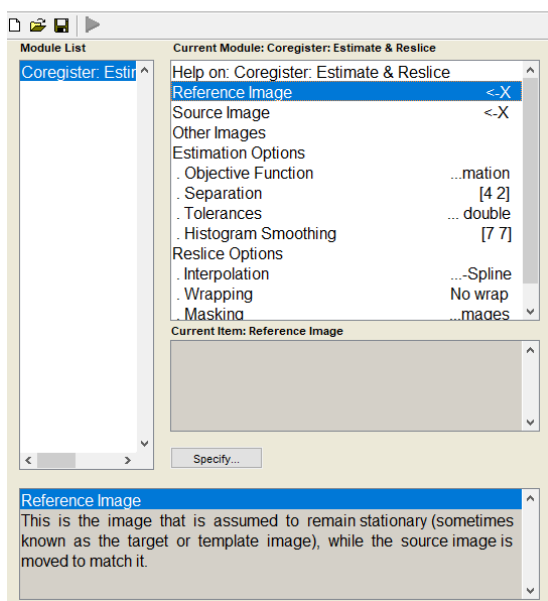
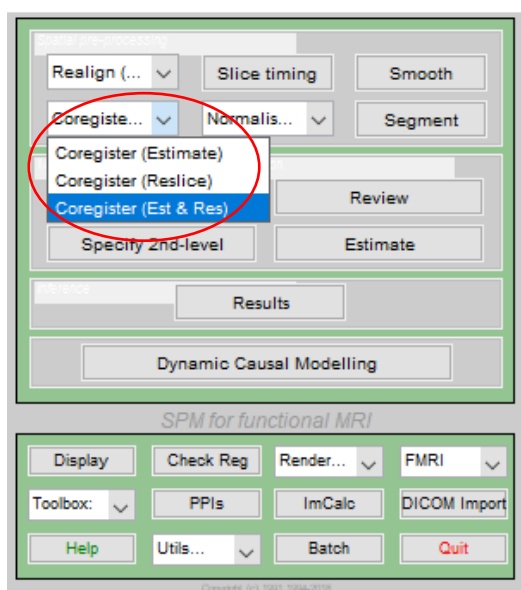
Slice Timing:

Λαμβάνονται υπόψη οι διαφορές χρονισμού που προκύπτουν για κάθε σάρωση και γίνεται προσαρμογή της χρονοσειράς κάθε εικονοστοιχείου προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια προσωμοίωση που να αντιστοιχεί σε μία κατάσταση που όλα τα εικονοστοιχεία των τομών μιας 3D εικόνας να λαμβάνονται την ίδια χρονική στιγμή. Δηλαδή διορθώνει τις διαφορές στο χρόνο απόκτησης της εικόνας ανάμεσα στις τομές, διόρθωση που είναι απαραίτητη προκειμένου τα data κάθε τομής να αντιστοιχούν στο ίδιο σημείο στο χρόνο.^{36,37}



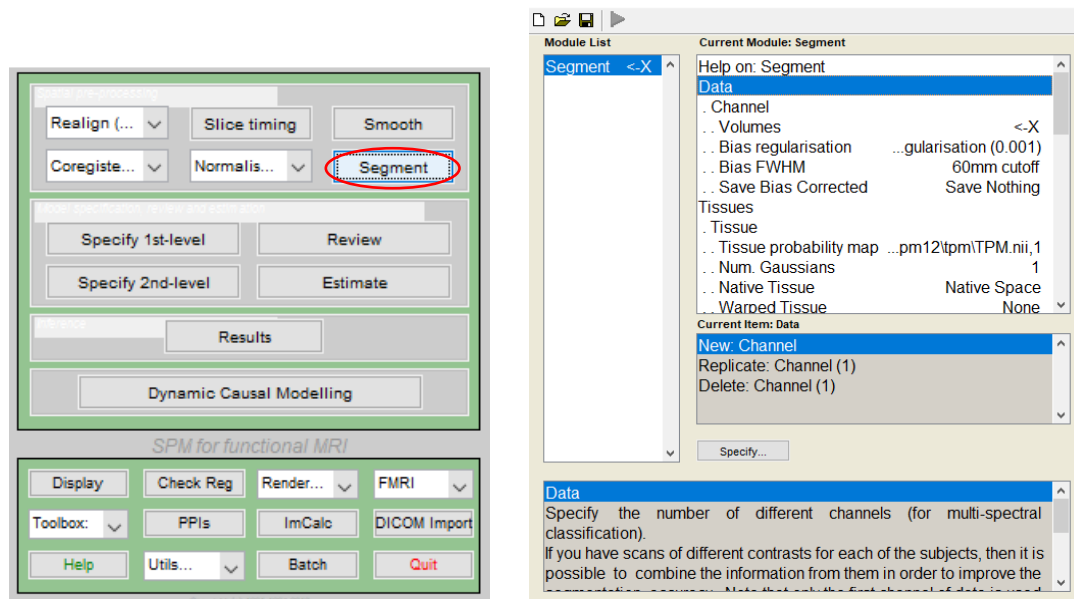
Coregister:

Με την επιλογή Coregister πραγματοποιείται μια ευθυγράμμιση εικόνων διαφορετικών λήψεων και ταυτοποίηση των ανατομικά ομολόγων μεταξύ τους περιοχών^{36,37}.



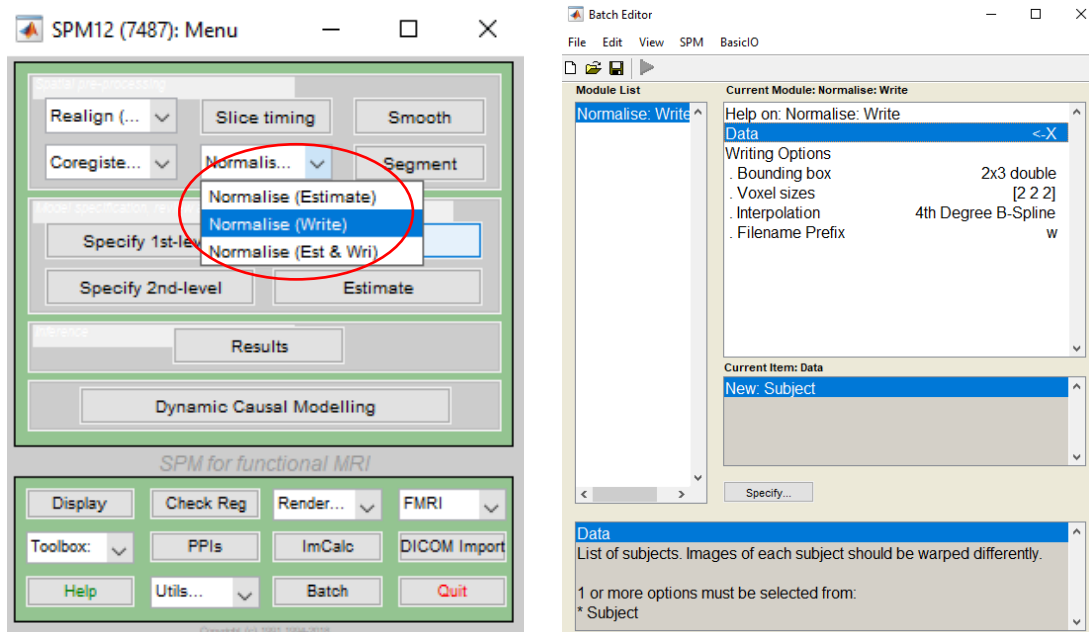
Segment:

Τμηματοποιεί κάθε ογκοστοιχείο σε μία κατηγορία εγκεφαλικού ιστικού τύπου δηλαδή λευκή ουσία, φαιά ουσία, εγκεφαλονωτιαίο υγρό , οστό , μαλακός ιστός και background. Δηλαδή διαχωρίζει τις διαφορετικές δομές ιστών του εγκεφάλου.^{36,37}



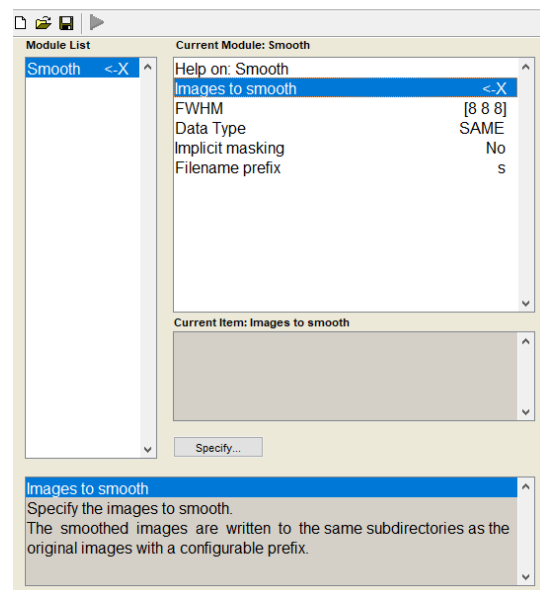
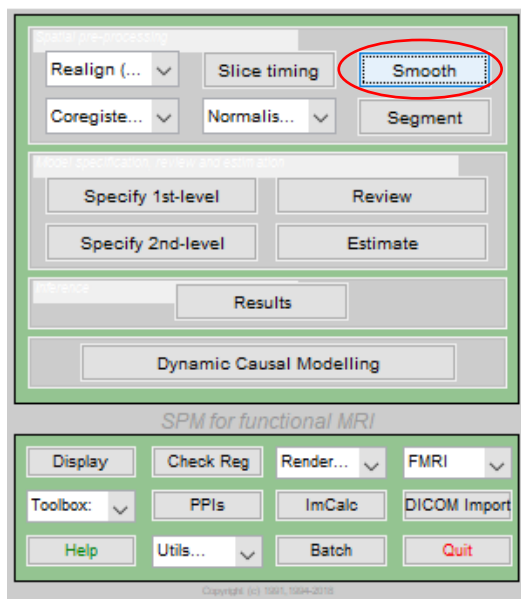
Normalize:

Οι εικόνες μετασχηματίζονται προκειμένου να γίνει ευθυγράμμιση εικόνων ώστε να ταιριάζουν σε πρότυπο χώρο στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, έχοντας ως βάση μια εικόνα αναφοράς, προκειμένου κάθε ογκοστοιχείο να αντιπροσωπεύει την ίδια τοποθεσία.^{36,37}



Smooth:

Είναι το τελευταίο στάδιο της χωρικής επεξεργασίας για την ανάλυση εγκεφαλικών δομών και πραγματοποιεί εξομάλυνση της εικόνας. Κάθε ογκοστοιχείο ομαλοποιείται σε σχέση με τα γειτονικά του. Λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με αυτό ενός φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων. Έχει ως σκοπό τη διόρθωση μικρών ανατομικών διαφορών μεταξύ διαφορετικών εγκεφαλικών δομών αντικαθιστώντας την ένταση κάθε στοιχείου με συνδυασμό των εντάσεων των στοιχείων γύρω του.^{36,37}

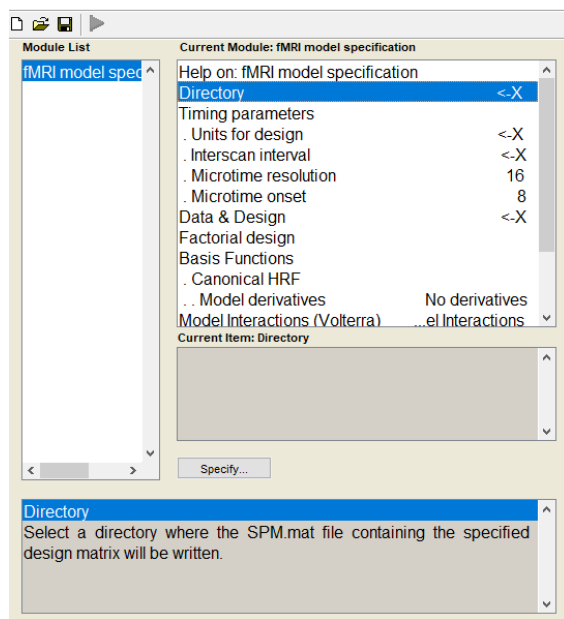
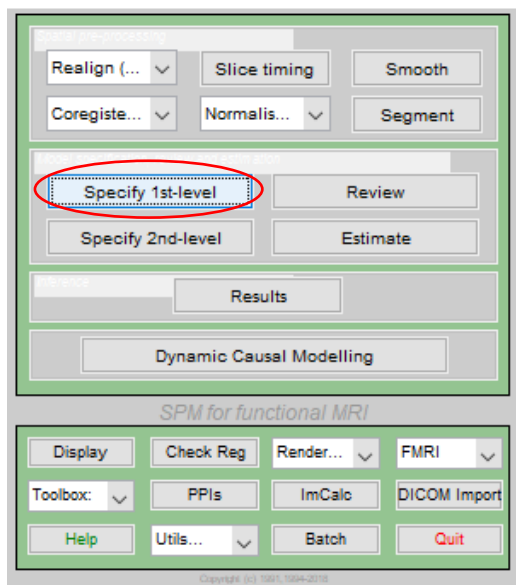


3.1.2.3 Στατιστική Ανάλυση

1st Level Analysis

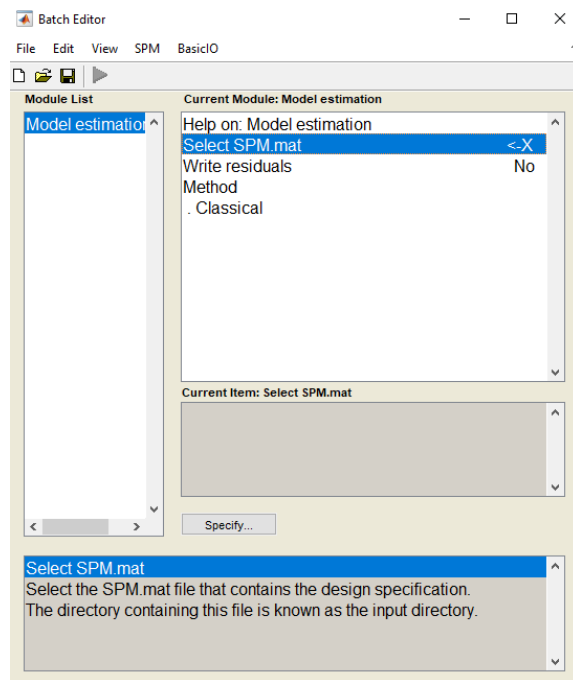
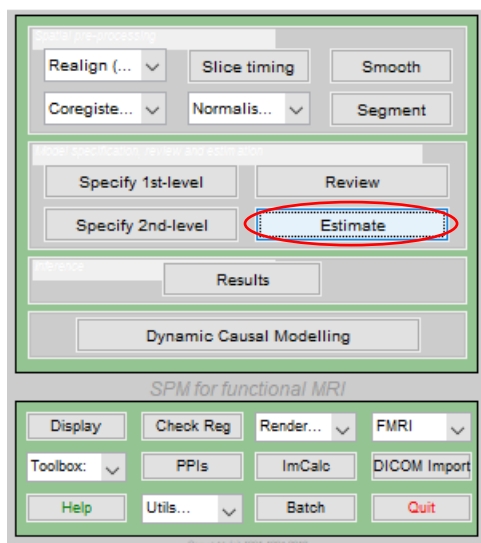
Specify 1st level, Estimate, Results

Σε αυτό το βήμα δημιουργείται το στατιστικό μοντέλο της αρχικής υπόθεσης. Δημιουργούμε ένα μοντέλο του αναμενόμενου σήματος BOLD κατά τη διάρκεια του πειράματος, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς regressors. Εκτιμούμε και δοκιμάζουμε την εφαρμογή αυτού του μοντέλου ανεξάρτητα σε κάθε ογκοστοιχείο του εγκεφάλου, καθορίζοντας τις αντιθέσεις (contrasts). Η 1st Level Analysis είναι το πρώτο από τα δύο στάδια ανάλυσης.^{36,37}



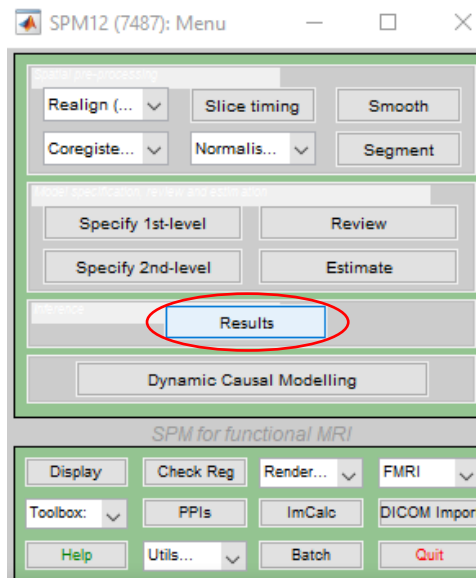
Estimate:

Σε αυτό το στάδιο του 1st level analysis γίνεται η εκτέλεση του δημιουργηθέντος μοντέλου. Γίνεται εκτίμηση των συντελεστών του θεωρητικού μοντέλου που ορίσαμε στο προηγούμενο στάδιο. Το πρόγραμμα ελέγχει αν το μοντέλο είναι στατιστικά αποδεκτό και πραγματοποιεί στατιστική ανάλυση.^{36,37}



Results:

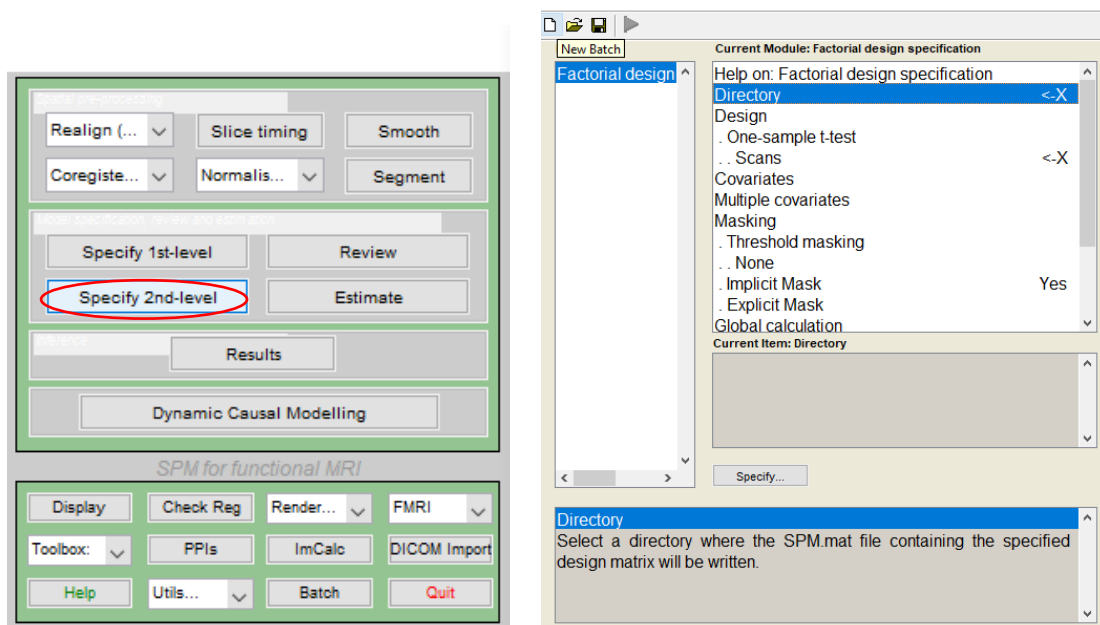
Σε αυτό το στάδιο ορίζονται κι εκτελούνται οι αντιθέσεις της αρχικής στατιστικής υπόθεσης. Αφού έχει πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση, πραγματοποιείται ο καθορισμός των contrasts και δημιουργούνται οι στατιστικοί χάρτες και πίνακες που θα χρησιμοποιηθούν στο 2nd Level Analysis. Ορίζουμε την τιμή 1 για να μελετήσουμε τη θετική συσχέτιση και -1 για την αρνητική συσχέτιση στη μεταβλητή που μας ενδιαφέρει, δίνοντας την τιμή 0 στις υπόλοιπες.^{36,37}



2nd Level Analysis

Specify 2nd level , Estimate , Results

Είναι το δεύτερο και τελευταίο στάδιο ανάλυσης που πραγματοποιείται και χρησιμοποιείται για ανάλυση ομαδοποιημένων δεδομένων. Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζουμε τις μεταβλητές κι επιλέγουμε το σχέδιο που θα ακολουθήσουμε.^{36,37}

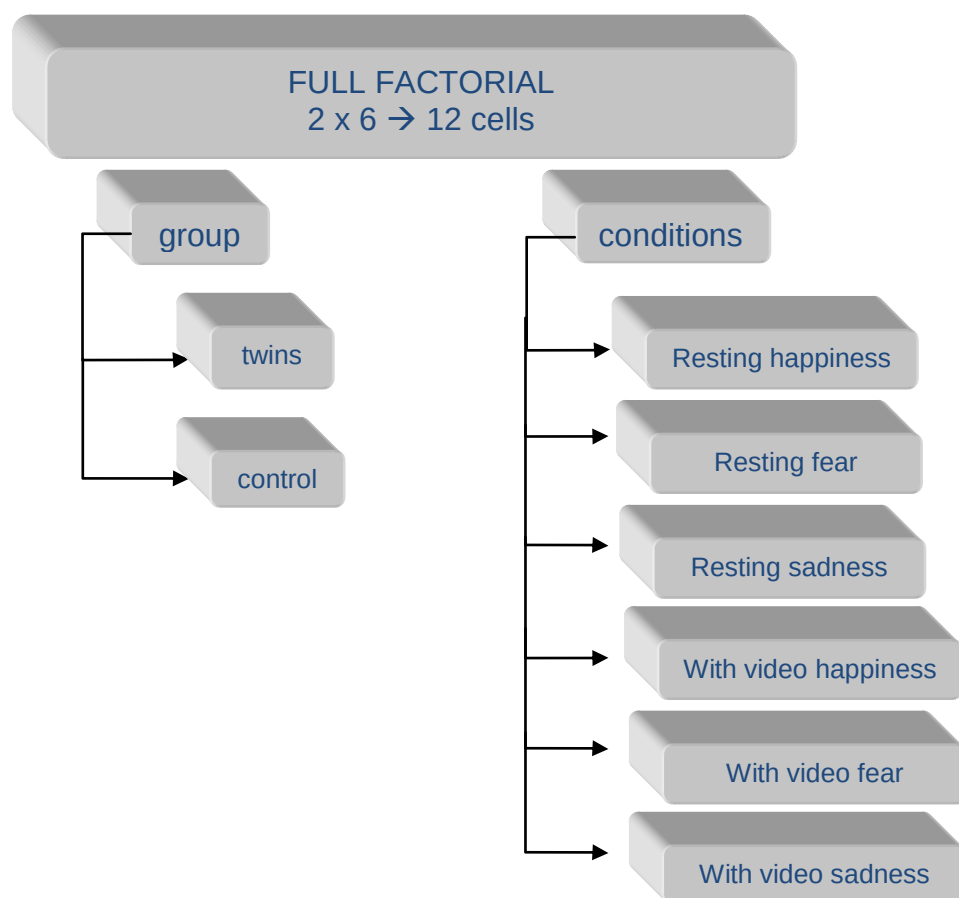


Για τη στατιστική ανάλυση εφαρμόσαμε την επιλογή “full factorial” , έναν πιο πολύπλοκο σχεδιασμό για μεγαλύτερη ακρίβεια στις συγκρίσεις μας. Αυτή η επιλογή μας επιτρέπει να κάνουμε οποιαδήποτε σύγκριση επιθυμούμε μεταξύ των group που έχουμε ορίσει στο πλάνο μας.

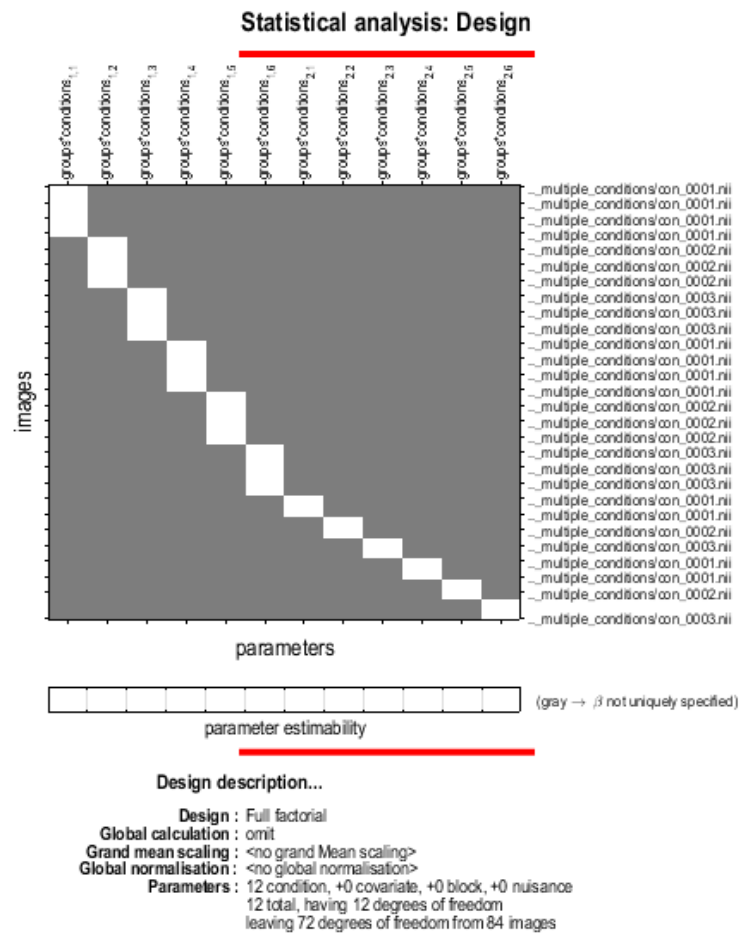
Το πλάνο μας είναι το εξής:

Ορίζουμε τον factor «group», ο οποίος αποτελείται από 2 levels: «twins» για τους διδύμους και «control» για τους υπόλοιπους συμμετέχοντες και τον factor «conditions», ο οποίος αποτελείται από 6 levels για τις καταστάσεις στις οποίες βρέθηκαν όλοι οι συμμετέχοντες συνδυαστικά με τα συναισθήματα που προκαλούσαν οι εικόνες: «resting happiness», «resting fear», «resting sadness», «with video happiness», «with video fear», «with video sadness».

Ο σχεδιασμός μας είναι ο ακόλουθος:

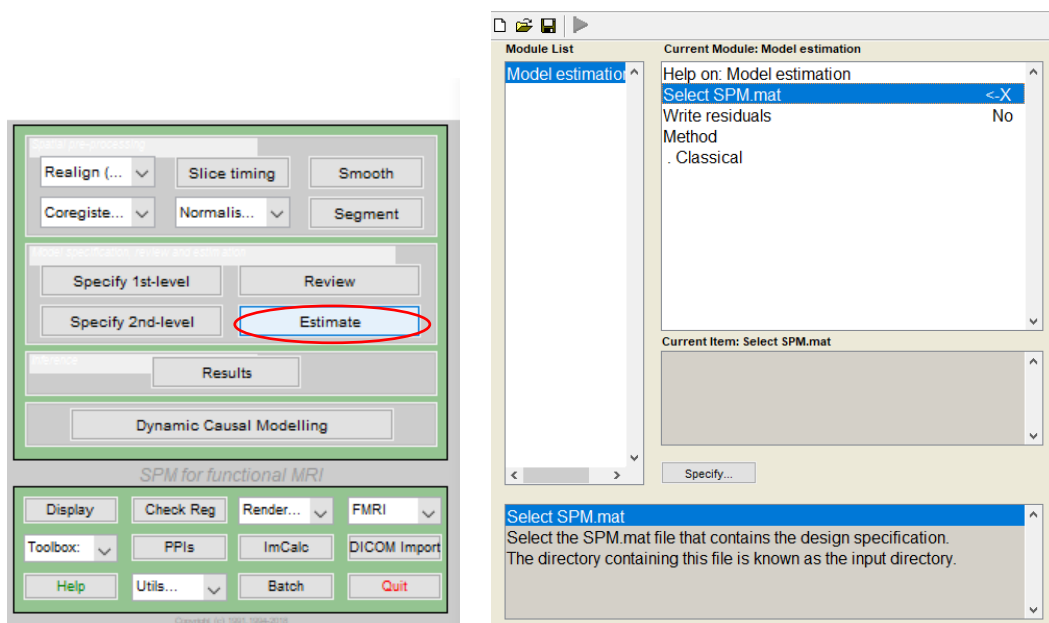


Το αποτέλεσμα της δημιουργίας του μοντέλου είναι το ακόλουθο:



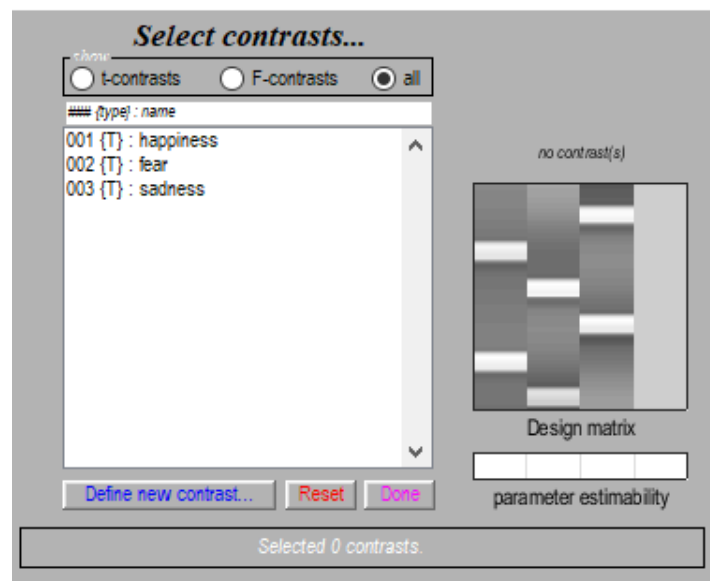
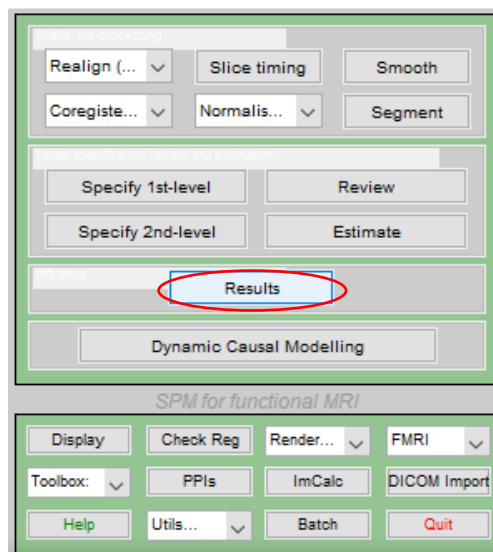
Estimate:

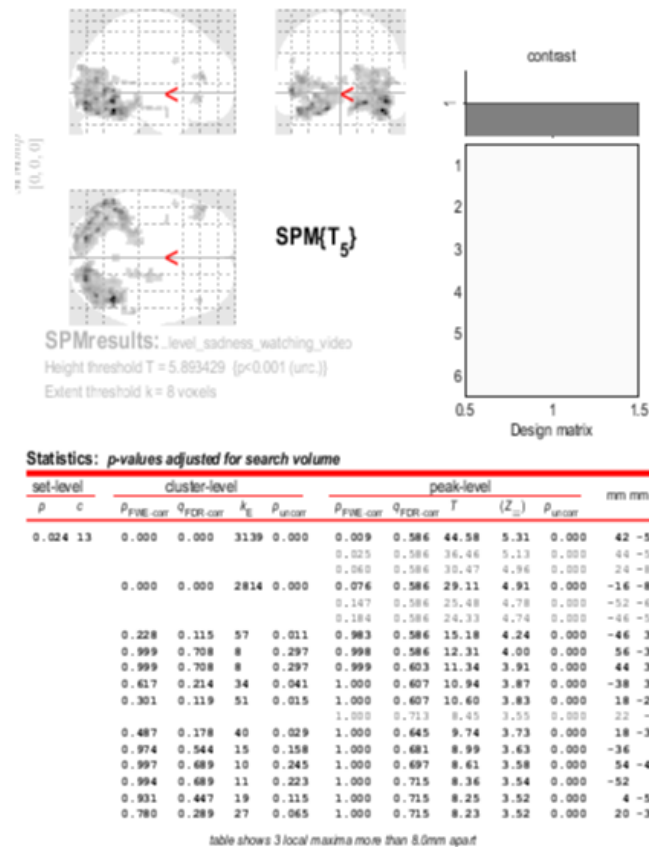
Οι οριζόμενες μεταβλητές σώζονται σε ένα αρχείο SPM.mat το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για να τρέξει το πρόγραμμα το επιλεγμένο μοντέλο που κατασκευάστηκε.^{36,37}



Results:

Στο τελικό αυτό στάδιο κατασκευάζουμε συγκεκριμένα contrasts ενδιαφέροντος, μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθούν οι επιθυμητές συγκρίσεις, από τις οποίες θα προκύψουν και τα αποτελέσματά μας και θα εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης. Σε αυτό το στάδιο ορίζουμε και το είδος της σύγκρισης που σκοπεύουμε να πραγματοποιήσουμε, το οποίο είναι βασισμένο στην αντίθεση της εικόνας. Από τα δύο διαθέσιμα είδη αντιθέσεων F-contrasts και t-contrasts προτιμήθηκε το t-contrasts, το οποίο μας πληροφορεί για τις υπάρχουσες διαφορές ανάμεσα στα συγκρινόμενα group δείχνοντας παράλληλα ποιο υπερτερεί στη σύγκριση. Αυτή η πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στην επιλογή F-contrasts.^{36,37}





3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Οι συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- Main effect control resting happiness

Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα της ευτυχίας.

- Main effect control resting fear

Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα του φόβου.

- Main effect control resting sadness
Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα της λύπης.
- Main effect control with video happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου για το συναίσθημα της ευτυχίας.
- Main effect control with video fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου για το συναίσθημα του φόβου.
- Main effect control with video sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου για το συναίσθημα της λύπης.
- Main effect twins resting happiness
Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα της ευτυχίας.
- Main effect twins resting fear
Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα του φόβου.

- Main effect twins resting sadness
Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα της λύπης.
- Main effect twins with video happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα της ευτυχίας.
- Main effect twins with video fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα του φόβου.
- Main effect twins with video sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα της λύπης.
- Control greater than twins resting happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ηρεμίας και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.
- Control greater than twins resting fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ηρεμίας και αφορά στο συναίσθημα του φόβου, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.

- Control greater than twins resting sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ηρεμίας και αφορά στο συναίσθημα της λύπης, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.
- Control greater than twins with video happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.
- Control greater than twins with video fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα του φόβου, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.
- Control greater than twins with video sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα της λύπης, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.
- Control lower than twins resting happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του resting και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.

- Control lower than twins resting fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του resting και αφορά στο συναίσθημα του φόβου, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.
- Control lower than twins resting sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του resting και αφορά στο συναίσθημα της λύπης, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.
- Control lower than twins with video happiness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.
- Control lower than twins with video fear
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα του φόβου, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.
- Control lower than twins with video sadness
Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα της λύπης, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.

- Control resting happiness greater than with video happiness
 Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της ευτυχίας είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.
- Control resting fear greater than with video fear
 Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα του φόβου είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.
- Control resting sadness greater than with video sadness
 Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της λύπης είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.
- Control resting happiness lower than with video happiness
 Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της ευτυχίας είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.
- Control resting fear lower than with video fear
 Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα του φόβου είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται

εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.

- Control resting sadness lower than with video sadness
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα ελέγχου και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της λύπης είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.
- Twins resting happiness greater than with video happiness
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της ευτυχίας είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.
- Twins resting fear greater than with video fear
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα του φόβου είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.
- Twins resting sadness greater than with video sadness
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της λύπης είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.

- Twins resting happiness lower than with video happiness
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της ευτυχίας είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.
- Twins resting fear lower than with video fear
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα του φόβου είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.
- Twins resting sadness lower than with video sadness
Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της λύπης είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.

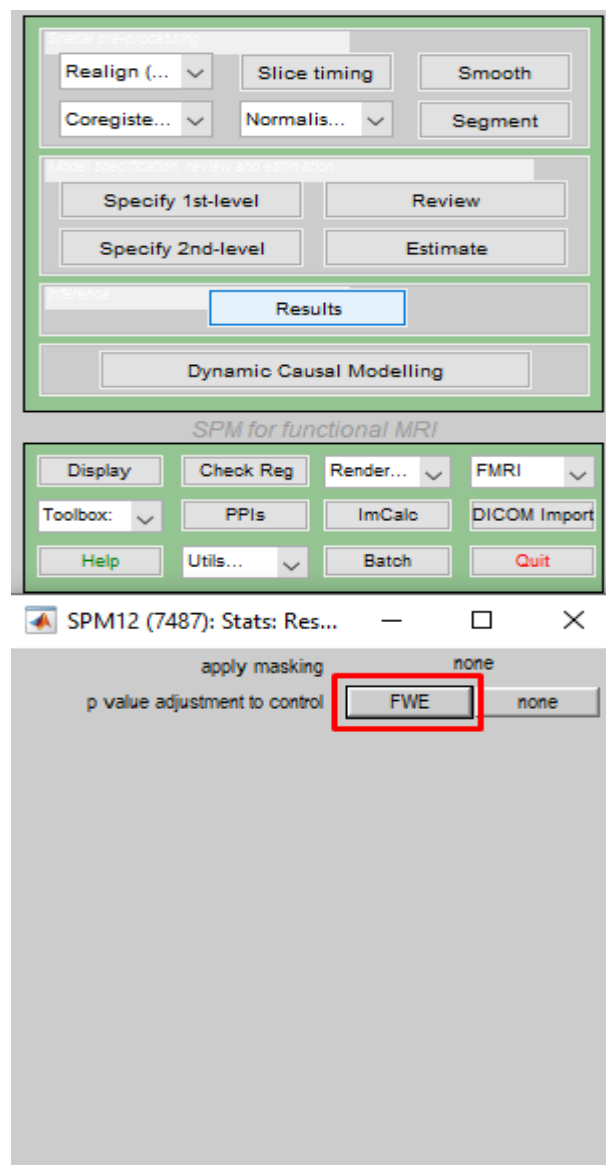
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα fMRI

Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις εφαρμόσαμε και το πιο αυστηρό στατιστικό κριτήριο, που είναι η διόρθωση πολλαπλών συγκρίσεων FWE (Family Wise Error) , με τιμή p-value ίση με 0,05 , μέσα στην επιλογή results

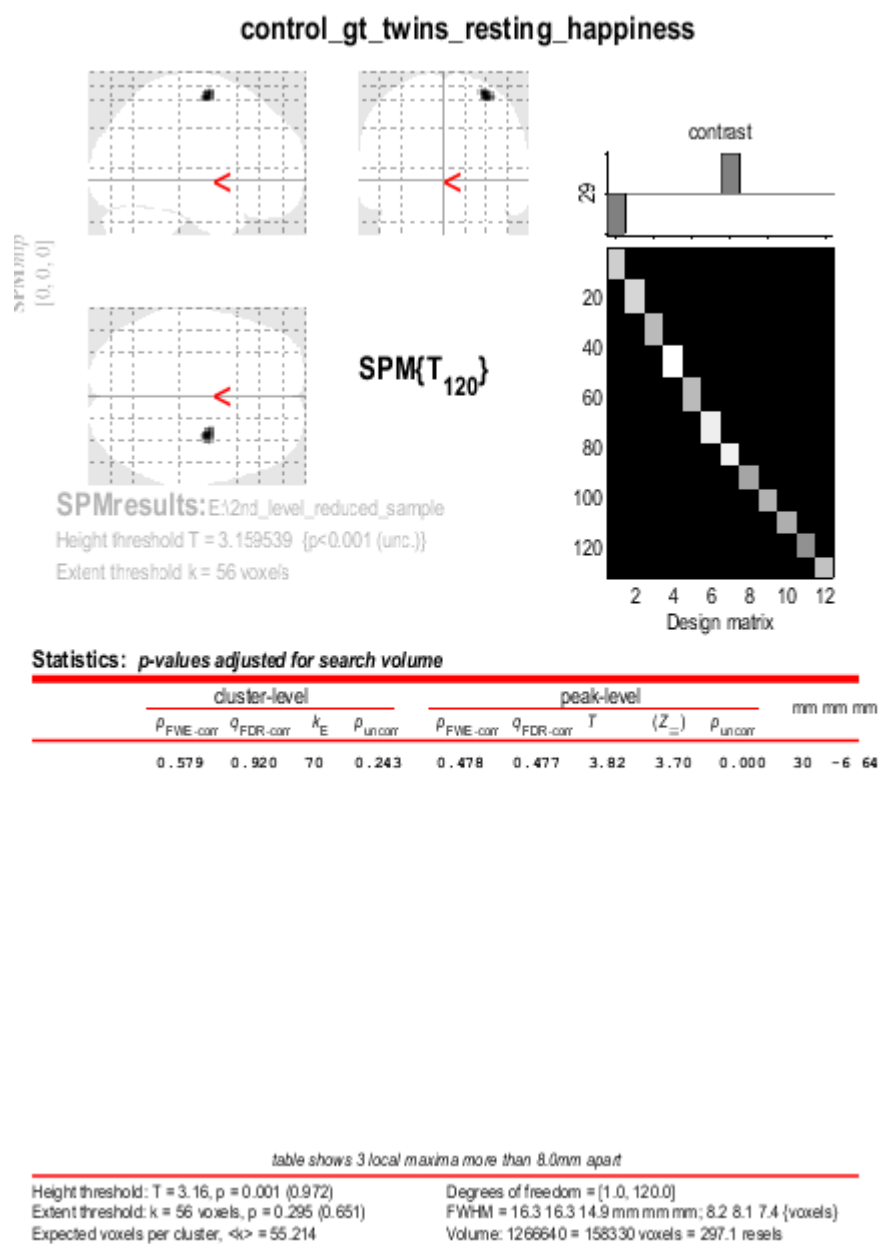
στο 2nd level analysis. Δεν παρουσιάστηκαν όμως clusters που να επιβιώνουν κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου στατιστικού κριτηρίου, οπότε και δεν προέκυψε κανένα απολύτως αποτέλεσμα σε καμία από τις περιπτώσεις που εξετάσαμε.^{36,37}



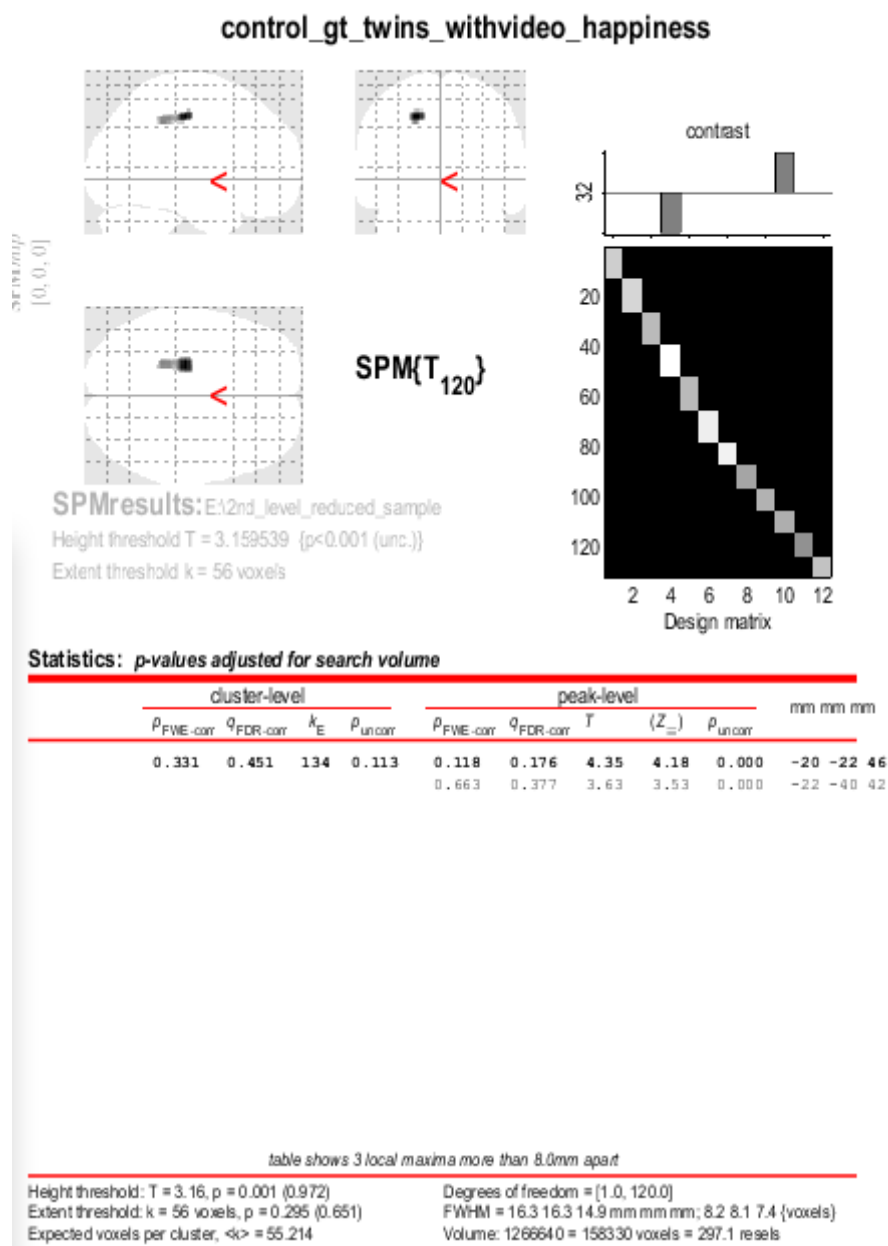
Επειδή δεν προέκυψαν αποτελέσματα στη συνέχεια εφαρμόσαμε ένα λιγότερο αυστηρό κριτήριο για τις παραπάνω συγκρίσεις κι επιλέχθηκε τιμή p-value ίση με 0,001 uncorrected.^{36,37}

Από τις παραπάνω συγκρίσεις προέκυψαν αποτελέσματα στις περιπτώσεις που παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ηρεμίας και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα των διδύμων έναντι της ομάδας ελέγχου.



2. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και αφορά στο συναίσθημα της ευτυχίας, που ελέγχουμε αν υπερτερεί στην ομάδα ελέγχου έναντι της ομάδας των διδύμων.



3. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας ελέγχου για το συναίσθημα του φόβου.

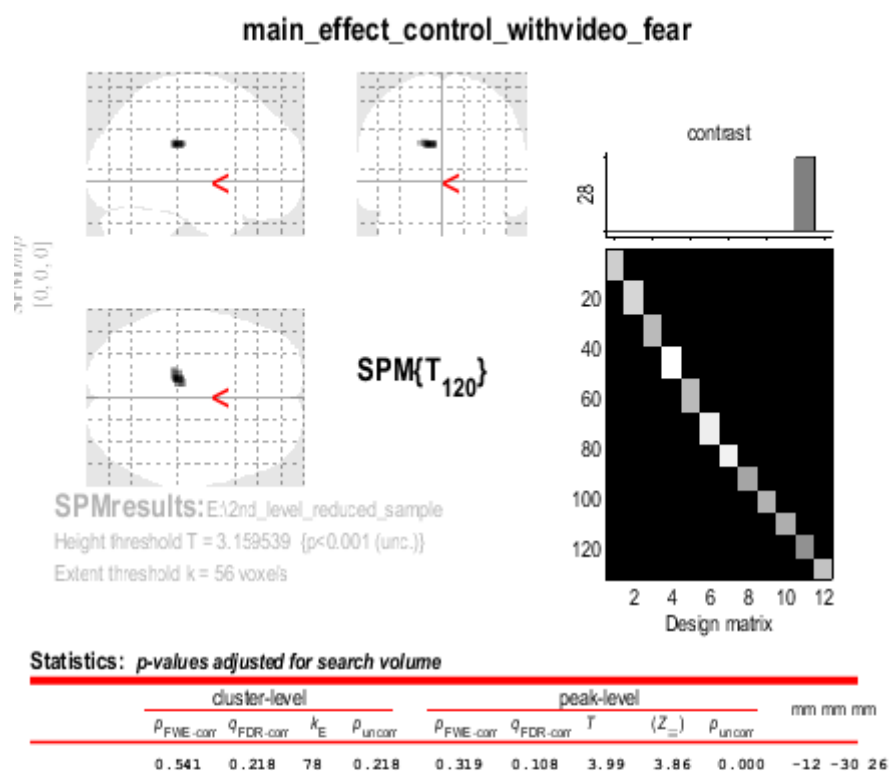
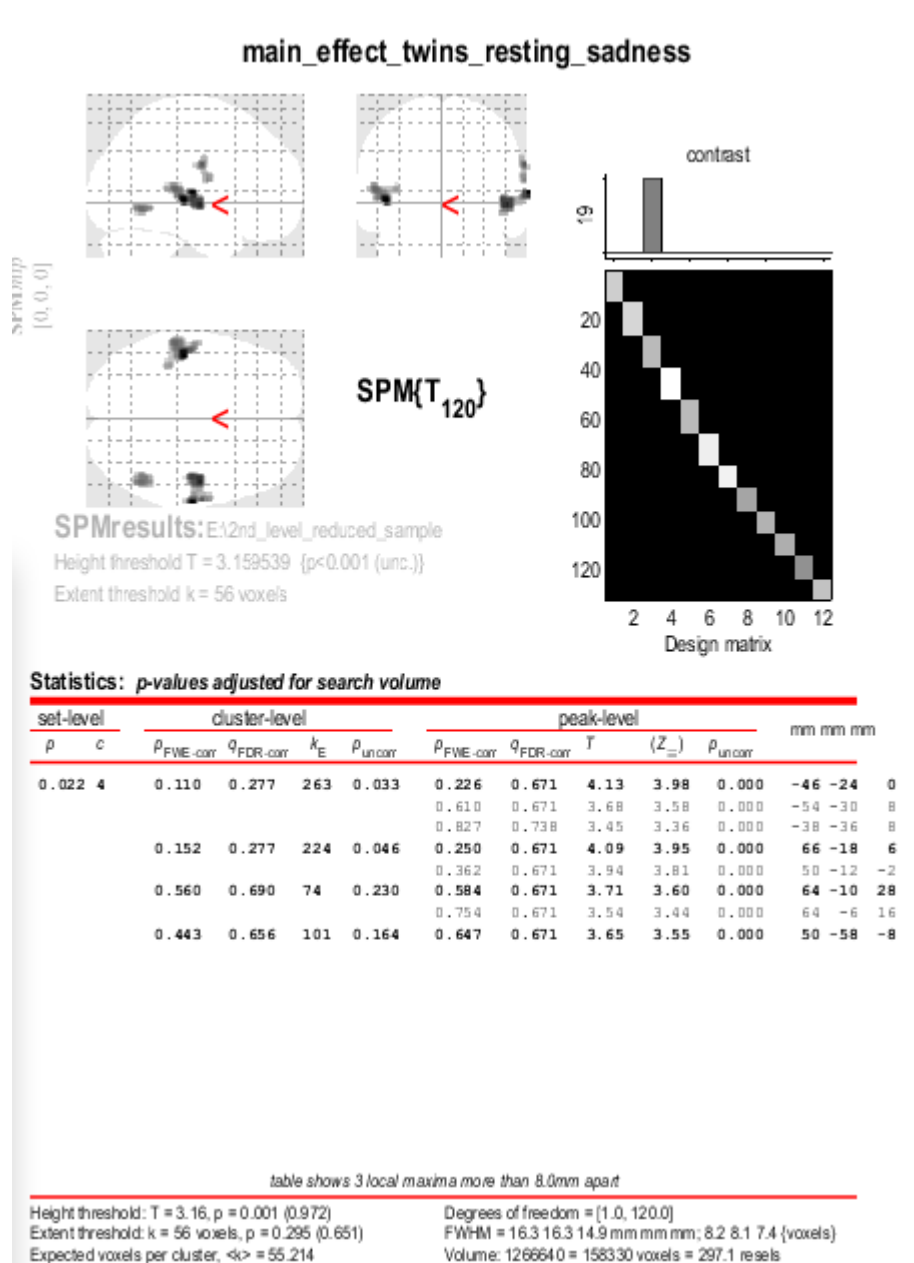


table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

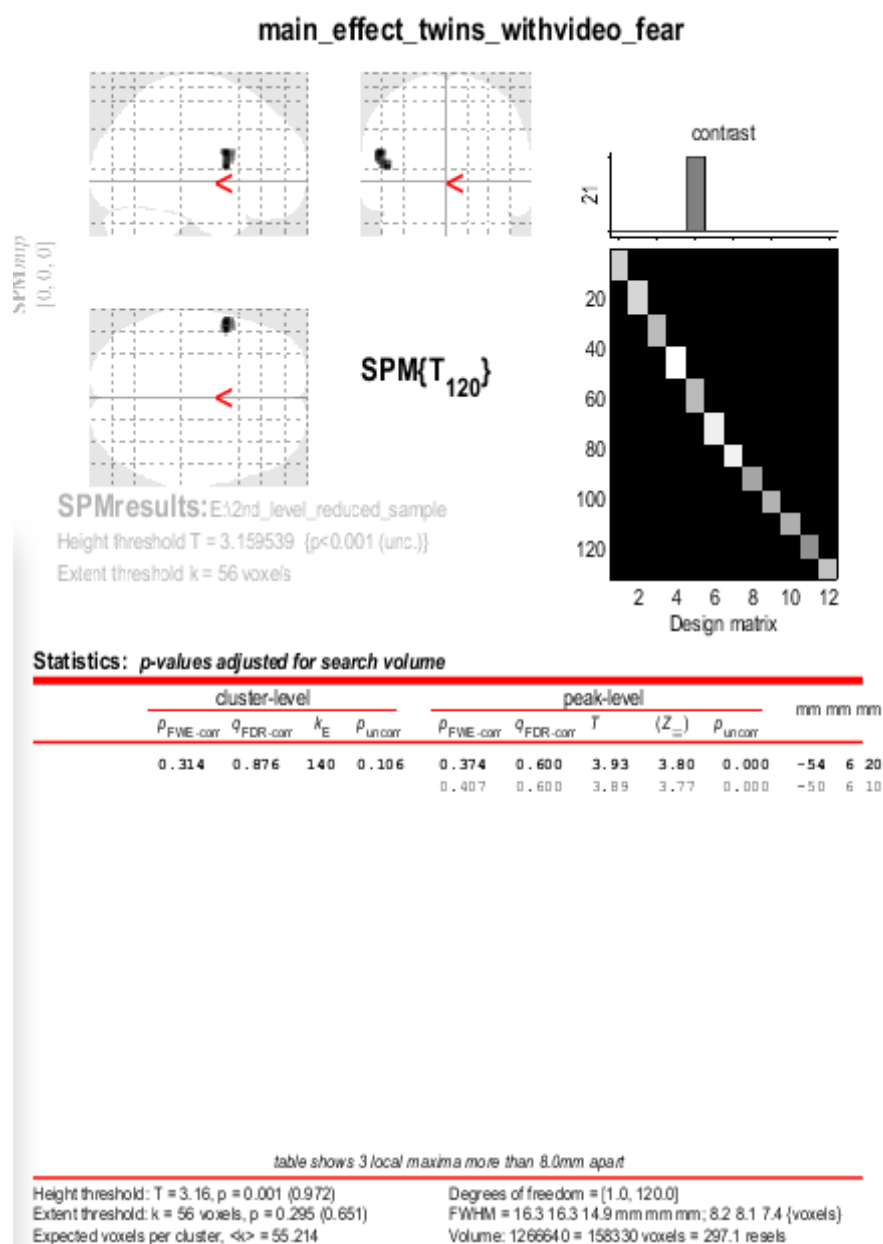
Height threshold: $T = 3.16$, $p = 0.001$ (0.972)
Extent threshold: $k = 56$ voxels, $p = 0.295$ (0.651)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 55.214$

Degrees of freedom = [1.0, 120.0]
FWHM = 16.3 16.3 14.9 mm mm mm; 8.2 8.1 7.4 (voxels)
Volume: 126664.0 = 158330 voxels = 297.1 resels

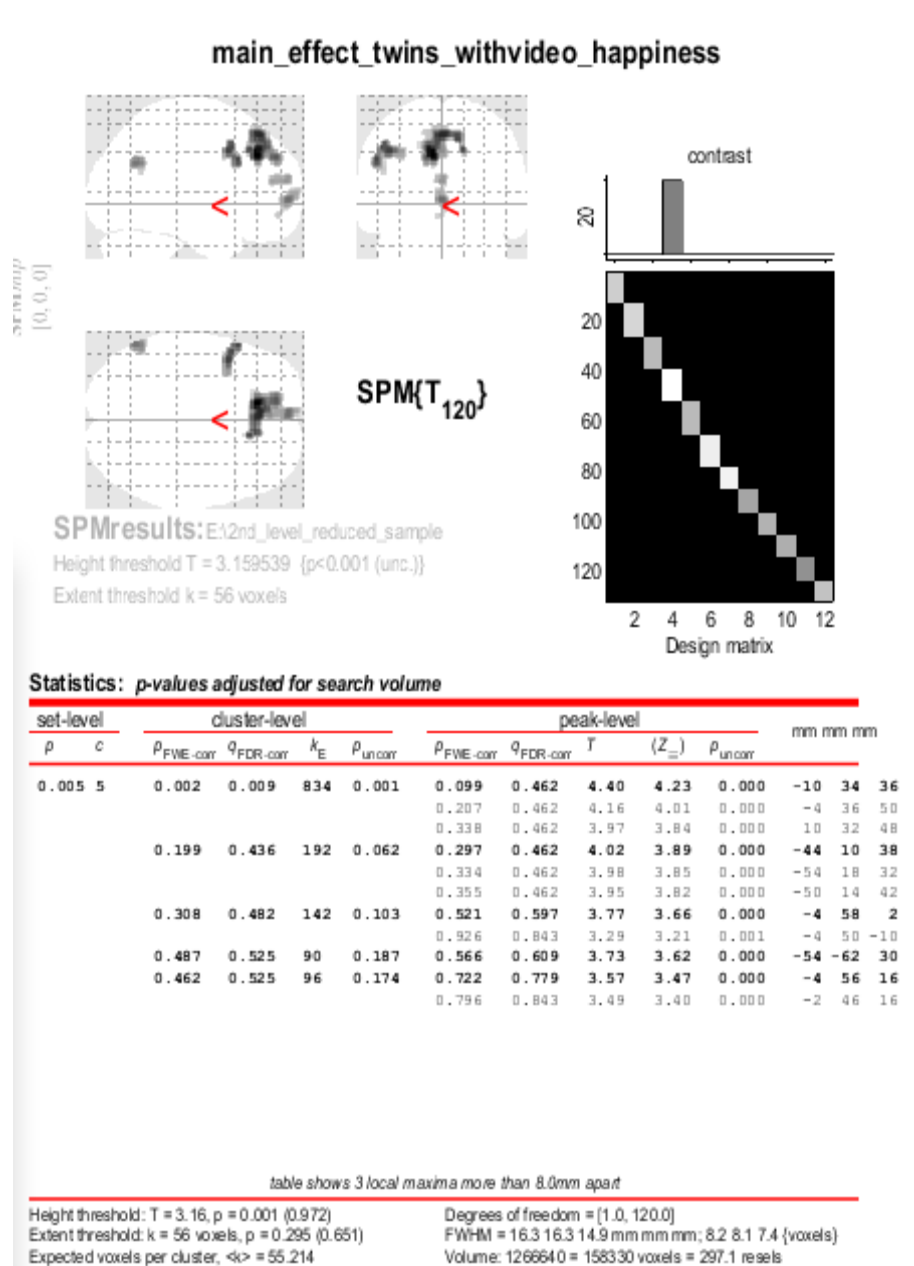
4. Διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων κατά τη διάρκεια που άτομο εντός μαγνητικού τομογράφου βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας (resting), για το συναίσθημα της λύπης.



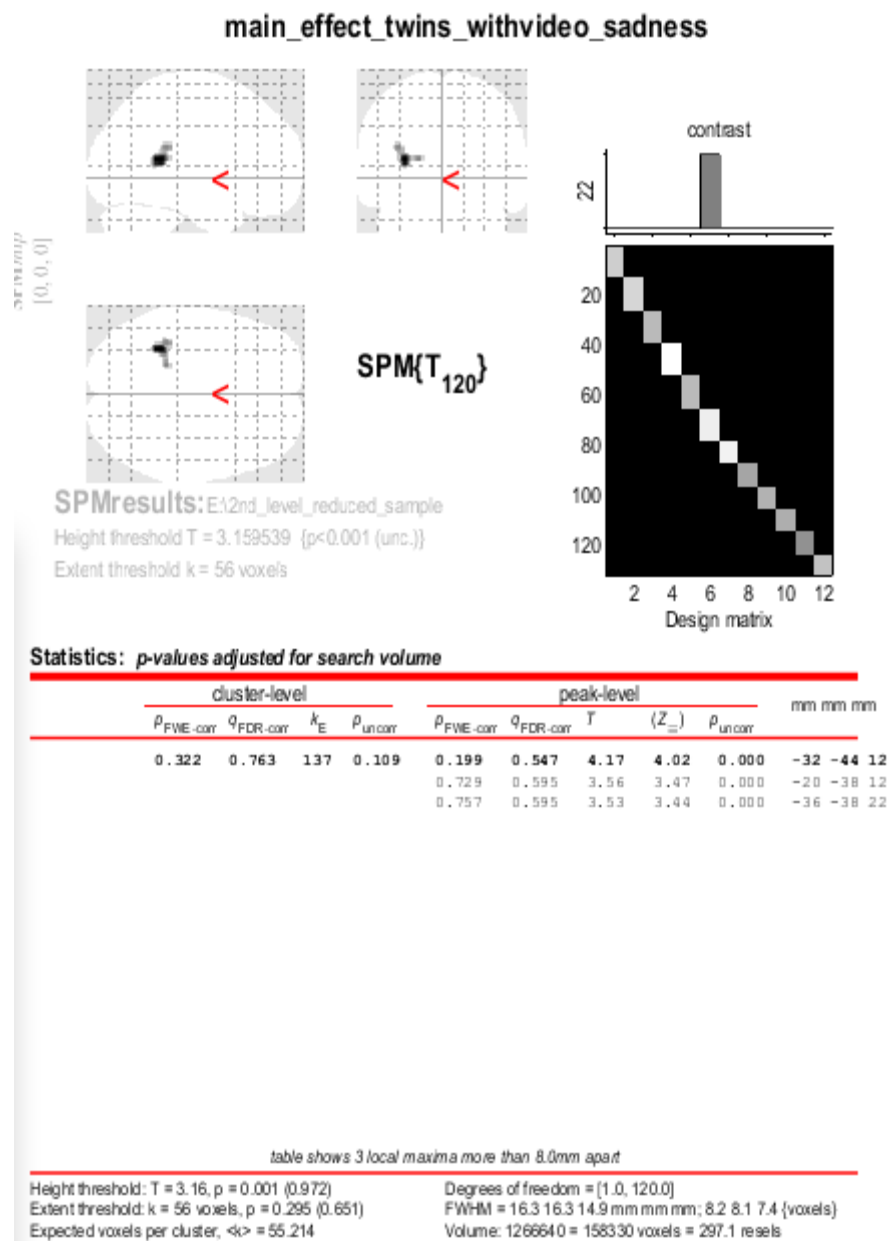
5. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα του φόβου.



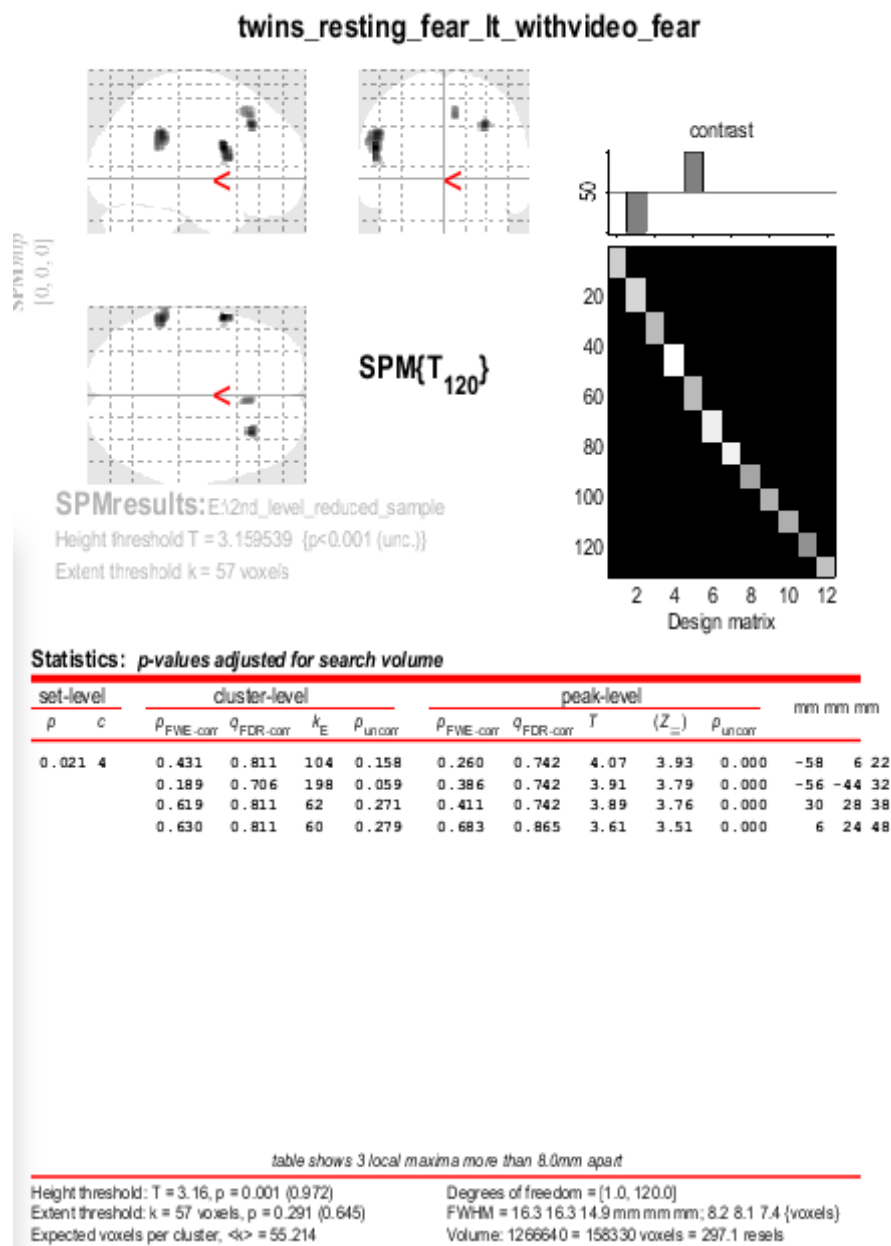
6. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα της ευτυχίας.



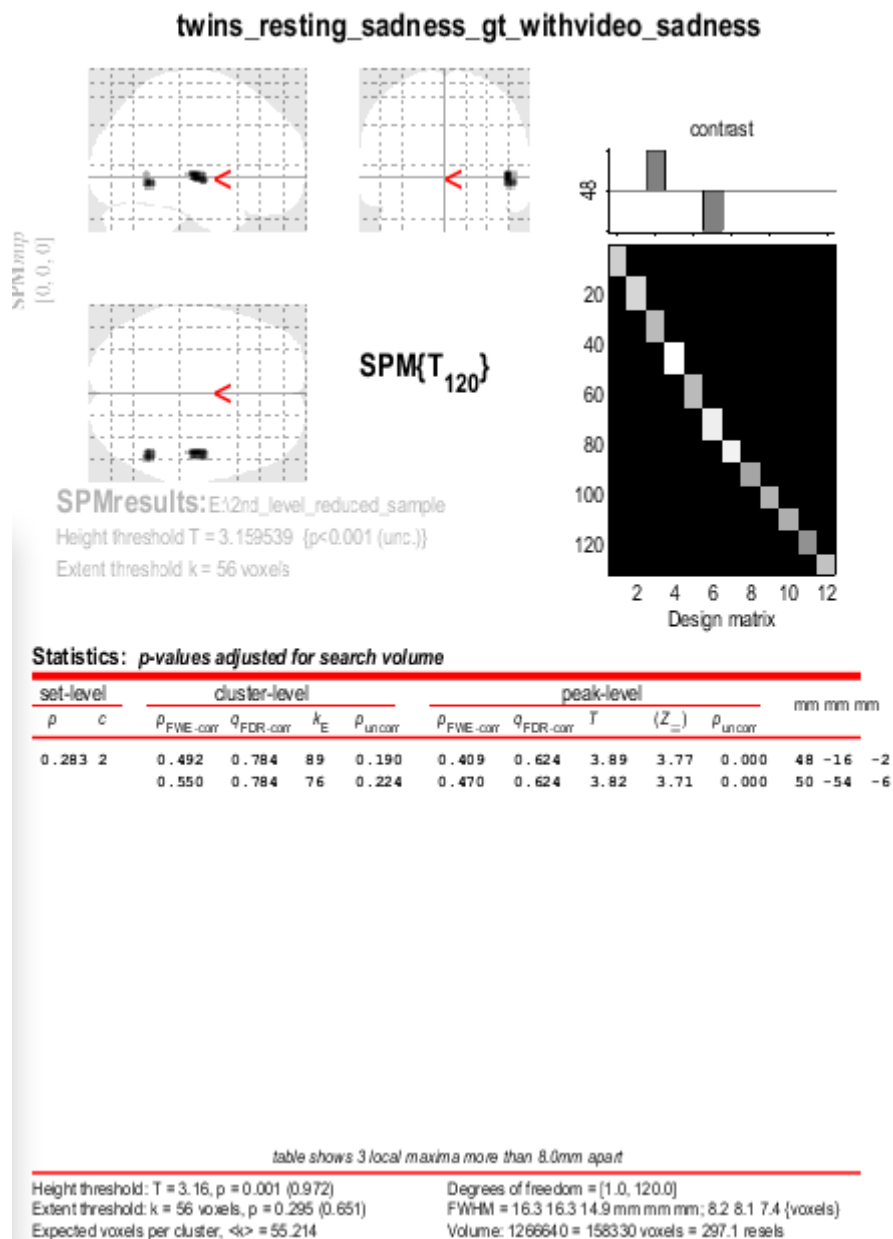
7. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του video από το ένα μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός του μαγνητικού τομογράφου και διερευνήθηκαν οι κοινές ενεργοποιήσεις της ομάδας των διδύμων για το συναίσθημα της λύπης.



8. Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα του φόβου είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια της ηρεμίας.



9. Η σύγκριση αφορά στην ομάδα των διδύμων και ελέγχεται κατά πόσο το συναίσθημα της λύπης είναι ισχυρότερο κατά διάρκεια της ηρεμίας έναντι του ίδιου συναισθήματος κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του video από το μέλος του ζευγαριού που βρίσκεται εκτός μαγνητικού τομογράφου.



Control_gt_twins_resting_happiness			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
70	3.8154	3.4352	Frontal_Sup_R

Maineffect_twins_resting_sadness			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
263	4.1257	3.4162	Temporal_Sup_L
224	4.0888	3.4706	Temporal_Sup_R
69	3.7101	3.3404	Postcentral_R
91	3.3767	3.6479	Temporal_Inf_R

Maineffect_twins_withvideo_fear			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
92	3.9276	3.4656	Frontal_Inf_Oper_L
38	3.9276	3.4357	Precentral_L
10	3.9276	3.3317	Rolandic_Oper_L

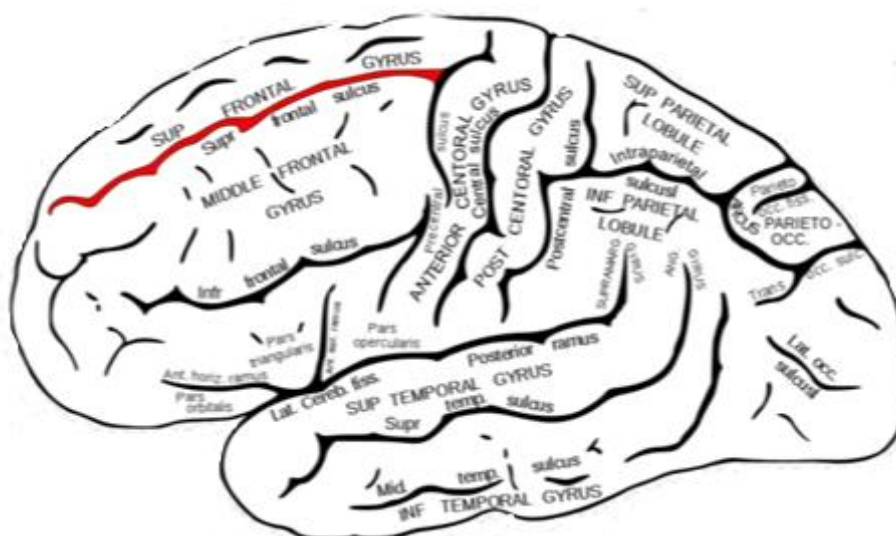
Maineffect_twins_withvideo_happiness			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
460	4.4039	3.8154	Frontal_Sup_Medial_L
223	4.4039	3.4919	Frontal_Sup_L
94	4.4039	3.4919	Frontal_Sup_Medial_R
36	4.4039	3.3960	Frontal_Sup_R
97	4.0224	3.5278	Frontal_Mid_L
50	4.0224	3.4231	Precentral_L
24	4.0224	3.4381	Frontal_Inf_Tri_L
21	4.0224	3.4514	Frontal_Inf_Oper_L
94	3.7723	3.4064	Frontal_Sup_Medial_L
29	3.7723	3.2736	Frontal_Med_Orb_L
83	3.7279	3.3935	Angular_L
75	3.5713	3.3201	Frontal_Sup_Medial_L
21	3.5713	3.3037	Cingulum_Ant_L

Maineffect_twins_withvideo_sadness			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
137	4.1722	3.4376	Rolandic_Oper_L

Twins_resting_fear_lt_withvideo_fear			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
62	4.0738	3.4847	Frontal_Inf_Oper_L
39	4.0738	3.5439	Precentral_L
166	3.9138	3.4658	SupraMarginal_L
21	3.9138	3.3197	Temporal_Sup_L
62	3.8867	3.4364	Frontal_Mid_R
35	3.6123	3.3202	Frontal_Sup_Medial_R
25	3.6123	3.3773	Supp_Motor_Area_R

Twins_resting_sadness_gt_withvideo_sadness			
Cluster size	Peak T	Mean T	Anatomical region
89	3.8890	3.4608	Temporal_Sup_R
54	3.8239	3.3914	Temporal_Inf_R
20	3.8239	3.2871	Temporal_Mid_R

Οι ανατομικές περιοχές του εγκεφάλου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Ανατομικές περιοχές εγκεφάλου

Χρησιμοποιώντας την μαγνητική τομογραφία, οι επιστήμονες βρήκαν ότι τα συναισθήματα επεξεργάζονται ταυτόχρονα απο πολλές διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου, επομένως δεν υπάρχει μόνο ένα μέρος στον εγκέφαλο που είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία ενός συναισθήματος. Αρκετές εγκεφαλικές περιοχές δουλεύουν ομαδικά και γι' αυτό λέμε ότι τα

συναισθήματα επεξεργάζονται απο ένα δίκτυο εγκεφαλικών περιοχών, που ονομάζεται δίκτυο επεξεργασίας συναισθημάτων. Οι περιοχές που ενεργοποιούνται με τα συναισθήματα είναι: η αμυγδαλή (amygdala), ο ιππόκαμπος (hippocampus), ο προμετωπιαίος φλοιός (prefrontal cortex), ο φλοιός του προσαγωγίου (cingulate cortex) καθώς και τα βασικά γάγγλια (basal ganglia). Όλες οι προαναφερθείσες περιοχές έχουν τη δική τους λειτουργία και δουλεύουν συνεργατικά προκειμένου να αναγνωρίσουν και να ελέγξουν ένα συναίσθημα.³⁸

Αποτελέσματα ερωτηματολογίων

Κατόπιν ανάλυσης των ερωτηματολογίων στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται τα αποτελέσματα για το ψυχομετρικό ερωτηματολόγιο TCI-140 που αξιολογεί επιμέρους συνιστώσες ιδιοσυγκρασίας και χαρακτήρα. Στα περισσότερα ζεύγη διδύμων, φαίνεται να υπάρχει διαφορά ως προς την ιδιοσυγκρασία και τον χαρακτήρα των αδερφών, σε αντίθεση με προηγούμενη μελέτη case-report σε ζεύγος ομοζυγωτικών διδύμων που πραγματοποιήθηκε από τους Karavasilis et³⁵ al το 2018.

**Παράθεση των αποτελεσμάτων για το ψυχομετρικό ερωτηματολόγιο TCI
ανά ζεύγος διδύμων**

TCI-140	Ζεύγος 1			Ζεύγος 2		
	A	B	Διαφορά (%)	A	B	Διαφορά (%)
Ιδιοσυγκρασία						
Αναζήτηση νέων εμπειριών	48,75	57,50	8,75	53,75	41,25	12,50
Αποφυγή βλάβης	77,50	61,25	16,25	46,25	88,75	42,50
Εξάρτηση από ανταμοιβή	71,25	77,50	6,25	55,00	41,25	13,75
Επιμονή	32,50	21,25	11,25	28,75	38,75	10,00
Χαρακτήρας						
Αυτό-προσδιορισμός	46,25	42,50	3,75	41,25	51,25	10,00
Συνεργατικότητα	53,75	70,00	16,25	40,00	70,00	30,00
Αυτό-υπέρβαση	11,25	21,25	10	36,25	20,00	16,25
TCI-140	Ζεύγος 3			Ζεύγος 4		
	A	B	Διαφορά (%)	A	B	Διαφορά (%)
Ιδιοσυγκρασία						
Αναζήτηση νέων εμπειριών	46,25	45,00	1,25	46,25	46,25	0,00
Αποφυγή βλάβης	66,25	65,00	1,25	17,50	53,75	36,25
Εξάρτηση από ανταμοιβή	63,75	66,25	2,50	75,00	60,00	15,00
Επιμονή	62,50	61,25	1,25	62,50	60,00	2,50
Χαρακτήρας						
Αυτό-προσδιορισμός	45,00	42,50	2,50	90,00	66,25	23,75
Συνεργατικότητα	57,50	63,75	6,25	77,50	71,25	6,25
Αυτό-υπέρβαση	43,75	31,25	12,50	20,00	28,75	8,75
TCI-140	Ζεύγος 5			Ζεύγος 6		
	A	B	Διαφορά (%)	A	B	Διαφορά (%)
Ιδιοσυγκρασία						
Αναζήτηση νέων εμπειριών	62,50	28,75	33,75	61,25	25,00	36,25
Αποφυγή βλάβης	28,75	76,25	47,50	61,25	38,75	22,50
Εξάρτηση από ανταμοιβή	36,25	42,50	6,25	76,25	58,75	17,50
Επιμονή	38,75	86,25	47,50	51,25	80,00	28,75
Χαρακτήρας						
Αυτό-προσδιορισμός	73,75	71,25	2,50	58,75	96,25	37,50
Συνεργατικότητα	41,25	67,50	26,25	60,00	80,00	20,00
Αυτό-υπέρβαση	17,50	32,50	15,00	41,25	25,00	16,25
TCI-140	Ζεύγος 7					
	A	B	Διαφορά (%)			
Ιδιοσυγκρασία						
Αναζήτηση νέων εμπειριών	51,25	41,25	10,00			
Αποφυγή βλάβης	61,25	73,75	12,50			
Εξάρτηση από ανταμοιβή	55,00	56,25	1,25			
Επιμονή	62,50	43,75	18,75			
Χαρακτήρας						
Αυτό-προσδιορισμός	57,50	51,25	6,25			
Συνεργατικότητα	63,75	77,50	13,75			
Αυτό-υπέρβαση	37,50	26,25	11,25			

Οι μέσες τιμές για κάθε διάσταση του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται ως ποσοστά μετά την επανακωδικοποίηση ενώ η διαφορά παρουσιάζεται ως απόλυτη τιμή. Με έντονη γραφή, παρατίθεται η διαφορά $> 10\%$ που ορίστηκε ως κριτήριο διαφοράς μεταξύ των διαστάσεων ιδιοσυγκρασίας και χαρακτήρα για τη σύγκριση του κάθε ζεύγους.

Αναφορικά με το ερωτηματολόγιο ασυνήθιστων εμπειριών ΕΕQ, τα αποτελέσματα παρατίθενται στον επόμενο πίνακα για κάθε ζεύγος διδύμων.

Παράθεση των αποτελεσμάτων για τηλεπαθητικού-τύπου εμπειρίες και εντυπωσιακές συμπτώσεις (ερωτηματολόγιο ΕΕQ) ανά ζεύγος διδύμων

ΕΕQ	Ζεύγος 1		Ζεύγος 2		Ζεύγος 3		Ζεύγος 4		Ζεύγος 5		Ζεύγος 6		Ζεύγος 7	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Τηλεπαθητικού τύπου εμπειρίες	4	2	3	3	3	0	0	4	4	4	4	5	3	0
Εντυπωσιακές συμπτώσεις	4	4	2	2	3	2	2	0	0	3	3	2	0	0

Παρατηρούμε ότι σε 3 από τα 7 ζεύγη διδύμων, δεν αναφέρεται τηλεπαθητικού-τύπου εμπειρία τουλάχιστον στο ένα μέλος του ζεύγους ενώ παρόμοια ευρήματα (4/7) προκύπτουν για τις εντυπωσιακές συμπτώσεις.

4.2 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα εντοπίζονται στις περιπτώσεις 5, 6, 7 και 8 περιοχές ενεργοποίησης στα ζεύγη διδύμων στην πειραματική διαδικασία κατά την οποία το άτομο Α ήταν στο μαγνήτη ενώ το άτομο Β παρακολουθούσε το βίντεο. Οι ενεργοποιήσεις παρουσιάζονται σε περιοχές του εγκεφάλου οι οποίες είναι υπεύθυνες για τα συναισθήματα.^{39,40} Επιπρόσθετα παρατηρούμε σημαντικές ενεργοποιήσεις στη φάση της ηρεμίας (resting) στις περιπτώσεις 1, 4 και 9, γεγονός που καταδεικνύει ότι πρόκειται για τυχαίες ενεργοποιήσεις ογκοστοιχείων (voxels), των οποίων το σήμα

μεταβάλλεται τυχαία σε συμφωνία με το θεωρητικό μας μοντέλο. Στις περιπτώσεις 2 και 3 λαμβάνουμε ενεργοποιήσεις μη αναμενόμενες, οι οποίες δεν αντιστοιχούν σε περιοχές του εγκεφάλου υπεύθυνες για συναισθήματα αλλά στη λευκή ουσία. Παρατηρούμε λοιπόν ότι έχουμε ένα σημαντικό αριθμό false positive αποτελεσμάτων κατά την fMRI, γεγονός που έχει απασχολήσει επανειλημμένα την βιβλιογραφία και θα το δούμε παρακάτω.

Από τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία λοιπόν δεν προκύπτει ένα ομόφωνο αποτέλεσμα, το οποίο να καταδεικνύει τη ταυτόχρονη ενεργοποίηση των εγκεφάλων δίδυμων αδερφών κατόπιν ερεθίσματος του ενός μόνο εκ των δύο εγκεφάλων.

Για τα συγκεκριμένα αποτελέσματα πιθανότερες αιτίες αποτελούν το γεγονός ότι μπορεί να μην υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στις ενεργοποιήσεις των εγκεφάλων δίδυμων ατόμων σε συνάρτηση με το γεγονός ότι το στατιστικό μας δείγμα είναι μικρό. Αναφερόμαστε σε 26 άτομα, 14 διδύμους (εφτά ζευγάρια) εκ των οποίων ο ένας εξαιρέθηκε λόγω κίνησης μέσα στον μαγνητικό τομογράφο και 12 άτομα που δεν είναι δίδυμοι (6 ζευγάρια control) εκ των οποίων εξαιρέθηκαν 3 λόγω κίνησης μέσα στο μαγνητικό τομογράφο. Επιπλέον αυτό το μικρό στατιστικό δείγμα περιλαμβάνει δίδυμα με διαφορετικές ιδιοσυγκρασίες, κάποιους που δεν έχουν βιώσει ποτέ κάποιου είδους τηλεπάθεια κι ένα σημαντικό αριθμό διζυγωτικών διδύμων.

Τέλος σαφώς σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το γεγονός ότι προσπαθούμε να καταγράψουμε ενεργοποιήσεις συναισθημάτων οι οποίες εν γένει είναι χαμηλής έντασης (πολύ ισχνές μεταβολές σήματος).

4.3 Συζήτηση

Με βάση τα αποτελέσματά μας καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι μπορεί να παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός false positive αποτελεσμάτων. Αυτά τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα της fMRI φαίνεται ότι έχουν απασχολήσει διεθνώς την επιστημονική κοινότητα και υπάρχουν αναφορές σε αυτά στην βιβλιογραφία, όπου και αναζητούνται οι αιτίες.

Σε όλες τις μελέτες που πραγματοποιούνται, όπως η δική μας, είναι σημαντικό να επιτευχθεί μία ευαίσθητη ισορροπία ανάμεσα στην εξαίρεση των

ψευδών θετικών (θεωρώντας ότι μια περιοχή ενεργοποιείται ενώ στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει) και των ψευδών αρνητικών (θεωρώντας ότι μια περιοχή είναι ανενεργή ενώ στην πραγματικότητα είναι ενεργοποιημένη). Προκειμένου να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή ακρίβεια αποτελεσμάτων θα πρέπει από τα αποτελέσματα μιας έρευνας να αποκλείσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα ψευδώς θετικά αποτελέσματα, αφού δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικά αποτελέσματα και να εντάξουμε όσο το δυνατόν περισσότερα ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα, αφού εκείνα αντιπροσωπεύουν πραγματικά αποτελέσματα, που όμως κινδυνεύουν με αποκλεισμό. Όσο περισσότερο προσπαθούμε να προστατευτούμε από το ένα είδος σφάλματος τόσο περισσότερο διογκώνουμε το άλλο. Σε επίπεδο voxel τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα ελέγχονται τυπικά με την επιλογή μιας αυθαίρετης τιμής p . Σε πειράματα το στατικό όριο $p=0.05$, το οποίο επιτρέπει ποσοστό 5% ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων, αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο και έγκυρο στατιστικό όριο. Στην περίπτωση όμως πειράματος με χρήση fMRI, που δοκιμάζονται ταυτόχρονα ίσως και περισσότερα από 100.000 voxels μια τέτοια επιλογή κρίνεται συνήθως ακατάλληλη. Μία τιμή $p=0.05$ θα μπορούσε να παρουσιάσει 5000 από τα 100.000 voxels ως ψευδώς ενεργοποιημένα. Μία προτεινόμενη τιμή για το p είναι $p=0.001$ ή ίσως και χαμηλότερη. Στη πειραματική μας διαδικασία η τιμή που έχει επιλεγεί είναι $p=0.001$. Το προαναφερθέν είναι το γνωστό πρόβλημα των πολλαπλών συγκρίσεων και επιδέχεται διάφορες επιδιορθωτικές στρατηγικές. Το ζήτημα αυτό ήρθε στο φως από τον Craig Bennett. Ο C. Bennett φέρνει στο φως το πρόβλημα των ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων, που πιθανώς προέκυψαν σε πολλά πρώιμα έγγραφα σχετικά με fMRI, στα οποία δεν πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες στατιστικές διορθώσεις για πολλαπλές συγκρίσεις, με τη διάσημη πλέον μελέτη του με τον νεκρό σολομό. Ο C. Bennett αγόρασε έναν νεκρό σολωμό, τον οποίο χρησιμοποίησε για να πραγματοποιήσει την εξής μελέτη: τοποθέτησε το σολομό εντός μαγνητικού τομογράφου και παρουσίαζε μπροστά του φωτογραφίες ανθρώπινων προσώπων. Οι εικόνες που συνέλεξε από την fMRI εξέταση δείχνουν ότι ανιχνεύονται ενεργοποιήσεις στον εγκέφαλο του σολομού όταν δεν πραγματοποιούνται οι κατάλληλες διορθώσεις για πολλαπλές συγκρίσεις. Δεδομένου ότι ο σολομός είναι ήδη

νεκρός αρκετές ώρες προτού γίνει η εξέταση αποδεικνύει ότι οι ενεργοποιήσεις που βρέθηκαν είναι false positive αποτελέσματα⁴¹.

Έπειτα από την ανάδειξη του προβλήματος των πολλαπλών συγκρίσεων αυτό το στατιστικό σφάλμα έχει πλέον κατασταλεί σημαντικά. Ένα άλλο όμως πρόβλημα αναδείχθηκε από τους A. Eklund, M. Andersson, C. Josephson, M. Johansson και H. Knutsson . Μέχρι τότε η ισχύς της ανάλυσης της λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας (fMRI) είχε αναφερθεί μόνο για καταστάσεις που προκαλούνταν κατόπιν ερεθίσματος. Οι εξελίξεις στην επιστήμη των υπολογιστών και στην ανταλλαγή δεδομένων κατέστησαν δυνατή την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων fMRI. Σε αυτή τη μελέτη ανέλυσαν 1484 σύνολα δεδομένων ανάπαυσης στο SPM8, για να εκτιμηθούν τα πραγματικά ποσοστά σφάλματος. Για ένα όριο σημαντικότητας 5%, σημαντική δραστηριότητα βρέθηκε στο 1%-70% των 1484 συνόλων δεδομένων ανάπαυσης, ανάλογα με το χρόνο επανάληψης και τις παραμέτρους. Αυτά τα αποτελέσματα δεν ακυρώνουν τις μελέτες που είχαν προηγηθεί και τα ευρήματα που αναφέρονται σε αυτή τη μελέτη δεν μπορούν να γενικευθούν στην παραμετρική ανάλυση fMRI γενικά αφού άλλα πακέτα λογισμικού μπορεί να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα⁴².

Το 2016 οι Eklund et al. επίσης ανέφεραν ότι αρκετές κοινώς χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ανάλυσης είχαν σαν αποτέλεσμα σημαντικό αριθμό ψευδών θετικών αποτελεσμάτων. Εδώ, χρησιμοποίησαν δεδομένα fMRI αναπνευστικής κατάστασης από 499 υγιείς ελέγχους για τη διενέργεια 3 εκατομμυρίων αναλύσεων ομάδων εργασίας. Χρησιμοποιώντας αυτά τα μηδενικά δεδομένα με διαφορετικά πειραματικά σχέδια, υπολόγισαν την επίπτωση σημαντικών αποτελεσμάτων. Θεωρητικά, θα πρέπει να βρεθούν 5% ψευδώς θετικά αποτελέσματα για ένα όριο σημαντικότητας 5%, αλλά αντιθέτως διαπίστωσαν ότι τα πιο συνηθισμένα πακέτα λογισμικού για ανάλυση fMRI (SPM, FSL, AFNI) μπορούν να οδηγήσουν σε ψευδώς θετικά ποσοστά μέχρι 70% ⁴³. Αυτά τα αποτελέσματα αμφισβητούν την εγκυρότητα ορισμένων μελετών fMRI και μπορεί να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην ερμηνεία των σημαντικών αποτελεσμάτων νευροαπεικόνισης, που μπορούν να είναι ιδιαίτερα ισχνά .

Ένας επιπλέον παράγοντας, στον οποίο μπορεί να οφείλονται false positive αποτελέσματα βρέθηκε το 2009 όταν οι Vul et al. επεσήμαναν ότι πάνω από

50 σημαντικές δημοσιεύσεις που αφορούν στην fMRI και σχετίζονται με ενεργοποιήσεις σχετικές με τα συναισθήματα, την προσωπικότητα και τη γνωστική λειτουργία παρουσίασαν εξαιρετικά υψηλές τιμές συσχέτισης . Μετά από προσεκτική ανάλυση των πειραματικών μεθόδων αποδείχτηκε ότι πολλοί ερευνητές είχαν προεπιλεγμένες ομάδες voxels, οι οποίες εμφανίζονταν ως πιο δραστήριες και εν συνεχεία πραγματοποιούσαν την στατιστική ανάλυση αποκλειστικά σε αυτά τα voxels. Δεδομένου λοιπόν ότι τα προαναφερόμενα voxels δεν ήταν ουσιαστικά ανεξάρτητα, οι τιμές συσχετισμού που υπολογίζονταν ήτανε ψευδώς αυξημένες. Το σφάλμα λοιπόν στην μεθοδολογία έχει μια μορφή κυκλικής συλλογιστικής, η οποία μπορεί και τώρα να βρεθεί σε μια μελέτη fMRI ⁴⁴.

4.4 Τελικά Συμπεράσματα

Πραγματοποιήσαμε ένα πείραμα με τη χρήση fMRI και δεν καταφέραμε να καταλήξουμε σε ένα σαφές συμπέρασμα για τη συσχέτιση ταυτόχρονων ενεργοποιήσεων στους εγκεφάλους διδύμων αδερφών κατόπιν ερεθίσματος στον έναν μόνο από τους δύο. Είναι όμως σημαντικό να λάβουμε υπόψη τα εξής: είναι πιθανό να υπάρχουν ογκοστοιχεία (voxels), τα οποία δεν καταφέρνουν να φτάσουν το στατιστικό όριο σημαντικότητας χωρίς όμως αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι είναι ανενεργά καθώς οι περισσότερες μελέτες fMRI τροφοδοτούνται μόνο με χαμηλά ποσοστά ψευδών αρνητικών επιπέδων. Η στατιστική σημασία δε συνεπάγεται και αιτιώδη συνάφεια. Επίσης η ανάλυση που πραγματοποιήσαμε και διενεργείται στην περίπτωση συγκεντρωτικών δεδομένων από πολλαπλά άτομα και θέματα δημιουργεί πολλές πιθανές στατιστικές παγίδες και πάσχει από ανακριβή ανατομικό εντοπισμό. Επιπρόσθετα γνωρίζουμε ότι ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλογή κατάλληλου στατιστικού ορίου. Τα πολύ υψηλά και αυστηρά όρια τείνουν να παρουσιάζουν την ενεργοποίηση σε λίγες μόνο κυρίαρχες περιοχές και να ευνοούν τα αισθητικοκινητικά παραδείγματα, που έχουν εγγενώς ισχυρότερες απαντήσεις απ' ό,τι τα γνωστικά ή τα συναισθηματικά, ενώ τα πολύ χαμηλά όρια επιτρέπουν πάρα πολλές ψευδώς θετικές ενδείξεις. Είναι λοιπόν κρίσιμη η επιλογή του κατάλληλου στατιστικού

ορίου, ειδικότερα σε μελέτες όπως είναι η δική μας, όπου οι ενεργοποιήσεις που αναμένονται είναι λογικό να είναι ιδιαίτερα μικρές, αφού πρόκειται για καταγραφή συναισθημάτων δίχως άμεσο ερέθισμα. Ακόμη δε θα πρέπει να αγνοήσουμε το γεγονός ότι για τα ζευγάρια διδύμων που προσφέρθηκαν εθελοντικά να συμμετέχουν στη μελέτη, σύμφωνα με τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν, κάποια άτομα δεν έχουν βιώσει τηλεπάθεια ή εξαιρετικές συμπτώσεις με αδερφό/-η κι επιπλέον παρουσιάζουν σημαντικά διαφορετικό προφίλ ιδιοσυγκρασίας ή και χαρακτήρα.

Τέλος είναι σημαντικό το γεγονός ότι υπάρχουν περιορισμοί στη μελέτη μας κι αυτοί είναι το μικρό στατιστικό δείγμα που έχουμε χρησιμοποιήσει καθώς και το γεγονός ότι τα πεισσότερα ζευγάρια διδύμων που συμμετείχαν στη έρευνα είναι διζυγωτικά .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήγαμε δεν αποδεικνύουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των εγκεφάλων διδύμων αδερφών αλλά ταυτόχρονα δε την αποκλείουν. Συνεπώς προτείνεται η περεταίρω διερεύνηση του θέματος σε μελλοντικές μελέτες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Walker EH. The Physics of Consciousness. New York: Basic Books; 2000.
2. Roll WG, Williams BJ. Quantum theory, neurobiology, and parapsychology. In: Krippner S, Friedman H (eds). *Mysterious Minds: the Neurobiology of Psychics, Mediums and Other Extraordinary People*. Santa Barbara: Praeger; 2010.
3. Jensen C, Parker A. Entangled in the Womb? A pilot study on the possible physiological connectedness between identical twins with different embryonic backgrounds. *EXPLORE: The journal of Science and Healing* 2012; 8(6): 339-347.
4. Venkatasubramanian G, Jayakumar PN, Nagendra HR, Nagaraja D, Deeptha R, Gangadhar BN. Investigating paranormal phenomena: Functional brain imaging of telepathy. *International Journal of Yoga* 2008; 1(2): 66-71.
5. Einstein A, Podolsky B, Rosen N; Podolsky; Rosen (1935). *"Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? WRONG PDF"(PDF)*. *Phys. Rev.* 47 (10): 777–780.
6. Schrödinger E (1935). *"Discussion of probability relations between separated systems"*. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 31 (4): 555–563.
7. Schrödinger E (1936). *"Probability relations between separated systems"*. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 32 (3): 446–452.

8. Physicist John Bell depicts the Einstein camp in this debate in his article entitled "Bertlmann's socks and the nature of reality", p. 143 of *Speakable and unspeakable in quantum mechanics* Bell, J. S. (1987)

9. Kocher, CA; Commins, ED (1967). "Polarization Correlation of Photons Emitted in an Atomic Cascade". *Physical Review Letters*. 18(15): 575–577.

10. Carl A. Kocher, Ph.D. Thesis (University of California at Berkeley, 1967). *Polarization Correlation of Photons Emitted in an Atomic Cascade*

11. Kocher, CA (1971). "Time correlations in the detection of successively emitted photons". *Annals of Physics*. 65 (1): 1–18.

12. Kwiat, PG; Mattle, K; Weinfurter, H; Zeilinger, A; Sergienko, AV; Shih, Y (1995). "New High-Intensity Source of Polarization-Entangled Photon Pairs". *Physical Review Letters*. 75 (24): 4337–4341.

13. Zhao, Z; Chen, YA; Zhang, AN; Yang, T; Briegel, HJ; Pan, JW (July 2004). "Experimental demonstration of five-photon entanglement and open-destination teleportation". *Nature*. 430 (6995): 54–58.

14. Lu, Chao-Yang (2007). "Experimental entanglement of six photons in graph states". *Nature Physics*. 3 (2): 91–95.

15. Yao, Xing-Can (2012). "Observation of eight-photon entanglement". *Nature Photonics*. 6 (4): 225–228.

16. J. A. Formaggio, D. I. Kaiser, M. M. Murskyj, and T. E. Weiss (2016), "Violation of the Leggett-Garg inequality in neutrino oscillations". *Phys. Rev. Lett.* Accepted 23 June 2016.

17. Hensen, B.; et al. (21 October 2015). "Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres". *Nature*. 526(7575): 682–686.

18. Markoff, Jack (21 October 2015). "Sorry, Einstein. Quantum Study Suggests 'Spooky Action' Is Real". *The New York Times*. Retrieved 21 October 2015.

19. Arndt, M; Nairz, O; Vos-Andreae, J; Keller, C; van der Zouw, G; Zeilinger, A (14 October 1999). "Wave-particle duality of C_{60} molecules". *Nature*. 401 (6754): 680–682.

20. Olaf Nairz, Markus Arndt, and Anton Zeilinger, "Quantum interference experiments with large molecules", *American Journal of Physics*, 71 (April 2003) 319–325.

21. University of Glasgow (13 July 2019). "Scientists unveil the first-ever image of quantum entanglement". *Phys.org*. Retrieved 13 July 2019.

22. Θωμάς Γ. Μαρής "Γενική Εισαγωγή Στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού", Αθήνα 2017

23. Ray H. Hasemi, William G. Bradley Jr, Christofer J. Lisanti "MRI :The Basics", 2010

24. C. Westbrook, C. K. Roth and J. Talbot, *MRI in Practice* (Fourth Edition), Blackwell Science, 2011.
25. "Magnetic Resonance, a critical peer-reviewed introduction; functional MRI". *European Magnetic Resonance Forum*. Retrieved 17 November 2014.
26. Huettel, S. A.; Song, A. W.; McCarthy, G. (2009), *Functional Magnetic Resonance Imaging* (2 ed.), Massachusetts: Sinauer
27. Logothetis, N. K.; Pauls, Jon; Auguth, M.; Trinath, T.; Oeltermann, A. (July 2001). "A neurophysiological investigation of the basis of the BOLD signal in fMRI". *Nature*. 412(6843): 150–157.
28. Richerd S. Snell "Κλινική Ανατομική", 2009
29. John T. Hansen – David R. Lambert "Βασική Κλινική Ανατομία", 2011
30. The Geneva Affective PicturE Database (GAPED): A 730 picture database for emotion induction

<https://www.unige.ch/cisa/research/materials-and-online-research/research-material/>
31. Cloninger CR. The Temperament and Character Inventory—Revised. St. Louis, MO: Center for Psychobiology of Personality, Washington University; 1999.

32. Fountoulakis KN, Rozsa S, Siamouli M, Moutou K, Pantoula E, Cloninger CR. Standardization and normative data of the Greek version of the temperament and character inventory (TCI). *Ann Gen Psychiatry*. 2015 Sep 22;14:28
33. Brusewitz, G., Cherkas, L., Harris, J., & Parker, A. (2013). Exceptional experiences amongst twins. *Journal of the Society for Psychical Research*, 77(913[4])[4], 220–235.
34. Dodge Y. *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*, OUP2003
35. Efstratios Karavasilis, Foteini Christidi, Kalliopi Platoni, Panagiotis Ferentinos, Nikolaos L. Kelekis, Efstathios P. Efstathopoulos “FUNCTIONAL MRI STUDY TO EXAMINE POSSIBLE EMOTIONAL CONNECTEDNESS IN IDENTICAL TWINS: A CASE STUDY” , 2017
36. John Ashburner Gareth Barnes Chun-Chuan Chen Jean Daunizeau Guillaume Flandin Karl Friston Amirhossein Jafarian Stefan Kiebel James Kilner Vladimir Litvak Rosalyn Moran Will Penny Adeel Razi Klaas Stephan Sungho Tak Peter Zeidman Darren Gitelman Rik Henson Chloe Hutton Volkmar Glauche Jérémie Mattout Christophe Phillips “ SPM 12 Manual” , 2013
37. Erno Hermans “SPM 12 STARTER’S GUIDE” , 2016
38. Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., and Liberzon, I. 2002. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage* 16:331–48
39. Simeng Gu, Fushun Wang, Caiyun Cao, Erxi Wu, Yi-Yuan Tang and Jason H. Huang “An Integrative Way for Studying Neural Basis of Basic Emotions With fMRI”, June 2019

- 40.K. Luan Phan, Tor Wager, Stephan F. Taylor, Israel Liberzon. *Department of Psychiatry and Department of Psychology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109 and Psychiatry Service, Ann Arbor VAMC, Ann Arbor, Michigan 48105* “Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI” , November 2001
- 41.Bennett CM, Baird AA, Miller MB, Wolford GL. Neural correlates of interspecies perspective taking in the post-mortem Atlantic salmon: an argument for proper multiple comparisons correction. *J Serendipitous Unexpected Results*, 2009
- 42.A..Eklund, M. Andersson, C. Josephson, M. Johansson, H. Knutsson “Does parametric fMRI analysis with SPM yield valid results?—An empirical study of 1484 rest datasets” , 2012
- 43.Anders Eklund, Thomas E. Nichols, and Hans Knutsson “Cluster failure: Why fMRI inferences for spatial extent have inflated false-positive rates” , 2016
- 44.Vul E., Harris C., Winkielman P., Pashler H. “Puzzlingly high correlations in fMRI studies of emotion, personality, and social cognition” , 2009