

Τεχνικές μελέτης της εγκεφαλικής λειτουργίας

Ψυχογλωσσολογία-
Νευρογλωσσολογία
ΜΑΘΗΜΑ 9
Σπυριδούλα
Βαρλοκώστα

Προβλήματα συμπεριφορικής έρευνας

Η έρευνα για τη σχέση της γλώσσας με τον εγκέφαλο είχε για πολλά χρόνια περισσότερο συμπεριφορικό χαρακτήρα.

Στην έρευνα για την αφασία τα ερευνητικά δεδομένα προέρχονταν από δοκιμασίες κρίσης γραμματικότητας, συμπλήρωσης πρότασης, αντιστοίχισης εικόνας-πρότασης ή καταγραφή παραγωγών (narratives) των ατόμων με αφασία, οι οποίες έπειτα συσχετίζονταν με τη θέση της εγκεφαλικής αλλοίωσης.

Τέτοιου τύπου έρευνες προσφέρουν σημαντικά αποτελέσματα, αλλά πάσχουν από μία σοβαρή αδυναμία. Όταν εξετάζουμε ένα γλωσσικό φαινόμενο σε σχέση με μία εγκεφαλική αλλοίωση που προκαλεί προβλήματα σε αυτό το φαινόμενο, τότε δεν μπορούμε να είμαστε απολύτως σίγουροι ότι η αλλοίωση είναι υπεύθυνη για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Αλλοίωση σε ένα σημείο του εγκεφάλου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα και στη λειτουργία των περιοχών με τις οποίες επικοινωνεί και άρα δεν υπάρχει ένα προς ένα αντιστοιχία μεταξύ της θέσης της αλλοίωσης και των συμπτωμάτων της στη συμπεριφορά.

Τεχνικές μελέτης της εγκεφαλικής λειτουργίας

- Μη παρεμβατικές τεχνικές με τις οποίες μπορούμε να μελετήσουμε την εγκεφαλική δραστηριότητα ενώ ο εγκέφαλος είναι σε λειτουργία κι επομένως να κατανοήσουμε καλύτερα τη δομή και τη λειτουργία του.
- Διαφοροποιούνται ως προς την ακρίβεια με την οποία εντοπίζουν τις 'ενεργές' περιοχές του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια ενός γνωστικού έργου και ως προς την ακριβή χρονική σειρά της ενεργοποίησης.
 - Τεχνικές που παρέχουν πληροφορίες σε επίπεδο νευρώνα (ηλεκτροφυσιολογικές).
 - Τεχνικές που παρέχουν πληροφορίες σε επίπεδο εγκεφαλικών περιοχών (νευροαπεικονιστικές).
 - Τεχνικές που πληροφορούν για την εγκεφαλική δραστηριότητα με ακρίβεια χιλιοστού του δευτερολέπτου.
 - Τεχνικές που δίνουν ενδείξεις σε περιόδους λεπτών ή ακόμα και ωρών.

Τεχνικές μελέτης της εγκεφαλικής λειτουργίας

- **Ηλεκτροφυσιολογικές (ERPs, MEG)**
 - Μελετούν άμεσα τη νευρωνική δραστηριότητα.
 - Βασίζονται στην παρατήρηση ότι μερικές ομάδες νευρώνων λειτουργούν ως ηλεκτρικά δίπολα.
 - Τεχνικές που πληροφορούν για την εγκεφαλική δραστηριότητα με ακρίβεια χιλιοστού του δευτερολέπτου.
- Τεχνικές που παρέχουν πληροφορίες σε επίπεδο νευρώνα

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα/Προκλητά δυναμικά Electroencephalography/Event Related Potentials – ERPs

- Χρησιμοποιείται ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος (συσκευή που καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου μέσω ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο κρανίο) για την καταγραφή της δραστηριότητας που συμβαίνει στον εγκέφαλο ως αντίδραση σε ένα ερέθισμα.
- Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε ανθρώπους το πρώτο τέταρτο του 20^{ου} αι. (Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα – EEG).



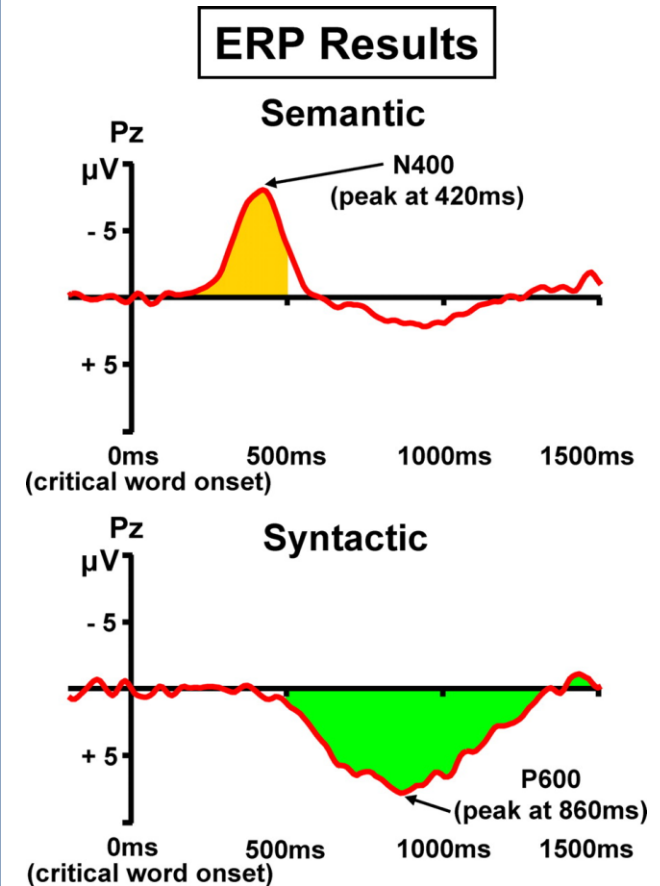
Προκλητά δυναμικά Event Related Potentials – ERPs

- Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα μπορεί να εντοπίσει διαφορές στο ηλεκτρικό φορτίο που συμβαίνουν εντός ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου και το αποτέλεσμα της μέτρησης ονομάζεται **προκλητό δυναμικό** (event related potential).
- Πρόκειται για αποκλίσεις από την κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή ως τεχνική δεν μετράει απόλυτες τιμές, αλλά τη διαφορά που υπάρχει ανά πάσα στιγμή από τον μέσο όρο φορτίου σε μία περιοχή σε κατάσταση ηρεμίας.



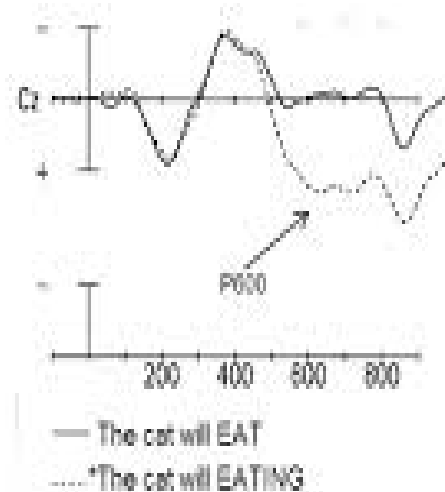
Προκλητά δυναμικά – Event Related Potentials – ERPs

- Μετρώνται οι αποκλίσεις από τη γραμμή ηρεμίας, οι οποίες σχετίζονται με την εκτέλεση κάποιας γλωσσικής / γνωστικής λειτουργίας. Η απόκλιση που μπορεί να παρατηρηθεί μπορεί να είναι είτε αρνητική είτε θετική και σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή, έναντι της οριζόντιας γραμμής που δηλώνει τη γραμμή ηρεμίας.
- Η εμφάνιση της απόκλισης ποικίλει στον χρόνο (msec.) που εμφανίζεται.

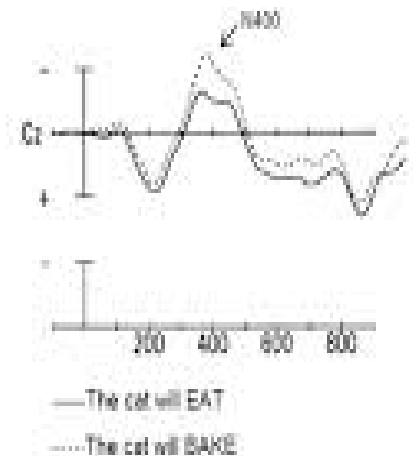


Προκλητά δυναμικά — Event Related Potentials — ERPs

P600 – Index of syntactic processing



N400 – Index of semantic processing



Προκλητά δυναμικά – Event Related Potentials – ERPs

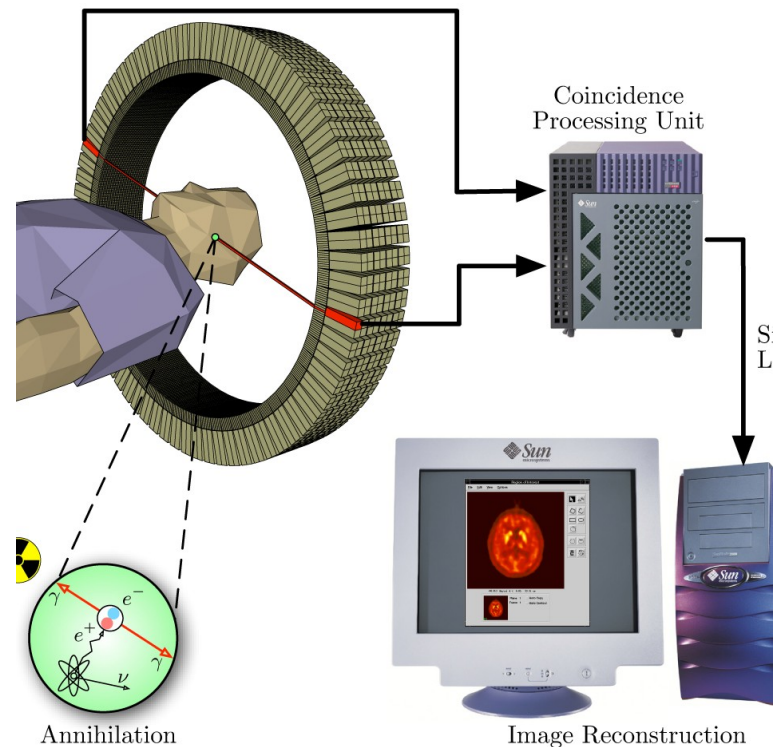
- Η μέθοδος δεν μπορεί να καταγράψει την αντίδραση ενός μεμονωμένου νευρώνα αλλά εντοπίζει τις απειροελάχιστες εκείνες αλλαγές της ηλεκτρικής δραστηριότητας που συμβαίνουν σε πολύ σύντομες χρονικές περιόδους.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβή εντοπισμό της περιοχής του εγκεφάλου που παρουσιάζει τη δραστηριότητα αυτή.
- Μέθοδος πολύ ευαίσθητη στην κίνηση με αποτέλεσμα συχνά να υπάρχει ενεργοποίηση που δεν σχετίζεται με αυτό που εξετάζεται εξαιτίας κάποιας κίνησης του συμμετέχοντα. Για τον λόγο αυτό απαιτείται εξέταση σε πάρα πολλά ερεθίσματα ίδιου τύπου.

Τεχνικές μελέτης της εγκεφαλικής λειτουργίας

- Νευροαπεικονιστικές - Αιμοδυναμικές (PET, MRI, fMRI)
 - Στηρίζονται στην παρατήρηση ότι οι τομείς του εγκεφάλου που συμμετέχουν σε μια συγκεκριμένη εγκεφαλική λειτουργία ενεργοποιούνται κατά την επεξεργασία παρουσιάζοντας υψηλότερα ποσοστά αιμάτωσης σε σχέση με ανενεργές νευρωνικές συστάδες.
 - Μπορούν να απεικονίζουν τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου και μας επιτρέπουν να παρατηρήσουμε σε ποια περιοχή υπάρχει περισσότερη ή λιγότερη ενεργοποίηση σε μία χρονική στιγμή.
 - Σε αντίθεση με τις ηλεκτροφυσιολογικές μεθόδους δεν είναι τόσο αποτελεσματικές ως προς τον παράγοντα του χρόνου.

Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων – Positron Emission Tomography – PET

- Υψηλής ευκρίνειας απεικόνιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας.
- Χορηγείται ένεση γλυκόζης ή άλλης χημικής ουσίας με ένα ραδιενεργό μόριο (radionuclide or radioisotope) και μετράται η ροή του αίματος στον εγκέφαλο.



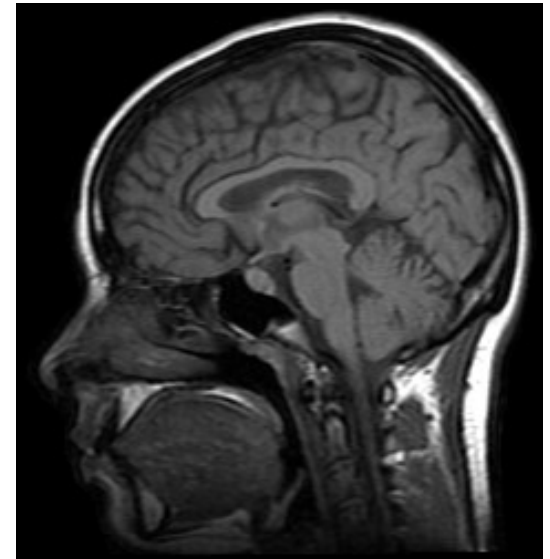
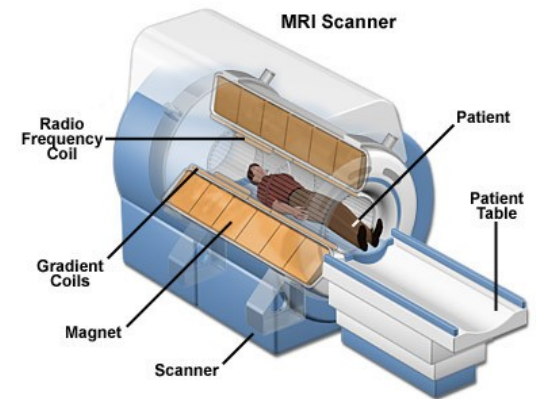
Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων – Positron Emission Tomography – PET

- Η διάσπαση του ραδιενεργού μορίου έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ενός ποζιτρονίου (αντίθετο στοιχείο του ηλεκτρονίου). Τα ποζιτρόνια συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια και η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή δύο ακτίνων γάμμα, που καταγράφονται από ομάδα ανιχνευτών που περιβάλλουν το κεφάλι του εξεταζόμενου.
- Καθώς η γλυκόζη κατανέμεται στις πιο δραστήριες περιοχές του εγκεφάλου, ο ερευνητής είναι σε θέση να εξακριβώσει τις περιοχές εκείνες που δραστηριοποιούνται στη διάρκεια ενός γνωστικού έργου.
- Χρειάζονται τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα για να παράγει δεδομένα, επομένως δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής.
- Υπάρχει ένα ανώτατο όριο στις σαρώσεις που επιτρέπεται να ληφθούν ανά άτομο λόγω της εκπομπής ραδιενεργού ακτινοβολίας. Επομένως, είναι απαραίτητη η ομαδοποίηση δεδομένων από πολλούς συμμετέχοντες για να υπάρχει πλήρης εικόνα για το νοητικό έργο.

Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού – Magnetic Resonance Imaging - MRI

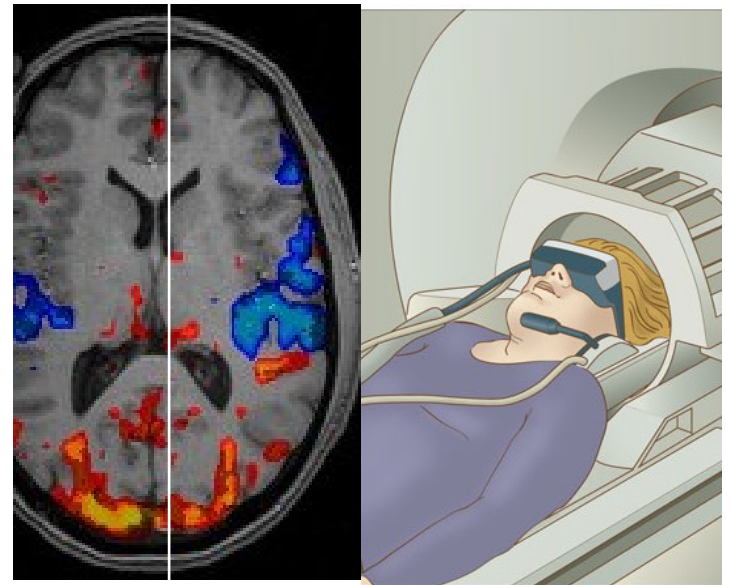
Μαγνητική τομογραφία:

- Παρέχει υψηλής ευκρίνειας απεικονίσεις του εγκεφάλου χωρίς έκθεση σε ακτινοβολία.
- Μελετά το επίπεδο οξυγόνωσης του αίματος (Blood Oxygenation Level).
- Βασική αρχή: το αίμα που παροχετεύεται από μια νευρωνική συστάδα είναι πιο πλούσια οξυγονωμένο όταν η συστάδα είναι σχετικά ενεργή σε σύγκριση με μια μη ενεργή συστάδα.
- Αργή (διάρκεια 15 λεπτά), ως εκ τούτου, απεικονίζει στατικές δομές μόνο.



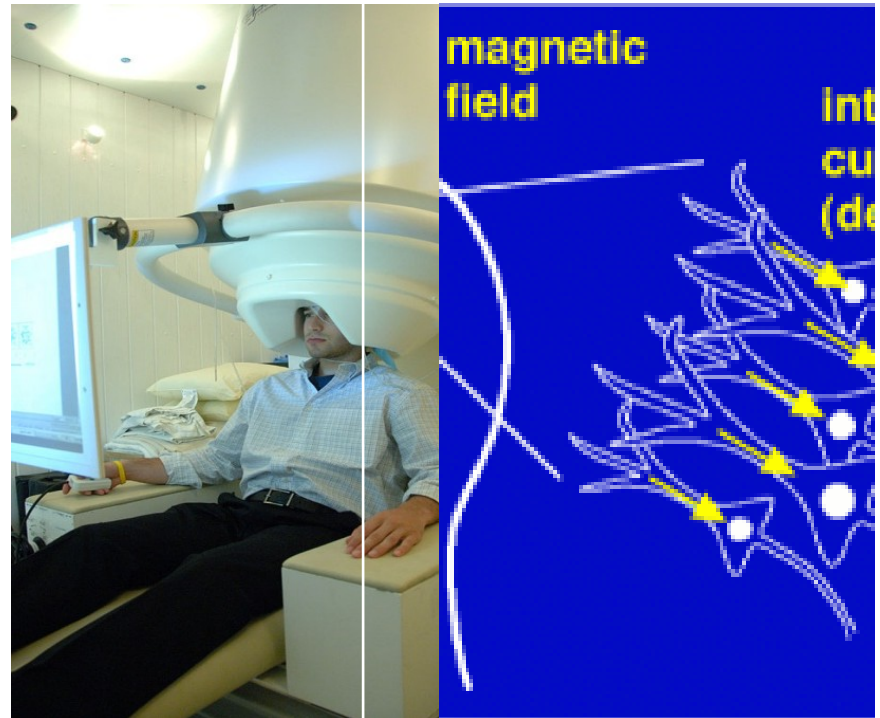
Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού – functional Magnetic Resonance Imaging - fMRI

- Επιτρέπει την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας που συμβαίνει σε σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα (περίπου μισό δευτερόλεπτο).
- Δίνει πολύ καλή χωρική ανάλυση (δηλ. ο ερευνητής μπορεί να εντοπίσει με μεγάλη ακρίβεια το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η ενεργοποίηση).
- Μειονεκτεί ως προς τη χρονική ανάλυση της ενεργοποίησης μια και αυτή δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς. Αν ένας ερευνητής χρησιμοποιούσε τη μέθοδο για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας καθώς διαβάζουμε και εκφωνούμε μια λέξη, θα διαπίστωνε ότι καταγράφεται ταυτόχρονη εγκεφαλική δραστηριότητα και στην οπτική και στην κινητική περιοχή του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προσδιοριστεί ποιο έργο συμβαίνει πρώτο και ποιο δεύτερο (Buckner & Peterson 1998).
- Συνδυασμός fMRI και EEG → συνδυασμός πλεονεκτημάτων και των δύο μεθόδων (καλύτερη επίτευξη χωρικής και χρονικής ανάλυσης)



Μαγνητική εγκεφαλογραφία – Magneto-encephalography – MEG

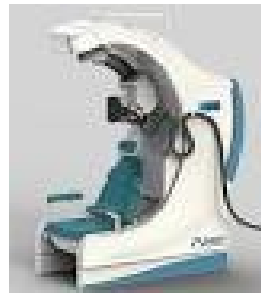
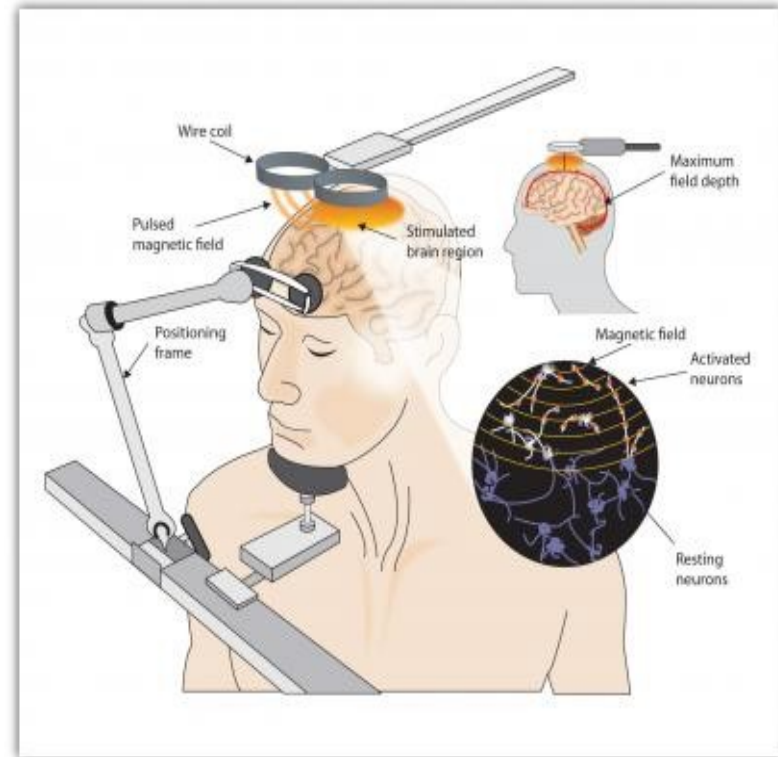
- Επιφανειακή καταγραφή της μαγνητικής ροής που προέρχεται από ενδοκυτταρικά ηλεκτρικά ρεύματα σε ενεργοποιημένες στήλες νευρικών κυττάρων.
- Ακριβής υπολογισμός της θέσης των στηλών σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού και προβολή σε ανατομικές (αξονικές ή μαγνητικές) τομογραφικές απεικονίσεις που καθιστά δυνατή την αναγνώριση των ενεργοποιημένων εγκεφαλικών περιοχών.
- Δίνει καλή χωρική και χρονική ανάλυση του σήματος, δεν είναι τόσο θορυβώδης όσο η MRI και περιορίζει με κάποιο τρόπο την κίνηση καθώς το κεφάλι του συμμετέχοντα προσαρμόζεται σε έναν ειδικό χώρο.



Διακρανιακή Μαγνητική Διέγερση – Transcranial Magnetic Stimulation – TMS

Σχετικά νέα τεχνική που επιτρέπει στους ερευνητές να ενισχύσουν ή να καταστείλουν τη δραστηριότητα σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου.

Μαγνητικό πηνίο τοποθετείται σε συγκεκριμένη περιοχή της κεφαλής του συμμετέχοντα, το οποίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που διαπερνά το κρανίο σε βάθος δύο εκατοστών.

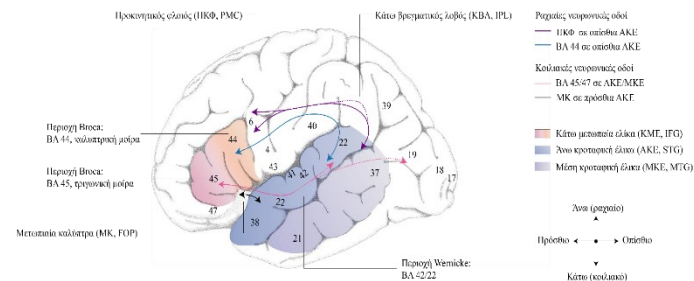


Διακρανιακή Μαγνητική Διέγερση – Transcranial Magnetic Stimulation – TMS

- Η μεταβολή του ρυθμού και της διάρκειας των μαγνητικών παλμών, αυξάνει ή μειώνει τη διέγερση των νευρώνων στην περιοχή.
- Ερευνητικά η τεχνική χρησιμοποιείται για την προσωρινή απενεργοποίηση περιοχών του εγκεφάλου, ώστε να μάθουμε περισσότερα για τη λειτουργία τους.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτη περιοχών που βρίσκονται βαθύτερα από δύο εκατοστά στον εγκέφαλο.
- Η επαναληπτική Διακρανιακή Μαγνητική Διέγερση (repetitive TMS – rTMS) χρησιμοποιείται ως λογοθεραπευτικό εργαλείο για την παρέμβαση σε διάφορες νευρολογικές και ψυχιατρικές νόσους (π.χ. εγκεφαλικά, Parkinson's, κατάθλιψη).

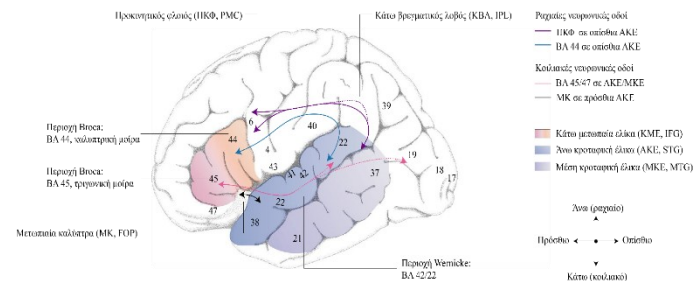
Νευροαπεικόνιση: Πόσες περιοχές του εγκεφάλου σχετίζονται με τη γλώσσα;

- Σήμερα γνωρίζουμε ότι και μια σειρά από άλλες περιοχές του εγκεφάλου έχουν ενεργό ρόλο στη γλωσσική επεξεργασία σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.
- Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως γειτονικές στις περιοχές Broca και Wernicke αλλά μπορεί να είναι και πιο απομακρυσμένες, όπως στην περίπτωση των βασικών γαγγλίων που είναι υποφλοιικές δομές.
- Η επεξεργασία ενός γλωσσικού μηνύματος ξεκινά στον ακουστικό φλοιό (περιοχές Brodmann 41 και 42) στον κροταφικό λοβό, όπου γίνεται η επεξεργασία του ακουστικού σήματος πριν τη γλωσσική επεξεργασία.
- Από τον ακουστικό φλοιό ξεκινούν δύο ξεχωριστές διαδρομές που ακολουθεί ταυτόχρονα η επεξεργασία της γλώσσας και καταλήγουν και οι δύο στον μετωπιαίο λοβό. Η μία διαδρομή συνεχίζει προς τα πίσω και πάνω στον κροταφικό λοβό, περνάει μέσα από τον βρεγματικό λοβό και καταλήγει στο κάτω τμήμα του μετωπιαίου λοβού. Η άλλη διαδρομή συνεχίζει προς τον πρόσθιο κροταφικό λοβό και καταλήγει απευθείας στο κάτω τμήμα του μετωπιαίου λοβού.



Νευροαπεικόνιση: Πόσες περιοχές του εγκεφάλου σχετίζονται με τη γλώσσα;

- Βασικά σημεία της πρώτης διαδρομής είναι το οπίσθιο τμήμα του κροταφικού λοβού (περιοχή Wernicke), το σημείο ένωσης του κροταφικού και του βρεγματικού λοβού, περιοχές του προκινητικού φλοιού (περιοχή 6) και τέλος η περιοχή 44 (περιοχή Broca).
- Στη δεύτερη διαδρομή συμμετέχουν τμήματα του πρόσθιου κροταφικού λοβού και καταλήγει στις περιοχές 45 (περιοχή Broca) και 47.
- Οι επιστήμονες θεωρούν ότι η δεύτερη διαδρομή εξυπηρετεί τη σύνδεση μορφής και σημασίας, ενώ η πρώτη σχετίζεται με τη σύνδεση των αισθητηριακών εισαγομένων με το κινητικό εξαγόμενο.
- Όμως, για πιο εξειδικευμένες γλωσσικές λειτουργίες, τα πράγματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα. Για παράδειγμα, η συντακτική επεξεργασία παραδοσιακά σχετίζεται με την περιοχή Broca. Όμως, σήμερα γνωρίζουμε ότι δεν γίνεται μόνο στην περιοχή Broca, αλλά και ο κροταφικός φλοιός έχει ενεργό ρόλο στη συντακτική επεξεργασία.



Νευροαπεικόνιση: Πόσες περιοχές του εγκεφάλου σχετίζονται με τη γλώσσα;

- Οι δυο διαδρομές ταυτίζονται με τα δύο βασικότερα ρεύματα που έχουν απομονωθεί κατά την νευροαπεικόνιση της γλωσσικής επεξεργασίας και είναι γνωστά ως το **ραχιαίο** και το **κοιλιακό ρεύμα** (dorsal και ventral streams).
- Υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για την επεξεργασία της γλώσσας σήμερα και η λειτουργία των δύο ρευμάτων ποικίλει από μοντέλο σε μοντέλο (βλ. ενδεικτικά Bornkessel-Schlesewsky & Schlesewsky 2013, Friederici 2011, Hagoort 2016 και Hickok & Poeppel 2007).
- Η **υπόθεση των δύο ρευμάτων** (dual stream hypothesis) διατυπώθηκε για την όραση, όπου προτάθηκε ότι η επεξεργασία της πληροφορίας ακολουθεί δύο μονοπάτια τα οποία επεξεργάζονται διαφορετικές πτυχές του οπτικού ερεθίσματος. Στη συνέχεια η υπόθεση αυτή μεταφέρθηκε στην ακοή.

