



Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας

Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών

Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών

Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία



Παιδαγωγικό τμήμα



Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών Προσεγγίσεων**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Απεικόνιση λειτουργίας ζωτικών κέντρων του εγκεφάλου με χρήση λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας εγκεφάλου (f MRI) και τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET) σε άτομα με μαθησιακές διαταραχές**

POST GRADUATE THESIS

**Imaging of vital brain centers using brain functional magnetic resonance imaging (f MRI) and positron emission tomography (PET) in persons with learning disabilities**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/ NAME OF STUDENT

**Χατζησάββας Γεώργιος**

Chatzisavvas Georgios

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/ NAME OF THE SUPERVISOR

**Κωνσταντή Ουρανία**

Konstanti Ourania

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021



Faculty of Health and Caring Professions  
Department of Biomedical Sciences  
Faculty of Administrative, Financial and Social Sciences  
Department of Early Childhood Education and Care



Department of Pedagogy



Inter-Institutional Post Graduate Program  
**Pedagogy through innovative Technologies and Biomedical approaches**

POST GRADUATE THESIS

**Imaging of vital brain centers using brain functional magnetic resonance imaging (f MRI)  
and positron emission tomography (PET) in persons with learning disabilities.**

Chatzisavvas Georgios

19101

giwrgosxatzi@hotmail.gr

FIRST SUPERVISOR

Konstanti Ourania

SECOND SUPERVISOR

Georgatzakou Chara

AIGALEO 2021



## **Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χατζησάββας Γεώργιος του Μενελάου, με αριθμό μητρώου 19101, φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών Προσεγγίσεων των Τμημάτων Βιοϊατρικών Επιστημών/ Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία/Παιδαγωγική τμήμα των Σχολών Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας/Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και της Ανώτατης Σχολής Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Χατζησάββας Γεώργιος

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Δρ. Κωνσταντή Ουρανία για τη βοήθεια που μου προσέφερε και τις χρήσιμες συμβουλές της, οι οποίες συνέβαλαν στην βελτίωση της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης, την καθηγήτρια Δρ. Γεωργατζάκου Χαρά, χάριν στην οποία ήμουν άρτια προετοιμασμένος για τη συγγραφή της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης, όλους τους καθηγητές του Π.Μ.Σ. που συνέβαλαν στην απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων για την επιτυχή φοίτησή μου και την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά κυρίως που ενίσχυσαν την αγάπη μου για τους τομείς των παιδαγωγικών, της τεχνολογίας και της βιοϊατρικής.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τον φίλο μου Μερτή Χαράλαμπο και την οικογένεια μου, διότι χωρίς εκείνους η απόκτηση ενός μεταπτυχιακού διπλώματος θα ήταν αδύνατη ή έστω, πολύ δύσκολο εγχείρημα. Τους ευχαριστώ που στάθηκαν δίπλα μου αυτά τα χρόνια και για την υπομονή που υπέδειξαν.

## Αφιέρωσεις

Αφιερώνω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία σε όλους  
όσους έχουν πάθος για την επιστήμη τους.

## Περίληψη

Στην παρούσα ανασκοπική μελέτη επιχειρείται να αναδειχθεί η συνεισφορά των μεθόδων ιατρικής απεικόνισης που χρησιμοποιούνται στις νευροεπιστημονικές έρευνες στο πεδίο των μαθησιακών διαταραχών. Πιο συγκεκριμένα, έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και στην τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) καθώς αυτές οι δύο τεχνικές είναι σε θέση να προσφέρουν λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου και να αναδείξουν τυχόν υπολειτουργία ή υπερλειτουργία συγκεκριμένων ανατομικών περιοχών, οι οποίες σχετίζονται με διάφορες μαθησιακές διαταραχές. Όπως είναι ευνόητο, αυτό αποτελεί γεγονός υψίστης σημασίας αφού αποκωδικοποιώντας τις δομές του εγκεφάλου και συσχετίζοντάς την λειτουργία τους με την εξέλιξη των μαθησιακών διαταραχών καθίσταται, ενδεχομένως, δυνατόν να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό – επεμβατικό επίπεδο, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με ιστορικό μαθησιακών διαταραχών.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με κριτική θεώρηση της βιβλιογραφίας επί του συγκεκριμένου θέματος και επί καθορισμένου συνόλου εργασιών επιστημονικής αρθρογραφίας και έρευνας από έγκυρες ηλεκτρονικές πηγές που δημοσιεύτηκαν την τελευταία 20ετία. Οι διάφορες τεχνικές αξιολόγησης των μελετώμενων πηγών συγκρίθηκαν με βάση τη μεθοδολογία τους, τα αποτελέσματα και τον σχολιασμό τους.

Η διπλωματική εργασία δομείται σε τέσσερα κεφάλαια το καθένα από τα οποία επιτελεί σημαντικό ρόλο καθώς προσφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες ούτως ώστε να γίνουν ευκόλως κατανοητά αυτά που αναλύονται στα επόμενα. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ανατομία και την φυσιολογία του εγκεφάλου ενώ γίνεται εκτενής αναφορά και στο κεντρικό νευρικό σύστημα εφόσον σε αυτό περιλαμβάνεται ο εγκέφαλος. Στο υποκεφάλαιο της ανατομίας του εγκεφάλου αναλύονται οι σημαντικότερες δομές που διαδραματίζουν εξέχοντα ρόλο στην εξέλιξη των μαθησιακών διαταραχών ενώ σε αυτό της φυσιολογίας περιγράφεται η λειτουργία που φυσιολογικά επιτελούν έτσι ώστε να είναι σε θέση ο αναγνώστης να καταλάβει τυχόν δυσλειτουργία τους σε κάθε μαθησιακή διαταραχή.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου. Εδώ, αναλύονται οι κυριότερες απεικονιστικές τεχνικές και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις δύο βασικότερες τεχνικές λειτουργικής απεικόνισης, αυτή της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και στην τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Οι τεχνικές αυτές, χρησιμοποιώντας τελείως διαφορετική ιατρική τεχνολογία η κάθε μία, είναι σε θέση να απεικονίσουν σε μοριακό επίπεδο τη λειτουργία των κυττάρων και επομένως των διαφόρων δομών του εγκεφάλου γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμες. Η μεν λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) χρησιμοποιώντας παλμούς ραδιοσυχνότητας και προσφέροντας εκτός από λειτουργική απεικόνιση και ανατομική απεικόνιση υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, ενώ η δε τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) χρησιμοποιώντας έμμεσα ιοντίζουσα ακτινοβολία-γ (προέρχεται από την αλληλεπίδραση των ποζιτρονίων με τα ηλεκτρόνια).

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται και αναλύονται τόσο οι μαθησιακές διαταραχές όσο και η διάκρισή τους έτσι ώστε να μνηθεί ο αναγνώστης στον δαιδαλώδη κόσμο των προβλημάτων της μάθησης. Εδώ, γίνεται αναφορά στους κυριότερους ορισμούς των μαθησιακών δυσκολιών και διαταραχών ενώ επίσης, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην αιτιοπαθογένεσή τους.

Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο είναι και η ουσία της εργασίας και περιλαμβάνει εκτενείς αναφορές των συμπτωμάτων, των χαρακτηριστικών και των αιτιών για κάθε μαθησιακή διαταραχή ξεχωριστά από αυτές που αναλύονται. Επίσης, παρουσιάζονται με επιστημονικές αναφορές σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί κατά ο παρελθόν όλες οι εγκεφαλικές ανατομικές δομές που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις προαναφερθείσες μαθησιακές διαταραχές αλλά και ποιος ακριβώς είναι αυτός ο ρόλος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η κατανόηση των ιδιαίτερα περίπλοκων διαδικασιών που υποστηρίζουν την ανάπτυξη της μάθησης και η διερεύνηση των αιτιών των αναπτυξιακών διαταραχών υπό το πρίσμα της νευροαπεικόνισης και συγκεκριμένα της λειτουργικής.



## **Abstract**

This systematic review aims to highlight the contribution of medical imaging methods used in neuroscientific research in the field of learning disorders. More specifically, special emphasis has been given on functional Magnetic Resonance imaging (fMRI) and Positron Emission Tomography (PET), as these two techniques are able to provide functional imaging of the brain and to highlight any under-or-over activity of specific anatomical areas, which are associated with various learning disorders. This is a fact of paramount importance, since by decoding the structures of the brain and correlating their function with the development of learning disorders, human intervention becomes possible, both theoretically and practically-invasively, in order to improve the quality of life of persons with a history of learning disabilities.

The study was carried out with a critical view of the literature on the specific topic and on a defined set of scientific articles and researches from valid electronic sources published in the last 20 years. The various evaluation techniques of the studied sources were compared based on their methodology, results and commentary.

This post-graduate thesis is developed in four chapters. Each of them plays a key-role in providing the necessary information, so that what is analyzed in the following chapters can be easily understood. The first chapter refers to the anatomy and physiology of the brain while extensive reference is given to the central nervous system, since it includes the brain. The subsection of brain anatomy analyzes the most important structures that play a crucial role in the development of learning disorders, while that of physiology describes the function they normally perform, so that the reader can understand their dysfunction in any learning disorder.

The second chapter deals with brain imaging techniques. Here, the main imaging techniques are analyzed, while special emphasis is placed on the two main functional imaging techniques: the functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) and the Positron Emission Tomography (PET). These techniques, while using completely different medical technology, are able to depict at a molecular level the function of cells and therefore the various structures of the brain, which makes them particularly valuable. The functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) uses radio frequency pulses and offers functional imaging, in addition to anatomical imaging, high spatial resolution. The Positron Emission

Tomography (PET) uses indirect ionizing radiation- $\gamma$  (derived from the interaction of positrons with electrons).

The third chapter describes and analyzes both learning disorders and their grading, so that the reader is introduced to the complex world of learning difficulties. Here, special reference is made to the main definitions of learning disabilities and disorders while also, a brief reference is made to their etiology.

Finally, the fourth chapter is the essence of this study and includes extensive reports of symptoms, characteristics and causes for the already analyzed learning disorders. Additionally, by using scientific references made by past researches, all the brain anatomical structures that play an important role in the aforementioned learning disorders are presented. Their specific role is also examined.

The purpose of this thesis is to study and understand the highly complex processes that support the development of learning and to investigate the causes of developmental disorders, in the light of neuroimaging and specifically functional neuroimaging.

## Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας.....	4
Ευχαριστίες .....	5
Αφιερώσεις .....	6
Περίληψη .....	7
Abstract .....	9
Συνομογραφίες.....	13
Πρόλογος.....	15
<b>1. Ο Εγκέφαλος.....</b>	<b>16</b>
1.1. <u>Γενικό μέρος</u> .....	16
1.2. <u>Ανατομία</u> .....	17
1.3. <u>Φυσιολογία</u> .....	24
1.4. <u>Το Νευρικό Σύστημα</u> .....	25
1.4.1. Γενικό μέρος.....	25
1.4.2. Ο Εγκέφαλος και το Νευρικό Σύστημα.....	27
1.5. <u>Λειτουργία</u> .....	29
1.5.1. Ο Εγκεφαλικός Φλοιός.....	29
1.5.2. Οι Αισθήσεις.....	33
<b>2. Απεικόνιση Εγκεφάλου.....</b>	<b>35</b>
2.1. <u>Γενικό μέρος</u> .....	35
2.2. <u>Μαγνητική Τομογραφία (MRI)</u> .....	39
2.2.1. Βασικές αρχές.....	39
2.3. <u>Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI)</u> .....	48
2.3.1. Γενικό μέρος.....	48
2.3.2. Τεχνική BOLD.....	51
2.4. <u>Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET)</u> .....	53
2.4.1. Γενικό μέρος.....	53
2.4.2. Τεχνική έγχυσης <sup>18</sup> F-FDG PET.....	57

<b>3. Δυσκολίες μάθησης.....</b>	<b>57</b>
3.1. <u>Ορισμός δυσκολιών μάθησης.....</u>	57
3.2. <u>Διάκριση μαθησιακών δυσκολιών και προβλημάτων μάθησης.....</u>	60
<b>4. Απεικονίσεις του εγκεφάλου στις διαταραχές της μάθησης.....</b>	<b>61</b>
4.1. <u>Δυσλεξία.....</u>	61
4.2. <u>Δυσαριθμησία.....</u>	72
4.3. <u>Δυσγραφία.....</u>	75
4.4. <u>Διαταραχές κίνησης .....</u>	76
4.4.1. Δυσπραξία.....	76
4.4.2. Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ/Υ).....	78
<b>Επίλογος.....</b>	<b>82</b>
<b>Αναφορές .....</b>	<b>83</b>
<b>Πηγές Εικόνων .....</b>	<b>89</b>

## Συντομογραφίες

### Αγγλική ορολογία

- **ATP:** Adenosine Triphosphoric Acid
- **ANS:** Autonomic Nervous System
- **ADHD:** Attention Deficit Hyperactivity Disorder
- **BOLD:** Blood Oxygenation Level Dependent
- **CSF:** Cerebrospinal Fluid
- **CNS:** Central Nervous System
- **DTI:** Diffusion Tensor Imaging
- **DWI:** Diffusion-Weighted Imaging
- **EEG:** Electroencephalography
- **FDG:** Fluorodeoxyglucose
- **FID:** Free Induction Decay
- **fMRI:** Functional Magnetic Resonance Imaging
- **HEG:** Hemoencephalography
- **LD:** Learning Disabilities
- **MEG:** Magnetoencephalography
- **NMR:** Nuclear Magnetic Resonance

### Ελληνική ορολογία

- Αδενοσινο-Τριφωσφορικό Οξύ
- Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα
- Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ/Υ)
- Μεταβλητή Επιπέδου Οξυγόνωσης Αίματος
- Εγκεφαλονωτιαίο Υγρό (ΕΝΥ)
- Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ)
- Απεικόνιση Τανυστή Διάχυσης
- Απεικόνιση Μοριακής Διάχυσης
- Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
- Φθοριο-δεοξυ-γλυκόζη
- Σήμα Μαγνητικού Συντονισμού
- Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού
- Αιματοεγκεφαλογράφημα
- Δυσκολίες της Μάθησης
- Μαγνητοεγκεφαλογράφημα
- Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (ΠΜΣ)

- <b>PET</b> : Positron Emission Tomography	Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων
- <b>pIR Sensor</b> : Passive Infrared Sensor	Αισθητήρας Υπέρυθρης Ακτινοβολίας
- <b>PWI</b> : Perfusion-Weighted Imaging	Απεικόνιση Αιματικής Διήθησης
- <b>PNS</b> : Peripheral Nervous System	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ)
- <b>RF Pulse</b> : Radiofrequency Pulse	Παλμός Ραδιοσυχνότητας
- <b>SNR</b> : Signal-to-Noise Ratio	Λόγος Σήματος προς Θόρυβο
- <b>SPECT</b> : Single-Photon Emission Computed Tomography	Υπολογιστική Τομογραφία Εκπομπής Μονήρων Φωτονίων
- <b>SNS</b> : Somatic Nervous System	Σωματικό Νευρικό Σύστημα (ΣΝΣ)
- <b>TE</b> : Time to Echo	Χρόνος Ηχούς
- <b>TR</b> : Repetition Time	Χρόνος Επανάληψης

## Πρόλογος

Η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) είναι μια διαδικασία νευροαπεικόνισης που σκοπό έχει την αξιολόγηση της λειτουργικής δραστηριότητας του εγκεφάλου η οποία σχετίζεται με την ανίχνευση των μεταβολών της αιματικής ροής κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων ερεθισμάτων. Η τεχνική BOLD είναι η κύρια τεχνική fMRI και εξαρτάται από την περιεκτικότητα της δεοξυαιμογλοβίνης στο αίμα για να υποδηλώσει νευρωνική δραστηριότητα. Αντίστοιχα, ακόμα μία μέθοδος λειτουργικής νευροαπεικόνισης αποτελεί η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET) η οποία βασίζεται σε ραδιενεργά ισότοπα - πομπούς ποζιτρονίων τα οποία ενίονται στον εξεταζόμενο με τη μορφή ραδιοφαρμάκου.

Οι δύο προαναφερθείσες τεχνικές αποτελούν τις εξετάσεις εκλογής για την λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου και ταυτόχρονα αναπόσπαστο κομμάτι στην μελέτη ατόμων με μαθησιακές διαταραχές καθώς καταδεικνύουν πιθανές δυσλειτουργίες που τυχόν υπάρχουν σε συγκεκριμένες δομές του εγκεφάλου. Η μελέτη των μαθησιακών διαταραχών έχει κεντρίσει προ πολλού το ενδιαφέρον των ερευνητών. Από τις αρχικές ακόμα μελέτες, οι συμπεριφορές ατόμων με κάποια μαθησιακή δυσκολία και χωρίς έγιναν αντικείμενο σύγκρισης και επιχειρούσαν να κατανοήσουν τις διαταραχές αυτές.

Όσο περνούσε ο καιρός και η τεχνολογία αναπτύσσονταν, οι έρευνες διεξάγονταν πλέον, με τη χρήση νευροαπεικονιστικών μεθόδων, οι οποίες επιτρέπουν την λεπτομερή ανατομική και λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου με αποτέλεσμα την κατανόηση των λειτουργιών συγκεκριμένων περιοχών του. Αυτό, λοιπόν, συνεπάγεται πως η μελέτη των διαφορών ενός εγκεφάλου με κάποια μαθησιακή διαταραχή και χωρίς θα βοηθήσει στην κατανόηση των αιτιών και στην ανάδειξη των τρόπων αντιμετώπισής τους.

## **1. Ο Εγκέφαλος**

### **1.1. Γενικό μέρος**

Ο εγκέφαλος του ανθρώπου ζυγίζει κατά προσέγγιση 1,5 kg και αποτελεί το πιο μεγάλο και το πιο πολύπλοκο τμήμα του νευρικού συστήματος. Λειτουργία του είναι να ρυθμίζει και να συντονίζει τις δραστηριότητες του οργανισμού γεγονός για το οποίο καταναλώνει περίπου το 20% της συνολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, ο εγκέφαλος ρυθμίζει την αναπνοή, την αρτηριακή πίεση, την καρδιακή συχνότητα ενώ επίσης είναι υπεύθυνος και για άλλες διεργασίες όπως είναι ο κύκλος του ύπνου και το αίσθημα της δίψας και της πείνας. Επιπροσθέτως, ο εγκέφαλος είναι ο παραγωγός των σκέψεων και των συναισθημάτων που απαρτίζουν την ανθρώπινη υπόσταση και συμπεριφορά. (Μηλούλης, 2014)

Ο άνθρωπος από την στιγμή της γέννησής του διαθέτει σχεδόν το σύνολο των νευρώνων που θα έχει σε όλη την ενήλικη ζωή του με την διαφορά πως τα νευρικά δίκτυα βρίσκονται ακόμη σε ανώριμο στάδιο. Η διατήρηση και ανάπτυξη των νευρικών δικτύων επιτυγχάνεται διαμέσου της εξάσκησης του εγκεφάλου όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους μύες. Για παράδειγμα, εάν ένας άνθρωπος επιδίδεται σε κάποια δραστηριότητα αυτό θα προκαλέσει αύξηση του μεγέθους του τμήματος του εγκεφάλου το οποίο σχετίζεται με την συγκεκριμένη δραστηριότητα. Ο εγκέφαλος δέχεται ένα συνεχόμενο "κύμα" πληροφοριών (ταχύτητας από 1 έως περίπου 100 m/sec ανάλογα με τον τύπο των νευρώνων) υπό μορφή ηλεκτρικών ώσεων από τους νευρώνες των αισθητηρίων οργάνων. Η κύρια λειτουργία του είναι να αποσαφηνίσει εάν η πληροφορία που δέχτηκε είναι σημαντική. Σε περίπτωση που δεν είναι σημαντική ή πιστοποιεί ότι παραμένουν όλα ως έχουν, τότε αποσύρεται από το προσκήνιο και δεν έχουμε καν συναίσθηση αυτής. Σε περίπτωση όμως, που η πληροφορία χρήζει προσοχής, τα αντίστοιχα σήματα ενισχύονται από τον εγκέφαλο με αποτέλεσμα να επηρεάζονται συγκεκριμένες περιοχές του και αυτό να έχει ως συνέπεια τον σχηματισμό συνειδητής εμπειρίας σε συνδυασμό με ή χωρίς σωματική αντίδραση. (Μηλούλης, 2014)

Στον εγκέφαλο περιλαμβάνονται δισεκατομμύρια κύτταρα από τα οποία περίπου το 10% είναι εξειδικευμένα ηλεκτρικά κύτταρα τα οποία ονομάζονται νευρώνες. Οι νευρώνες μεταδίδουν σήματα το ένα στο άλλο και η λειτουργία αυτή είναι η ειδοποιός διαφορά της εγκεφαλικής λειτουργίας από τις υπόλοιπες διεργασίες του σώματος.



Μολονότι τα σήματα αυτά είναι ηλεκτρικά, ο τρόπος που μεταδίδονται ανάμεσα στα κύτταρα είναι χημικός (διαμέσου των νευροδιαβιβαστών). (Μηλούλης, 2014)

Η προέλευση των εισερχόμενων πληροφοριών έχει άμεση συσχέτιση με την μετατροπή τους σε εμπειρικές συνιστώσες. Κάθε αισθητήριο όργανο λαμβάνει διαφορετικό τύπο ερεθίσματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικών σημάτων που θα αποσταλούν για επεξεργασία σε συγκεκριμένο τμήμα του εγκεφάλου. Το είδος της νεοαποκτηθείσας εμπειρίας έχει άμεση σχέση με την εγκεφαλική περιοχή στην οποία λαμβάνει χώρα η επεξεργασία των πληροφοριών. Ο εγκέφαλος απαρτίζεται από αυτοτελή τμήματα τα οποία έχουν διαφορετικές λειτουργίες και χαρακτηρίζονται από πυκνές, μεταξύ τους, διασυνδέσεις. Το κάθε εγκεφαλικό τμήμα δεν δύναται να λειτουργήσει ανεξάρτητα από τα άλλα, δηλαδή χωρίς την υποστήριξή τους καθώς και του υπολοίπου σώματος. Λειτουργίες που θεωρούνται απλές όπως είναι η καταγραφή των αισθήσεων παρατηρείται πως είναι αυστηρά εντοπισμένες ενώ άλλες λειτουργίες που θεωρούνται ανώτερες όπως η ομιλία και η μνήμη προέρχονται από διασυνδέσεις μεταξύ εγκεφαλικών περιοχών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το άλγος παρόλο που καταγράφεται από τον εγκεφαλικό ιστό όταν το σώμα νοιώθει πόνο, ο ίδιος ο εγκεφαλικός ιστός δεν είναι σε θέση να το νοιώσει καθώς στερείται υποδοχείς άλγους. (Μηλούλης, 2014)

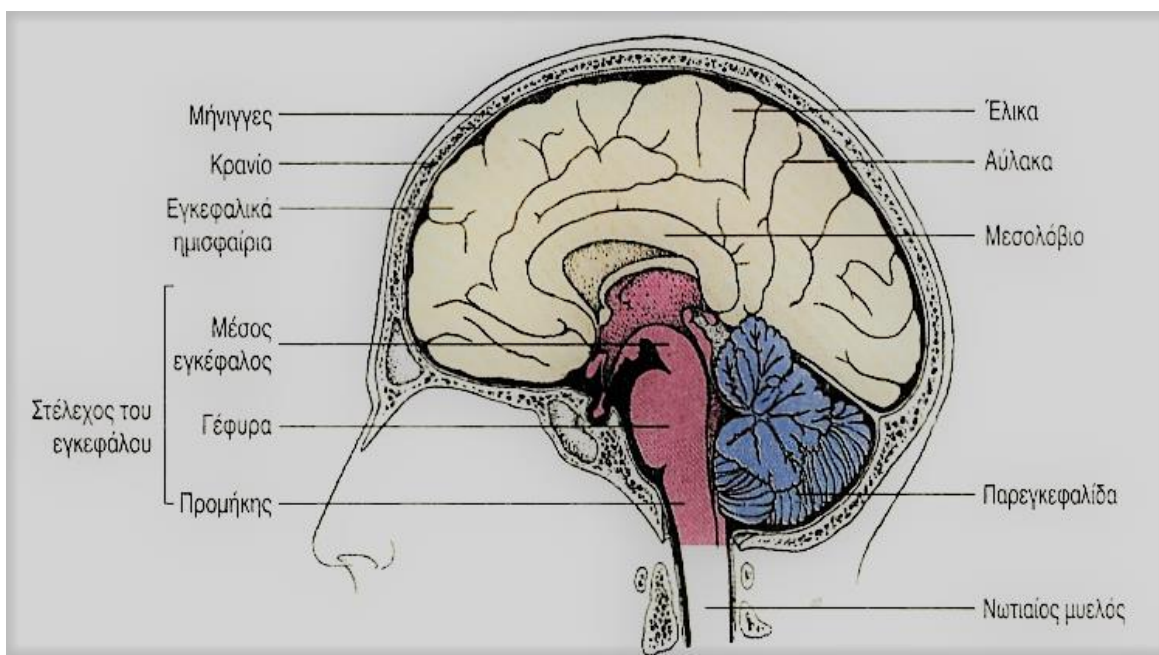
## **1.2. Ανατομία**

Ο εγκέφαλος υπόκειται σε διάφορες διαιρέσεις, εκ των οποίων η απλούστερη και πιο αντιπροσωπευτική είναι η ανατομική ή περιγραφική διαίρεση. Κατά την ανατομική διαίρεση ο εγκέφαλος απαρτίζεται από τρία τμήματα: τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, το στέλεχος και την παρεγκεφαλίδα. (Σχήμα 1)

Τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια αποτελούν το μεγαλύτερο και ογκωδέστερο τμήμα του εγκεφάλου. Διαχωρίζονται μεταξύ τους με την επιμήκη σχισμή και συνδέονται μεταξύ τους με τους συνδέσμους των εγκεφαλικών ημισφαιρίων, οι οποίοι είναι: το μεσολόβιο, η ψαλίδα, το διαφανές διάφραγμα και ο πρόσθιος σύνδεσμος (Σχήμα 2). Εμφανίζουν, στην επιφάνειά τους, αύλακες που την χωρίζουν σε πολλές έλικες, με τις πιο σημαντικές σχισμές και αύλακες να είναι: η κεντρική αύλακα ή αύλακα του Rolando, η επιμήκης σχισμή, η εγκάρσια σχισμή, η πλάγια σχισμή ή σχισμή του Sylvius (η οποία απαρτίζεται από τον πρόσθιο οριζόντιο κλάδο, τον πρόσθιο ανιόντα κλάδο και τον

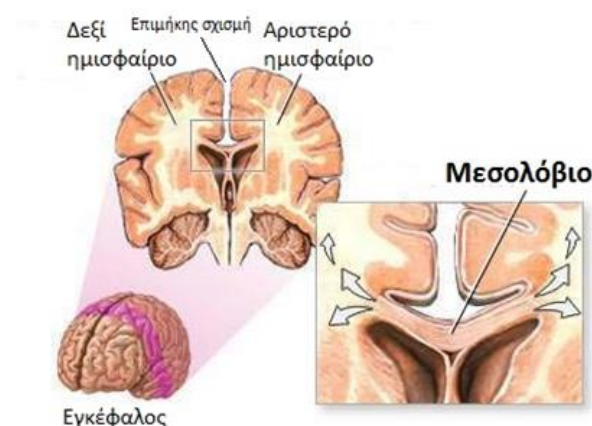
οπίσθιο κλάδο), η βρεγματοϊνιακή σχισμή και η πληκτραία σχισμή. Με βάση τις αύλακες, τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια διαιρούνται στα εξής τμήματα (λοβούς): τον μετωπιαίο λοβό (μπροστά), τον βρεγματικό λοβό (μεταξύ κεντρικής αύλακας, πλαγίας και βρεγματοϊνιακής σχισμής), τον ινιακό λοβό (πίσω), τον κροταφικό λοβό (πλάγια) και τον κεντρικό λοβό ή νήσος του Reil (στο βάθος της πλαγίας σχισμής), ο οποίος καλύπτεται από τον μετωπιαίο, τον κροταφικό και τον βρεγματικό λοβό. Τέλος, στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια επιτελούνται οι σημαντικότερες λειτουργίες του νευρικού συστήματος. Ορισμένα μόνο παραδείγματα (κατά λοβό) είναι: ο μετωπιαίος λοβός, ο οποίος αποτελεί το νευρικό κέντρο κινητικότητας (πρόσθια κεντρική έλικα), ο βρεγματικός λοβός που αποτελεί το κέντρο σωματικής αισθητικότητας (οπίσθια κεντρική έλικα), ο ινιακός λοβός, ο οποίος είναι το κέντρο της όρασης (πληκτραία σχισμή) και ο κροταφικός λοβός που είναι το κέντρο της ακοής (άνω κροταφική έλικα). (Moore κα., 2012)

Σχ.1. Η ανατομική ή περιγραφική διαίρεση του εγκεφάλου



**Πηγή:** Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999.

Σχ. 2. Σχηματική απεικόνιση του μεσολοβίου



**Πηγή:** Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999.

Το εγκεφαλικό στέλεχος διαιρείται από πάνω και μπροστά προς τα κάτω και πίσω σε τρία τμήματα: τον μέσο εγκέφαλο (κυρίως τα εγκεφαλικά σκέλη), ο οποίος συνδέεται με τον διάμεσο εγκέφαλο, μεταξύ ημισφαιρίων και στελέχους, την γέφυρα που βρίσκεται στο κέντρο και τον προμήκη (μυελεγκέφαλο), ο οποίος ενώνεται με το νωτιαίο μυελό, διαμέσου του ινιακού τμήματος του κρανίου. Το στέλεχος του εγκεφάλου αποτελεί την συνέχεια του κεντρικού νευρικού συστήματος, ενώνει τα εγκεφαλικά ημισφαίρια με τον νωτιαίο μυελό, ενώ συνδέεται και με την παρεγκεφαλίδα. Από το στέλεχος εκφύονται τα 10 (από τα 12) εγκεφαλικά νεύρα (III-XII), ενώ εκεί υπάρχουν τα νευρικά κέντρα του ελέγχου της αναπνοής, της κυκλοφορίας και του επιπέδου συνείδησης (δικτυωτός σχηματισμός).

Η ανατομική διαίρεση της παρεγκεφαλίδας περιλαμβάνει τον σκώληκα που αποτελεί το κεντρικό τμήμα της και τα δύο παρεγκεφαλιδικά ημισφαίρια που βρίσκονται πλαγίως. Η παρεγκεφαλίδα αποτελεί μικρογραφία των εγκεφαλικών ημισφαιρίων εμφανίζοντας στην επιφάνεια πτυχές που διαχωρίζονται από σχισμές, ενώ παρουσιάζει και την ίδια δομή (με τα εγκεφαλικά ημισφαίρια) με την φαιά ουσία να βρίσκεται επιφανειακά (φλοιός) και την λευκή ουσία εσωτερικά. Συνδέεται με το στέλεχος του εγκεφάλου με τα παρεγκεφαλιδικά σκέλη και είναι υπεύθυνη για την διατήρηση της ισορροπίας (σε στάση και κίνηση), τον συντονισμό των κινήσεων (συνέργεια) και τον έλεγχο του μυϊκού τόνου. Στις συχνές διαταραχές που προκαλούνται από βλάβες της

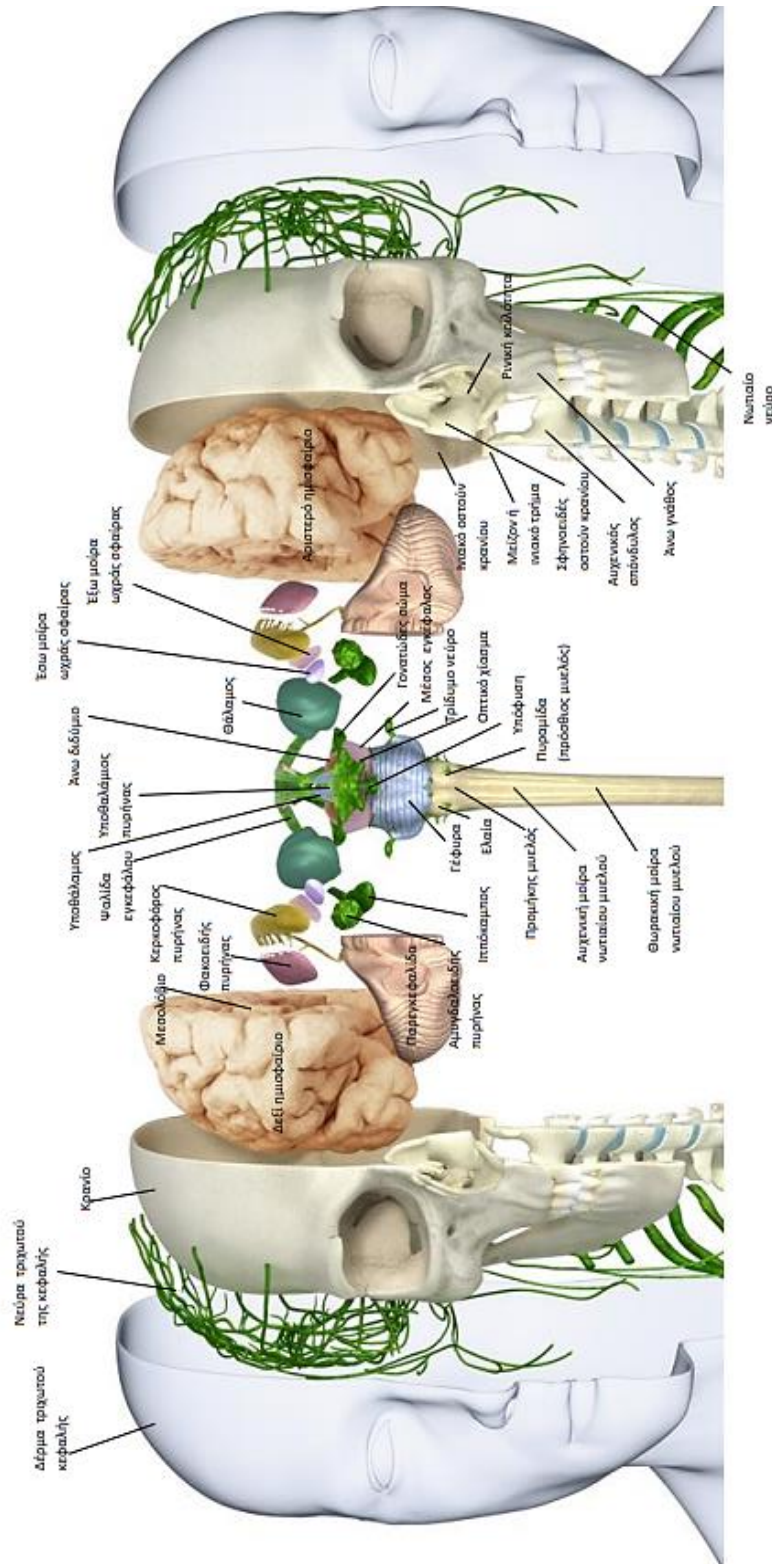
παρεγκεφαλίδα περιλαμβάνονται η αστάθεια, η δυσαρθρία, ο τρόμος των χεριών και ο νυσταγμός των ματιών. (Καμμάς, 2010)

Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός (κεντρικό νευρικό σύστημα) περιβάλλονται από τρεις μήνιγγες, δηλαδή τρεις μεμβρανώδεις χιτώνες, με σκοπό την στήριξη και την προστασία τους. Οι μήνιγγες αυτές, από έξω προς τα μέσα, είναι: η σκληρή μήνιγγα, η οποία είναι η εξωτερικότερη ως προς τον εγκέφαλο και η πιο ανθεκτική, η αραχνοειδής μήνιγγα που είναι η ενδιάμεση και η χοριοειδής μήνιγγα που είναι η εσωτερικότερη, η πιο λεπτή και αυτή που βρίσκεται σε στενή επαφή με τον εγκέφαλο. Ανάμεσα στα οστά του κρανίου και την σκληρή μήνιγγα βρίσκεται ο επισκληρίδιος χώρος ενώ ανάμεσα στην σκληρή μήνιγγα και την αραχνοειδή μήνιγγα βρίσκεται ο υποσκληρίδιος χώρος. Τέλος, ανάμεσα στην αραχνοειδή μήνιγγα και την χοριοειδή μήνιγγα βρίσκεται ο υπαραχνοειδής χώρος, ο οποίος περιέχει εγκεφαλονωτιαίο υγρό (ENY). Αξίζει να αναφερθεί επίσης, πως η σκληρή μήνιγγα (και συγκεκριμένα η έσω στιβάδα της) έχει τέσσερις προεκβολές: το δρέπανο του εγκεφάλου, το δρέπανο της παρεγκεφαλίδα, το σκηνίδιο της παρεγκεφαλίδα και το διάφραγμα της υπόφυσης. Σε ορισμένα σημεία εντός της σκληρής μήνιγγας υπάρχουν μεγάλα φλεβικά αγγεία (φλεβώδεις κόλποι) που συγκεντρώνουν μεγάλο μέρος του φλεβικού αίματος του εγκεφάλου. Οι μήνιγγες αιματώνονται κατά βάση από τους κλάδους της μέσης μηνιγγικής αρτηρίας που πορεύονται στον χώρο μεταξύ του κρανίου και της σκληρής μήνιγγας (επισκληρίδιος χώρος). Τραυματισμός αυτών των κλάδων (πιθανώς από κακώσεις της κεφαλής) επιφέρει επισκληρίδιο αιμάτωμα. (Καμμάς, 2010)

Τέλος, αξίζει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στο κοιλιακό σύστημα του εγκεφάλου, δηλαδή ένα σύστημα δεξαμενών εγκεφαλονωτιαίου υγρού (ENY) που ονομάζονται κοιλίες του εγκεφάλου. Πρόκειται για κοιλότητες στο εσωτερικό του εγκεφάλου, οι οποίες περιέχουν το εγκεφαλονωτιαίο υγρό που παράγεται σε αυτές (από τα χοριοειδή πλέγματα). Συνδέονται μεταξύ τους και με τον υπαραχνοειδή χώρο, μέσω τρημάτων. Η τρίτη και η τέταρτη κοιλία επικοινωνούν μέσω του υδραγωγού του εγκεφάλου (του Silivius) στον μέσο εγκέφαλο (αρχή στελέχους). Υπάρχουν τέσσερις κοιλίες: οι δύο πλάγιες κοιλίες (εγκεφαλικά ημισφαίρια), η τρίτη ή μέση κοιλία (διάμεσος εγκέφαλος) και η τέταρτη κοιλία (γέφυρα και προμήκης). (Moore κα., 2012)

Τα ακόλουθα σχήματα (Σχήμα 3 και Σχήμα 4) αποτυπώνουν λεπτομερώς τις βασικότερες δομές του ανθρώπινου εγκέφαλου.

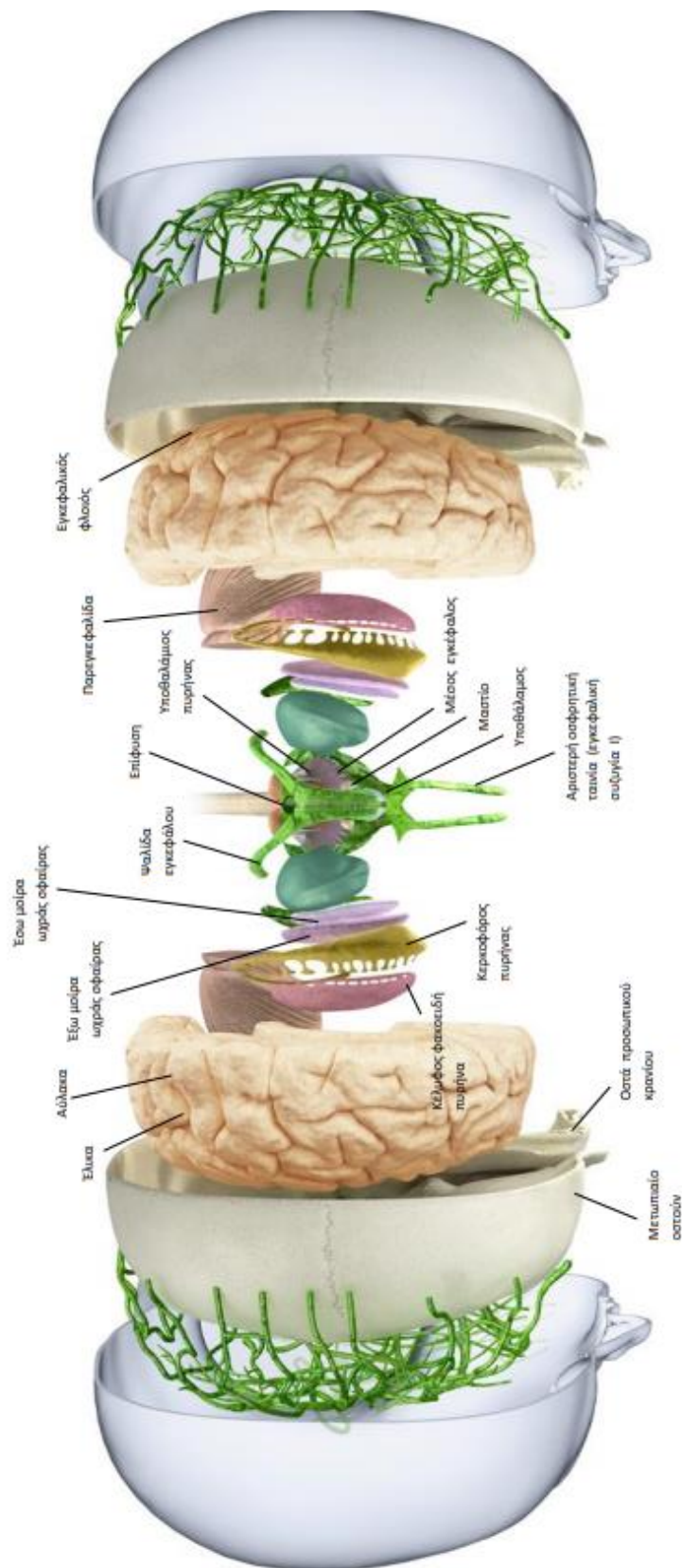
Σχ. 3. Εμπρόσθια όψη διατομής κεφαλής



Πηγή: The Human Brain Book, Rita Carter, 2009.



Σχ. 4. Κάτοψη διατομής κεφαλής



Πηγή: The Human Brain Book, Rita Carter, 2009.

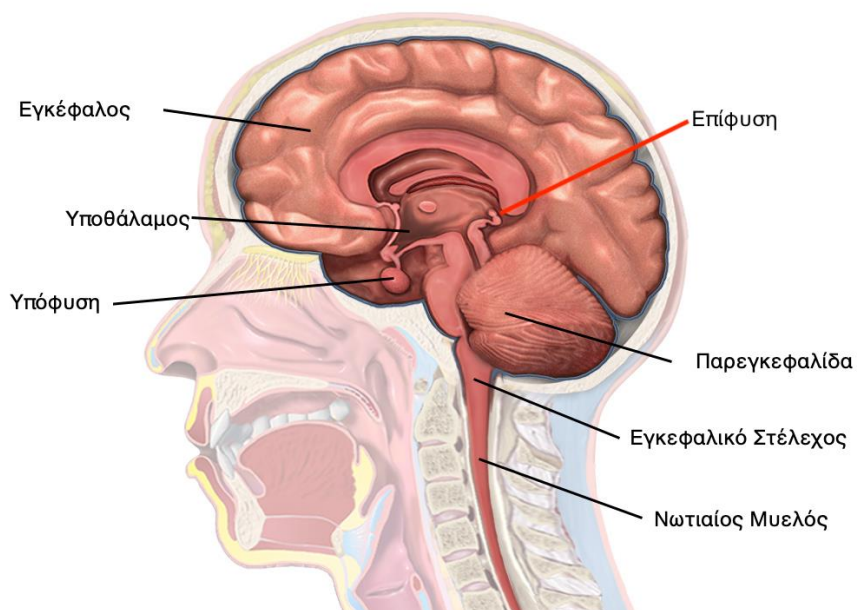
Ο εγκέφαλος συνήθως παρουσιάζεται μέσω των τριών βασικών τομών οι οποίες είναι η οριζόντια (ή εγκάρσια), η στεφαναία και η οβελιαία τομή όπως αυτές φαίνονται και στο Σχήμα 5.



**Πηγή:** Νευροανατομία, Παρασκευάς Γ., 2021.

Η πληρέστερη άποψη της ανατομίας του εγκεφάλου μπορεί να ληφθεί μέσω μιας μέσης οβελιαίας τομής όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 6.

**Σχ. 6: Μέση Οβελιαία Τομή Εγκεφάλου**



**Πηγή:** Νευροανατομία, Παρασκευάς Γ., 2021.

Παρόλο που τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια μοιάζουν παρόμοια ως προς την δομή τους παρουσιάζουν αρκετές διαφορές λειτουργικά. Στην πλειονότητα των ανθρώπων λειτουργίες όπως ο συλλογισμός, η γλώσσα, η ομιλία και η ανάλυση εδράζονται κατά βάση στο αριστερό ημισφαίριο ενώ στο δεξιό ημισφαίριο εδράζονται οι δημιουργικές ικανότητες, η αίσθηση του χώρου και του χρόνου, η οπτική και ακουστική επίγνωση καθώς και τα αισθητικά προσαγωγά ερεθίσματα. (Μηλούλης, 2014)

### **1.3. Φυσιολογία**

Εκ του συνολικού βάρους του ανθρώπινου σώματος μόνο το 2% περίπου ανήκει στον εγκέφαλο. Εντούτοις για την ορθή λειτουργία του απαιτείται ένα αρκετά σημαντικό ποσό ενέργειας έτσι ώστε να καταφέρει να ανταπεξέλθει στην πληθώρα των δραστηριοτήτων που υποστηρίζει. Το μοναδικό καύσιμο που χρειάζεται είναι η γλυκόζη (με εξαίρεση τις περιπτώσεις αστίας όπου αναγκάζεται να χρησιμοποιήσει πρωτεΐνες). Για την εύρυθμη λειτουργία του, ο εγκέφαλος, χρειάζεται κατά προσέγγιση το 20% της συνολικής πρόσληψης γλυκόζης από τον ανθρώπινο οργανισμό κατά ημερήσια βάση. Αυτό σημαίνει πως κάθε ημέρα απαιτούνται περίπου 120g γλυκόζης τα οποία διατίθενται στον εγκέφαλο διαμέσου της παροχής αίματος. (Μηλούλης, 2014)

Σύμφωνα με τους Tortora, G. και Grabowski, S. (2007) ο εγκέφαλος αποτελείται κατά βάση από νερό (περίπου 77%), από λιπίδια (περίπου 11%) τα οποία συμμετέχουν στον σχηματισμό των κυτταρικών μεμβρανών, πρωτεΐνη (περίπου 8%), υδατοδιαλυτές οργανικές ουσίες (περίπου 2%), υδατάνθρακες (περίπου 1%) και ανόργανα άλατα (περίπου 1%). Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εγκεφάλου είναι η πληθώρα των αιμοφόρων αγγείων που διαθέτει, η λευκή και φαιά ουσία που περιέχεται στον νευρικό ιστό του καθώς και το εγκεφαλονωτιαίο υγρό (ENY) το οποίο είναι ένα διαυγές και άχρωμο υγρό που ευρίσκεται στο κοιλιακό σύστημα του εγκεφάλου και στον υπαραχνοειδή χώρο. Ο ιστός του εγκεφάλου, ο οποίος εμπεριέχεται μέσα στο κρανίο, ουσιαστικά «πλέει» σε αυτό το υγρό που εκτός από την συμβολή του στη θρέψη των εγκεφαλικών κυττάρων (καθώς περιλαμβάνει γλυκόζη και πρωτεΐνες) βοηθάει επίσης στην προστασία από λοιμώξεις (καθώς περιλαμβάνει λευκά αιμοσφαίρια), στην απορρόφηση των κραδασμών ύστερα από κάποια κάκωση στην περιοχή, στην απομάκρυνση βλαβερών ουσιών, στην ομοιοστάση εξωκυττάρου υγρού νευρώνων, αστροκυττάρων και εμμύελων ινών καθώς και στην ρύθμιση της ενδοκρανιακής πίεσης.



Τέλος, το εγκεφαλονωτιαίο υγρό ανανεώνεται 3-4 φορές ημερησίως και κυκλοφορεί διαμέσου των κοιλιών του εγκεφάλου εφόσον προωθείται από τον παλμό των εγκεφαλικών αρτηριών.

#### **1.4. Το Νευρικό Σύστημα**

##### **1.4.1. Γενικό μέρος**

Το νευρικό σύστημα αποτελεί το κυριότερο δίκτυο επικοινωνίας, ρύθμισης, συντονισμού και ελέγχου του ανθρωπίνου σώματος και σε συνεργασία με το ενδοκρινικό σύστημα συμβάλλουν στην διατήρηση της ομοιόστασης, δηλαδή της διατήρησης του σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα αισθητήρια όργανα συλλέγουν και στέλνουν διαρκώς δεδομένα υπό μορφή ηλεκτρικών σημάτων τα οποία μεταβιβάζονται προς και από τον εγκέφαλο διαμέσου πολύπλοκων δικτύων νευρώνων σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Κατά αυτό τον τρόπο ο οργανισμός αντιλαμβάνεται και αντιδράει ανάλογα των μεταβολών του εξωτερικού περιβάλλοντος, γεγονός που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση επιβίωσής του.

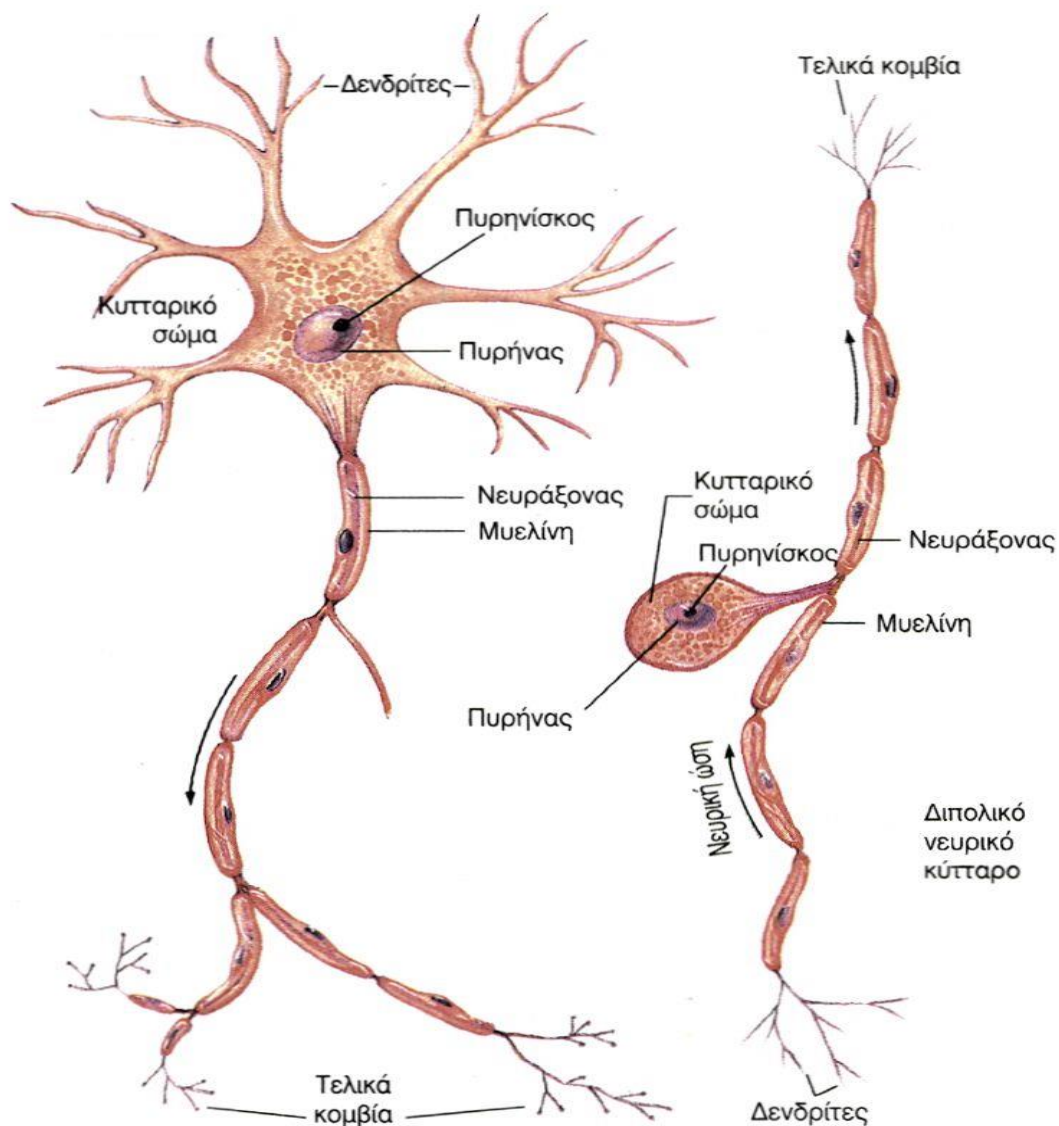
Το νευρικό σύστημα διακρίνεται σε κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) και σε περιφερικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ). Το κεντρικό νευρικό σύστημα απαρτίζεται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και, κατά κύριο λόγο, αποτελεί το σύστημα συντονισμού του σώματος. Ο εγκέφαλος περιβάλλεται και προστατεύεται από το κρανίο και ο νωτιαίος μυελός, αντίστοιχα, από την σπονδυλική στήλη. Το περιφερικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ) απαρτίζεται από τα νεύρα και αποτελεί ένα δαιδαλώδες δίκτυο το οποίο μεταδίδει πληροφορίες από το σώμα προς τον εγκέφαλο και ανάποδα υπό μορφή νευρικών ώσεων. Τα μηνύματα που συλλέγονται από τους υποδοχείς αποστέλλονται προς τον εγκέφαλο διαμέσου της προσαγωγού μοίρας του ΠΝΣ και αντίστροφα ο εγκέφαλος αποστέλλει μηνύματα προς το σώμα μέσω της απαγωγού μοίρας. Επιπλέον, το περιφερικό νευρικό σύστημα διακρίνεται σε σωματικό νευρικό σύστημα (ΣΝΣ) το οποίο περιλαμβάνει τα νεύρα που σχετίζονται με το μυοσκελετικό σύστημα και τα εξωτερικά αισθητήρια όργανα (π.χ. δέρμα) και σε αυτόνομο νευρικό σύστημα (ΑΝΣ) το οποίο ελέγχει τις αυτόματες λειτουργίες του οργανισμού και όλα τα ζωτικά όργανα. Ο ρόλος του ΑΝΣ είναι εξαιρετικά σημαντικός καθώς απαλλάσσει τον εγκέφαλο από το περιττό και μη δημιουργικό έργο και παράλληλα του δίνει χρόνο να αφοσιωθεί σε διανοητικά ανώτερες λειτουργίες προάγοντας κατά αυτόν τον τρόπο την διανοητική και

κοινωνική εξέλιξη του ανθρώπου. Τέλος, το αυτόνομο νευρικό σύστημα υποδιαιρείται σε συμπαθητικό νευρικό σύστημα και σε παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα. Το συμπαθητικό νευρικό σύστημα σχετίζεται με την αντίδραση του φόβου “πάλης ή φυγής” (fight or flight), δηλαδή μια αντίδραση του οργανισμού στο στρες η οποία χαρακτηρίζεται από έκρηξη αδρεναλίνης, ταχυκαρδία και διαστολή των οφθαλμικών κορών. Το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα, αντίστροφα, σχετίζεται με διεργασίες σε καταστάσεις ηρεμίας όπως είναι η μείωση του καρδιακού ρυθμού. (Μηλούλης, 2014)

Το νευρικό σύστημα και τα όργανα που αυτό περιλαμβάνει (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός και νεύρα) αποτελούνται από νευρικό ιστό, δηλαδή δύο ειδών κύτταρα, τα νευρικά (ή νευρώνες) και τα νευρογλοιακά κύτταρα. Το νευρικό κύτταρο (ή νευρώνας) είναι η δομική και λειτουργική μονάδα στο νευρικό σύστημα και φέρει την ιδιότητα να αντιδράει σε ορισμένες αλλαγές του περιβάλλοντος (π.χ. μεταβολή θερμοκρασίας, έντασης του φωτός, πίεσης κ.α.). Τα νευρογλοιακά κύτταρα είναι πολυπληθέστερα από τους νευρώνες και ο ρόλος τους χαρακτηρίζεται περισσότερο ως βοηθητικός. (Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999)

Ένας νευρώνας απαρτίζεται από το κυτταρικό σώμα, το οποίο φέρει τον πυρήνα και τα οργανίδια του κυττάρου και τις νευρικές αποφυάδες, οι οποίες διακρίνονται στον νευράξονα (ή νευρίτη) και στους δενδρίτες, δηλαδή σε μικρού μήκους αποφυάδες με πληθώρα διακλαδώσεων (Σχήμα 7). Το μήκος του νευράξονα, σε ορισμένες περιπτώσεις, αγγίζει έως και το ένα μέτρο ενώ διακλαδίζεται σε μικρές απολήξεις καθεμία εκ των οποίων καταλήγει στο τελικό κομβίο. Οι νευρώνες διακρίνονται λειτουργικά σε κινητικούς, αισθητικούς και ενδιάμεσους και με βάση αυτό χαρακτηρίζονται από ορισμένες λειτουργικές και μορφολογικές διαφορές. Οι κινητικοί νευρώνες μεταδίδουν μηνύματα από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό στα εκτελεστικά όργανα και αυτά με την σειρά τους δίνουν απάντηση ή με σύσπαση (μυς) ή με έκκριση ουσιών (αδένας). Οι αισθητικοί νευρώνες μεταδίδουν μηνύματα από τα αισθητήρια όργανα προς τον νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο ενώ τέλος, οι ενδιάμεσοι νευρώνες εντοπίζονται μόνο στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και δρομολογούν τα μηνύματα που προέρχονται από τους αισθητικούς στα κατάλληλα τμήματα του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού. Επίσης, μεταβιβάζουν τα μηνύματα από ένα τμήμα του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού σε άλλο και τελικώς στους κατάλληλους κινητικούς νευρώνες. (Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999)

Σχ. 7. Τα νευρικά κύτταρα



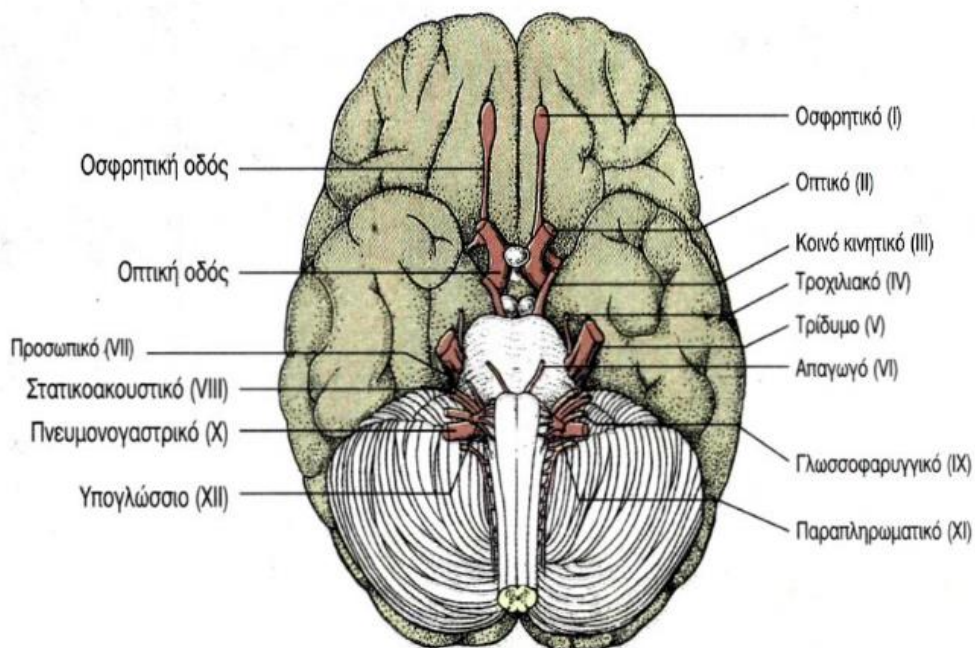
**Πηγή:** Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999.

#### 1.4.2. Ο Εγκέφαλος και το Νευρικό Σύστημα

Όπως ήδη έχει προαναφερθεί, ο εγκέφαλος είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό όλων των δραστηριοτήτων του ανθρωπίνου σώματος μέσω των νεύρων που εκφύονται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Πιο συγκεκριμένα, τα νεύρα δεν είναι τίποτε άλλο παρά οι αποφυάδες των κυτταρικών σωμάτων των νευρώνων δηλαδή δεσμίδες μακρινών δενδριτών που συγκρατούνται χάρις στον συνδετικό ιστό και περιβάλλονται από

νευρογλοιακά κύτταρα. Εντοπίζονται σε περιοχές τόσο του εγκεφάλου όσο και του νωτιαίου μυελού αλλά και στα γάγγλια, δηλαδή σε αθροίσματα σωμάτων των νευρικών κυττάρων εκτός του ΚΝΣ. Ο άνθρωπος διαθέτει δώδεκα (12) ζεύγη εγκεφαλικών νεύρων, τα οποία εκφύονται από τον εγκέφαλο, νευρώνουν, κατά κύριο λόγο, περιοχές της κεφαλής και του λαιμού και διακρίνονται, με βάση την λειτουργία τους, σε αισθητικά (αποφυάδες αισθητικών νευρώνων), σε κινητικά (αποφυάδες κινητικών νευρώνων) και σε μεικτά (συνδυασμός και των δύο ειδών αποφυάδων). (Σχήμα 8)

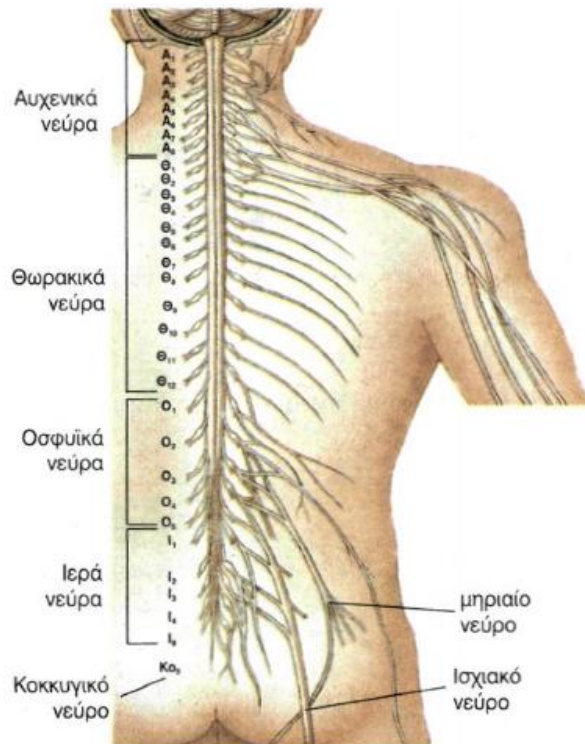
Σχ. 8. Τα εγκεφαλικά νεύρα



**Πηγή:** Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999.

Επίσης, εκφύονται από τον νωτιαίο μυελό τριάντα ένα (31) ζεύγη νωτιαίων νεύρων, τα οποία είναι όλα μεικτά και νευρώνουν αυχένα, κορμό και άκρα. (Σχήμα 9) (Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999)

Σχ. 9. Τα νωτιαία νεύρα



**Πηγή:** Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999.

## 1.5. Λειτουργία

### 1.5.1. Ο Εγκεφαλικός Φλοιός

Ο εγκεφαλικός φλοιός αποτελεί την εξωτερική στιβάδα του εγκεφάλου και είναι ένα λεπτό στρώμα της φαιάς ουσίας. Η υποδιαίρεσή του αποτέλεσε πρόκληση καθώς δεν υπάρχουν διακριτά όρια, τα οποία να διαχωρίζουν τις εγκεφαλικές περιοχές. Μία εκ των προσεγγίσεων υποδιαίρεσής του είναι αυτή που βασίζεται στα δομικά χαρακτηριστικά του εγκεφαλικού φλοιού και ο αντιπροσωπευτικότερος (και απλούστερος) χάρτης της είναι ο χάρτης του Brodmann.

Η υποδιαίρεση του εγκεφαλικού φλοιού επιτυγχάνεται με την βοήθεια των ογκωμάτων και των αυλακών που υπάρχουν στον φλοιό και του προσδίδουν την χαρακτηριστική του εμφάνιση. Ο εγκεφαλικός φλοιός χωρίζεται, συνήθως, σε 4 ζεύγη λοβών: τους μετωπιαίους, τους βρεγματικούς, τους κροταφικούς και τους ινιακούς λοβούς (4 στο αριστερό και 4 στο δεξιό εγκεφαλικό ημισφαίριο) (Σχήμα 10). Τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια διαχωρίζονται μεταξύ τους από την επιμήκη σχισμή και οι λοβοί

οριοθετούνται από τέσσερις αύλακες: την κεντρική (ή αύλακα του Rolando), την πλάγια σχισμή (ή σχισμή του Sylvius), την βρεγματοϊνιακή σχισμή και την υπερμεσολόβια αύλακα (ή αύλακα του προσαγωγίου). Τα ονόματα αλλά και η έκταση των λοβών σχετίζονται με τα υπερκείμενα κρανιακά οστά (π.χ. κάτω από το μετωπιαίο οστό υπάρχουν οι δύο μετωπιαίοι λοβοί, κάτω από το ινιακό οι δύο ινιακοί κ.ο.κ.). (Μηλούλης, 2014)

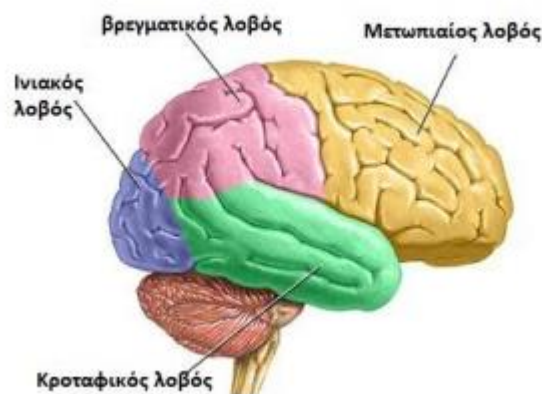
Ο μετωπιαίος λοβός αποτελεί τον μεγαλύτερο από τους λοβούς του εγκεφαλικού φλοιού και εδράζεται υπό του μετωπιαίου οστού. Σύμφωνα με τους Miller & Cohen, (2001) σχετίζεται με τις ανώτερες νοητικές λειτουργίες και τις εκτελεστικές λειτουργίες όπως τον σχεδιασμό, την εξεύρεση λύσης σε προβλήματα, τον έλεγχο παρορμήσεων, την κρίση, την λογική, την ρύθμιση συναισθημάτων, την συμπεριφορά, την εκφραστική γλώσσα και τέλος, την κίνηση καθώς εκεί εδρεύει ο κινητικός φλοιός.

Ο βρεγματικός λοβός είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία και ενσωμάτωση απτικών ερεθισμάτων και αισθητηριακών πληροφοριών (π.χ. αφή, πίεση, αφή και επεξεργασία άλγους). Εκεί εδρεύει ο σωματοαισθητικός φλοιός που είναι εξαιρετικά πολύτιμος στη λειτουργία των αισθήσεων.

Ο κροταφικός λοβός σχετίζεται με την ακοή, τη μνήμη, τη δημιουργία αναμνήσεων και τη διαχείριση του συναισθήματος. Εκεί βρίσκονται ο ιππόκαμπος και ο πρωτεύων ακουστικός φλοιός.

Ο ινιακός λοβός σχετίζεται με την όραση και την ερμηνεία οπτικών ερεθισμάτων. Εκεί εδρεύει ο πρωτεύων οπτικός φλοιός. (Kendra, 2021)

Σχ. 10. Οι λοβοί του εγκεφάλου



**Πηγή:** Human Physiology: The Mechanism of Body Function, Vander, A. J. et al., (2016)

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, ο χάρτης του Brodmann (Σχήμα 11) αποτελεί μία προσέγγιση υποδιαίρεσης του εγκεφαλικού φλοιού, η οποία έγινε από τον γερμανό νευρολόγο Korbinian Brodmann (17/11/1868 – 22/08/1918). Η έρευνά του δημοσιεύτηκε το 1909 και βασίστηκε στα ιστολογικά χαρακτηριστικά των νευρώνων και της διάταξής τους στον εγκεφαλικό φλοιό. Τόσο οι περιοχές Brodmann όσο και οι μετέπειτα υποδιαίρεσεις τους αποτελούν την βάση της σύγχρονης νευρολογίας και το συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων του εγκεφαλικού φλοιού παρέχει την δυνατότητα ακριβούς ευθυγράμμισης των δεδομένων των τεχνικών νευροαπεικόνισης. (Βαλοτασιου, 2016)

Οι περιοχές Brodmann είναι διακριτές, βάσει ιστολογικής ομοιογένειας και λειτουργίας, περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού και διακρίνονται στις εξής:

- ✓ Πρωτογενής σωματοαισθητικός φλοιός: περιοχή 1, 2 και 3,
- ✓ Πρωτογενής κινητικός φλοιός: περιοχή 4,
- ✓ Συνδετικός σωματοαισθητικός φλοιός: περιοχή 5 και 7,
- ✓ Προκινητικός και συμπληρωματικός κινητικός φλοιός: περιοχή 6,
- ✓ Μετωπιαία πεδία των οφθαλμών: περιοχή 8,
- ✓ Οπισθοπλάγιος προμετωπιαίος φλοιός: περιοχή 9,
- ✓ Πρόσθιος προμετωπιαίος φλοιός: περιοχή 10,
- ✓ Κογχομετωπιαίος φλοιός: περιοχή 11 και 12,
- ✓ Κύριος οπτικός φλοιός: περιοχή 17,
- ✓ Δευτερέων οπτικός φλοιός: περιοχή 18,
- ✓ Συνδετικός οπτικός φλοιός: περιοχή 19,
- ✓ Κάτω κροταφική έλικα: περιοχή 20,
- ✓ Μέση κροταφική έλικα: περιοχή 21,
- ✓ Άνω κροταφική έλικα: περιοχή 22,
- ✓ Οπίσθιος κοιλιακός φλοιός προσαγωγίου: περιοχή 23,
- ✓ Πρόσθιος κοιλιακός φλοιός προσαγωγίου: περιοχή 24,
- ✓ Περιοχή μετωπιαίου φλοιού υπό το γόναυ του μεσολοβίου: περιοχή 25,
- ✓ Εξωσπλήνια περιοχή: περιοχή 26,
- ✓ Κοιλιακός ενδορρινικός φλοιός: περιοχή 28,
- ✓ Οπισθοσπλήνιος φλοιός προσαγωγίου: περιοχή 29,

- ✓ Τμήμα του φλοιού προσαγωγίου: περιοχή 30,
- ✓ Οπίσθιος ραχιαίος φλοιός προσαγωγίου: περιοχή 31,
- ✓ Πρόσθιος ραχιαίος φλοιός προσαγωγίου: περιοχή 32,
- ✓ Τμήμα του πρόσθιου φλοιού προσαγωγίου: περιοχή 33,
- ✓ Ραχιαίος ενδορρινικός φλοιός: περιοχή 34,
- ✓ Περιρρινικός φλοιός: περιοχή 35,
- ✓ Παραϊποκάμπειος φλοιός: περιοχή 36,
- ✓ Ατρακτοειδής έλικα: περιοχή 37,
- ✓ Πόλος κροταφικών λοβών: περιοχή 38,
- ✓ Γωνιώδης έλικα: περιοχή 39,
- ✓ Υπερχείλια έλικα: περιοχή 40,
- ✓ Ακουστικός φλοιός: περιοχή 41 και 42,
- ✓ Υποκεντρική περιοχή: περιοχή 43,
- ✓ Καλυπτρική περιοχή (τμήμα κάτω μετωπιαίας έλικας και περιοχής Broca: περιοχή 44,
- ✓ Τριγωνική περιοχή (τμήμα κάτω μετωπιαίας έλικας και περιοχής Broca): περιοχή 45,
- ✓ Οπισθοπλάγιος προμετωπιαίος φλοιός: περιοχή 46,
- ✓ Κογχική περιοχή (τμήμα κάτω μετωπιαίας έλικας): περιοχή 47,
- ✓ Οπισθοϋποθεματική περιοχή: περιοχή 48,
- ✓ Παρανησιδιακή περιοχή: περιοχή 52.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι αποδόσεις των ονομάτων των περιοχών Brodmann στην ελληνική γλώσσα είναι ενδεικτικές καθώς στην βιβλιογραφία υπάρχει περίπτωση να διαφέρουν. Επίσης, οι περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού, οι οποίες λείπουν από την ανωτέρω καταγραφή δεν έχουν βρεθεί από τον ίδιο τον Brodmann. (Βαλοτασιου, 2016)

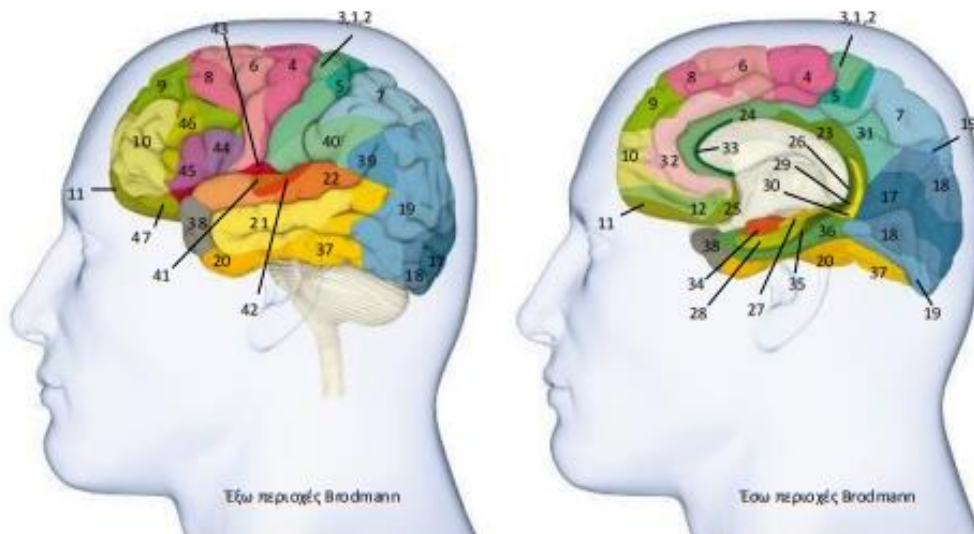
Ο Μηλούλης (2014) αναφέρει πως κατά προσέγγιση, θα μπορούσε να θεωρηθεί πως κάθε περιοχή Brodmann συνδέεται με κάποια συγκεκριμένη λειτουργία και αυτές είναι:

- Ακρόαση (κροταφικός λοβός): περιοχές 22,38,41 και 42,
- Μνήμη (μέσος κροταφικός λοβός): περιοχές 23,26,27, 29,30,35 και 36,
- Αισθήσεις του σώματος (βρεγματικός λοβός): περιοχές 1,2,3,5,7,31,39 και 40,



- Κίνηση (μετωπιαίος λοβός): περιοχές 4,6,8,9,10,44,45,46 και 47,
- Συναισθημα (πρόσθιος φλοιός του προσαγωγίου και κογχικές έλικες): περιοχές 11,12,24,25,32,33 και 38,
- Όραση (ινιακός και κροταφικός λοβός): περιοχές 17,18,19,20,21,37 και 38,
- Γεύση (νήσος του Reil): περιοχή 43,
- Όσφρηση (μέσος κροταφικός φλοιός): περιοχές 28 και 34.

Σχ. 11. Ο Χάρτης του Brodmann



Πηγή: The Human Brain Book, Rita Carter, 2009.

### 1.5.2. Οι Αισθήσεις

Τα ερεθίσματα που συλλέγονται από τα αισθητήρια όργανα, μεταφέρονται στον εγκέφαλο υπό μορφή νευρικών ώσεων και εκεί αναλύονται και ερμηνεύονται με αποτέλεσμα να γίνονται συνειδητά. Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης και ερμηνείας είναι η αίσθηση. Οι νευρικές ώσεις, ανεξάρτητα του τρόπου δημιουργίας τους, δηλαδή του είδους του ερεθίσματος, μεταφέρονται με κοινό τρόπο αλλά καταλήγουν σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού και ανάλογα με την περιοχή στην οποία φτάνουν πραγματοποιείται και η ανάλογη επεξεργασία και ερμηνεία με αποτέλεσμα την δημιουργία της ανάλογης αίσθησης. Ο ρόλος των αισθητήριων υποδοχέων είναι εξαιρετικά σπουδαίος καθώς είναι το μέσο αντίληψης του εξωτερικού κόσμου ενώ παράλληλα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των κινήσεων, στη διατήρηση

εγρήγορσης και στην αντίληψη του σώματος. (Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, 1999)

Σύμφωνα με την Κατρίτση (2019) οι πέντε βασικές αισθήσεις του ανθρώπου είναι: η γεύση, η όσφρηση, η αφή, η όραση και η ακοή. Πιο αναλυτικά, η γεύση και η όσφρηση αποτελούν χημικές αισθήσεις. Βαθειά εντός της ρινικής κοιλότητας υπάρχουν οι οσφρητικοί υποδοχείς, οι οποίοι εντοπίζουν τα μόρια που μπαίνουν εντός της ρινός (οσμές) και συνδέονται στα κύτταρά τους. Μόλις, λοιπόν, συμβεί αυτό, ηλεκτρικές ώσεις αποστέλλονται από τους οσφρητικούς υποδοχείς στον οσφρητικό βολβό προς ανάλυση. Στην συνέχεια, γίνεται μεταβίβαση των δεδομένων διαμέσου των οσφρητικών οδών σε ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα και ακολουθεί η περαιτέρω επεξεργασία τους. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ορθορρινική όσφρηση, ενώ υπάρχει και η οπισθορρινική όσφρηση κατά την οποία στις οσμές που προσλαμβάνονται διαμέσου του στόματος αποδίδεται ένας γευστικός χαρακτήρας έπειτα από σχετική ανάλυση και επεξεργασία που πραγματοποιείται στον εγκέφαλο.

Η αίσθηση της αφής συντελείται όταν οι αισθητικοί υποδοχείς του σώματος ενεργοποιούνται εξαιτίας κάποιου απτικού ερεθίσματος και αποστέλλουν τις σχετικές πληροφορίες στον εγκέφαλο διαμέσου του νωτιαίου μυελού. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από συγκεκριμένα σημεία του σώματος επεξεργάζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου και κατά αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η διαίρεση του εγκεφαλικού φλοιού σε τμήματα, τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες περιοχές του σώματος. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ενός τέτοιου χάρτη του εγκεφαλικού φλοιού, ο οποίος σχεδιάστηκε από τον διακεκριμένο канаδό νευροχειρουργό Wilder Penfield (26/01/1891 – 05/04/1976). Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να ειπωθεί πως τα ερεθίσματα που προέρχονται από την δεξιά πλευρά του σώματος φτάνουν τελικώς στην αριστερή πλευρά του εγκεφάλου και αντίστροφα.

Οι οφθαλμοί συλλέγουν πληροφορίες και στην συνέχεια αυτές οδηγούνται στο οπίσθιο μέρος του κρανίου, καθώς εκεί βρίσκονται τα οπτικά τμήματα του εγκεφάλου, έτσι ώστε να μετατραπούν σε εικόνες. Η φύση της όρασης είναι τμηματική, δηλαδή αποτελείται από ένα σύνολο παραμέτρων (π.χ. βάθος κίνησης, χρώμα, σχήμα κ.α.) για κάθε μία από τις οποίες υπάρχει μία συγκεκριμένη περιοχή του οπτικού φλοιού στην οποία εξειδικεύεται. Όπως γίνεται αντιληπτό, εξαιτίας αυτής της ιδιαιτερότητας του εγκεφάλου, δίνεται η δυνατότητα σε κάποιον που έχει υποστεί βλάβη σε κάποια από τις

περιοχές της όρασης να μην απολέσει εξολοκλήρου την όρασή του παρά μόνο μία συγκεκριμένη παράμετρό της. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η διάκριση της όρασης σε συνειδητή και ασυνείδητη. Η συνειδητή όραση σχετίζεται με την οπτική αντίληψη της εικόνας ενώ η ασυνείδητη όραση καθοδηγεί ασυνείδητα την ανθρώπινη συμπεριφορά χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που δέχονται οι οφθαλμοί.

Οι υποδοχείς που βρίσκονται στα ώτα λαμβάνουν τους ήχους υπό μορφή δονήσεων και τις μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία καταλήγουν στον ακουστικό φλοιό διαμέσου του θαλάμου. Ο δεξιός ακουστικός φλοιός έχει να κάνει κυρίως με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ήχου ενώ ο αριστερός με το νόημα και την ταυτοποίησή του.

## **2. Απεικόνιση Εγκεφάλου**

### **2.1. Γενικό μέρος**

Η απεικόνιση του εγκεφάλου με σκοπό την μελέτη του δύναται να πραγματοποιηθεί με αρκετές απεικονιστικές τεχνικές με τις οποίες είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών τόσο για την ανατομία του όσο και για την λειτουργική του δραστηριότητα. Ορισμένες από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως ενώ άλλες είναι πιο εξειδικευμένες. Στην παρούσα εργασία θα δοθεί έμφαση στον μαγνητικό συντονισμό και ιδιαιτέρως στην λειτουργική απεικόνισή του (fMRI).

Οι κυριότερες απεικονιστικές τεχνικές μελέτης του εγκεφάλου είναι: το εγκεφαλογράφημα, η αγγειογραφία, το υπερηχογράφημα κρανίου, το διακρανιακό Doppler, η αξονική τομογραφία, η μαγνητική τομογραφία, η λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρων, η υπολογιστική τομογραφία εκπομπής μονήρων φωτονίων (SPECT) και η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). (Nadgir and Yousem, 2019)

Το εγκεφαλογράφημα διακρίνεται σε ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG), σε μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG), σε αιματοεγκεφαλογράφημα (HEG) και σε πνευμοεγκεφαλογράφημα. Κατά την διενέργεια του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG) γίνεται τοποθέτηση ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του κρανίου του εξεταζόμενου και καταγράφεται η ηλεκτρική του δραστηριότητα. Με αυτή την τεχνική παρατηρείται η εγκεφαλική δραστηριότητα του εξεταζόμενου, πραγματοποιείται διερεύνηση ύπαρξης τυχόν ανωμαλιών, αξιολογούνται οι διαταραχές ύπνου, γίνεται διάγνωση κρίσεων κ.α.

Το μοναδικό μειονέκτημα την εν λόγω τεχνικής απεικόνισης είναι η ύπαρξη πιθανότητας να προκληθούν κρίσεις σε επιρρεπείς εξεταζόμενους. Το μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG) είναι μία μη επεμβατική τεχνική κατά την οποία γίνεται μέτρηση των μαγνητικών πεδίων, τα οποία δημιουργούνται από την ηλεκτρική ώθηση των εγκεφαλικών νευρώνων. Με την εν λόγω τεχνική καθίσταται δυνατή η παρατήρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση καθώς το μαγνητικό πεδίο που εκμεταλλεύεται το μαγνητοεγκεφαλογράφημα μένει ανεπηρέαστο από τον εγκέφαλο, το αίμα ή τα οστά του κρανίου εν αντιθέσει με το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο χρησιμοποιείται στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. (Greenberg, 2008)

Το αιματοεγκεφαλογράφημα (HEG) είναι μία μη επεμβατική τεχνική που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της μεταβολικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Βασική αρχή της εν λόγω τεχνικής είναι η αύξηση σε θρεπτικά συστατικά (γλυκόζη και οξυγόνο) που παρατηρείται κατά την ενεργοποίηση μίας εγκεφαλικής περιοχής με αποτέλεσμα την εμφάνιση αυξημένου μεταβολισμού γεγονός που επιφέρει μεταβολές στην υπέρυθρη ακτινοβολία από ένα συγκεκριμένο σημείο (pIR) ή διαφοροποίηση στο χρώμα του αίματος εξαιτίας της διαφορετικής περιεκτικότητας οξυγόνου (nIR). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί και η τεχνική του πνευμοεγκεφαλογραφήματος αν και πλέον έχει πάψει να χρησιμοποιείται καθώς αποτελεί μία επικίνδυνη και επίπονη για τον εξεταζόμενο τεχνική απεικόνισης. Κατά την διενέργεια του πνευμοεγκεφαλογραφήματος γίνεται αντικατάσταση μίας μικρής ποσότητας εγκεφαλονωτιαίου υγρού με αέρα και εν συνεχεία, ο εξεταζόμενος υποβάλλεται σε ακτινογραφία ούτως ώστε να αναδειχθούν καλύτερα οι δομές του εγκεφάλου. (Greenberg, 2008)

Η αγγειογραφία αποτελεί μία τεχνική απεικόνισης, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κατάστασης των αγγείων του εγκεφάλου, τον εντοπισμό πιθανής αιμορραγίας, τον σχεδιασμό που προηγείται της επέμβασης στον εγκέφαλο κ.α. Κατά την διενέργεια της αγγειογραφίας εγχύεται σκιαγραφικό στον εξεταζόμενο και στην συνέχεια πραγματοποιείται ακτινογραφικός ή ακτινοσκοπικός έλεγχος των εγκεφαλικών αγγείων (σπονδυλικές αρτηρίες και καρωτίδες). Η εν λόγω τεχνική υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει στον εξεταζόμενο ορισμένες επιπτώσεις κυρίως λόγω της χρήσης καθετήρα (π.χ. πιθανή θρόμβωση) ή εξαιτίας τυχόν εμφάνισης αλλεργίας στο σκιαγραφικό. (Greenberg, 2008)

Το υπερηχογράφημα του κρανίου αποτελεί μία μη επεμβατική τεχνική απεικόνισης, η οποία δεν αποτελεί εξέταση εκλογής σε ενήλικες καθώς οι υπέρηχοι που χρησιμοποιούνται στην τεχνική αυτή δεν δύνανται να διαπεράσουν τα οστά του κρανίου έτσι ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση των εγκεφαλικών δομών. Λόγω απουσίας της ακτινοβολίας, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε βρέφη για την διερεύνηση ύπαρξης πιθανών ανωμαλιών. (Κουμανίδου, 2010)

Το διακρανιακό Doppler αποτελεί επίσης, μία μη επεμβατική τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της παροχής του αίματος στον εγκέφαλο. Η συγκεκριμένη εξέταση πραγματοποιείται για να υπολογιστεί η ταχύτητα και η διεύθυνση αιματικής ροής των αιμοφόρων αγγείων του εγκεφάλου στοχεύοντας τα αγγεία αυτά με υπερηχητικά κύματα. (Κουμανίδου, 2010)

Η αξονική τομογραφία είναι μία τεχνική ανατομικής απεικόνισης και οι πληροφορίες λαμβάνονται με τη χρήση ενός συστήματος πηγών ακτινοβολίας-x και ηλεκτρονικών αισθητήρων, το οποίο διενεργεί περιστροφή γύρω από τον εξεταζόμενο και στην συνέχεια υπολογίζεται η ακτινοβολία που απορροφήθηκε. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι μη επεμβατική όμως ο εξεταζόμενος λαμβάνει υψηλή δόση ακτινοβολίας-x. (Herring, 2017)

Κατά τον Donald W. McRobbie (2007), η μαγνητική τομογραφία (ή απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού) αποτελεί μία μη επεμβατική τεχνική απεικόνισης, η οποία έχει ως βάση της το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (Π.Μ.Σ.). Οι μαγνητικοί τομογράφοι εκμεταλλεύονται αυτό το φαινόμενο έτσι ώστε να παράξουν εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, το σήμα που δημιουργείται από τον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό σε μία περιορισμένη τομή του σώματος του εξεταζόμενου, καταγράφεται και χρησιμοποιείται ώστε να παραχθεί εικόνα. Όταν καταγραφεί το σήμα από πολλές τέτοιες τομές μίας συγκεκριμένης περιοχής του ανθρωπίνου σώματος, γίνεται ανακατασκευή των εικόνων και λαμβάνεται η απεικόνιση ολόκληρης της ανατομικής περιοχής. Παρόλο που η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού αποτελεί μη επεμβατική τεχνική πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στον ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) κατά τη διάρκεια που ο εξεταζόμενος δέχεται τους παλμούς RF προς αποφυγή ανεπιθύμητων παρενεργειών.

Στο ευρύτερο πλαίσιο της μαγνητικής τομογραφίας εντάσσονται οι τεχνικές της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI), η απεικόνιση μοριακής

διάχυσης (DWI), η απεικόνιση τανυστή διάχυσης (DTI) και η απεικόνιση αιματικής διήθησης (PWI). Με την fMRI δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθηθεί η εγκεφαλική δραστηριότητα. Όταν ένα τμήμα του εγκεφάλου υπερλειτουργεί σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, αναγκαστικά πρέπει να καταναλώσει περισσότερο οξυγόνο καθώς απαιτείται ταχύτερη κυκλοφορία του αίματος στην περιοχή αυτή. Κατά αυτό τον τρόπο η fMRI εντοπίζει έμμεσα την υπερδραστηριότητα των εγκεφαλικών νεύρων σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου και δύναται να χρησιμοποιηθεί ώστε να δημιουργηθούν χάρτες ενεργοποίησης εγκεφαλικών τμημάτων σχετιζόμενα με συγκεκριμένες νοητικές διαδικασίες και για την χαρτογράφηση εγκεφαλικών λειτουργιών που σχετίζονται με επιληπτικές εστίες, όγκους, αγγειακές δυσπλασίες κ.α. Η fMRI αποτελεί μία μη επεμβατική τεχνική, χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία και με εξαιρετική χρονική ανάλυση. Η DWI στηρίζεται στην ταχύτητα της διάχυσης, δηλαδή της τυχαίας μικροσκοπικής κίνησης, των μορίων νερού στους ιστούς και την κυτταρική πυκνότητα. Αφού οι πυρήνες των ατόμων του υδρογόνου διεγερθούν με RF παλμούς, γίνεται εφαρμογή των πηνίων διάχυσης (diffusion gradients) και μετά συλλέγονται τα δεδομένα. Ανάλογα με το εάν υπάρχει ελεύθερη ή οργανωμένη ροή (διάχυση) των μορίων νερού στους ιστούς επηρεάζεται η μετατόπιση και η συμφασικότητα των πρωτονίων ενώ επίσης, μεταβάλλεται και το λαμβανόμενο σήμα. Σκοπός της DTI τεχνικής είναι η αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με τον βαθμό εμφάνισης της διάχυσης προς πάσα κατεύθυνση έτσι ώστε να λαμβάνεται μία πλήρης εικόνα της οργάνωσης των ιστών. Τόσο η DWI όσο και η DTI τεχνική δύναται να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την ανάδειξη περιφερικών νεύρων, την μελέτη νευρολογικών παθήσεων και τη χαρτογράφηση της οργάνωσης και πορείας των νευρικών ινών της λευκής ουσίας στον εγκέφαλο. Τέλος, η τεχνική PWI εφαρμόζεται με χορήγηση παραμαγνητικού σκιαγραφικού μέσου και επαναλαμβανόμενες σαρώσεις υψηλής ταχύτητας ή με μαγνητική σήμανση των αρτηριακών πρωτονίων και χρήση παλμού αναστροφής. Αιματική διήθηση ονομάζεται η ροή του αίματος διαμέσου του τριχοειδικού δικτύου επιτρέποντας έτσι, την μεταφορά οξυγόνου και άλλων θρεπτικών και μη ουσιών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται, κυρίως, για την μελέτη όγκων πριν από χειρουργικές επεμβάσεις καθώς και για τον έλεγχο πιθανούς ισχαιμικού επεισοδίου, κάκωσης ή επιληψίας. (Κουμαριανός, 2013)

Η λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρων είναι μία μη επεμβατική τεχνική κατά την οποία υπολογίζεται η απορρόφηση του υπέρυθρου φωτός από τους

εγκεφαλικούς ιστούς και πραγματοποιείται, κυρίως, για τον έλεγχο της αιματικής ροής στο πρόσθιο τμήμα του εγκεφάλου. (Herring, 2017)

Κατά την διενέργεια της SPECT γίνεται χορήγηση ραδιοφαρμάκου στον εξεταζόμενο και εν συνεχεία, αυτό συγκεντρώνεται επιλεκτικά σε συγκεκριμένες περιοχές του σώματός του. Το ραδιοφάρμακο εκπέμπει ακτινοβολία-γ, η οποία συλλέγεται από ειδικούς ανιχνευτές και μετατρέπεται σε εικόνα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται, κατά βάση, για την παρατήρηση της αιματικής ροής. (Βαλοτασιου, 2016)

Στην PET χορηγείται επίσης, ραδιοφάρμακο που συγκεντρώνεται επιλεκτικά στην προς εξέταση περιοχή όμως διασπάται και εκπέμπει ποζιτρόνια. Το κάθε ποζιτρόνιο προκαλεί την δημιουργία δύο εκ διαμέτρου αντίθετης φοράς φωτονίων-γ, τα οποία συλλέγονται από τους ανιχνευτές και σχηματίζεται η εικόνα. Η PET χρησιμοποιείται, κυρίως, για τη μελέτη του μεταβολισμού της γλυκόζης, της κατανάλωσης οξυγόνου και της αιματικής ροής με σκοπό την διερεύνηση της ομαλής ή μη λειτουργίας των ιστών και οργάνων του εξεταζόμενου. Και οι δύο προαναφερθείσες τεχνικές (SPECT και PET) έχουν ως κοινό περιορισμό πως δεν πρέπει να γίνεται υπέρβαση της ανώτερης επιτρεπτής δόσης του ραδιοφαρμάκου ενώ οι σημαντικότερες διαφορές τους είναι ότι οι ιχνηθέτες που χρησιμοποιούνται στην SPECT έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ημιζωής όμως η PET έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και διαγνωστική αξία. (Γώγου, 2004)

## **2.2. Μαγνητική τομογραφία (MRI)**

### **2.2.1. Βασικές αρχές**

Σύμφωνα με τους αρχαίους έλληνες φιλοσόφους Επίκουρο και Δημόκριτο, το άτομο αποτελεί το πιο μικρό σωματίδιο κάθε φυσικής δομής. Το ονόμασαν άτομο (α στερητικό + τέμνω) ακριβώς επειδή θεωρούσαν πως είναι άτμητο, δηλαδή δεν αναλύεται περαιτέρω σε μικρότερα σωματίδια. Όταν μεταγενέστερα, ανακαλύφθηκε πως ακόμα και τα άτομα αποτελούνται από πιο μικρά σωματίδια (υποατομικά), ο όρος αυτός παρέμεινε στην διεθνή επιστημονική κοινότητα αποκτώντας όμως, ειδικό νόημα.

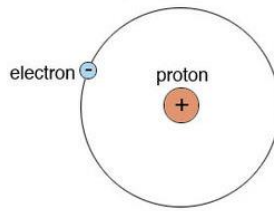
Η δομή ενός ατόμου περιλαμβάνει τον πυρήνα του, ο οποίος αποτελείται από πρωτόνια (θετικά φορτισμένα) και νετρόνια (ουδέτερα), και από ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτισμένα), τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον ατομικό πυρήνα σε τροχιές. Ένα άτομο χαρακτηρίζεται ως ηλεκτρικά ουδέτερο όταν ο αριθμός των πρωτονίων και των

ηλεκτρονίων που διαθέτει είναι ίσος. Τα ηλεκτρόνια, υπό τις κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να μεταφερθούν σε άλλα άτομα που γειτνιάζουν με το άτομο από το οποίο προήλθαν. Αυτό επιφέρει την δημιουργία ιόντων, δηλαδή ατόμων που πλέον δεν είναι ηλεκτρικά ουδέτερα αλλά θετικώς (άτομα με έλλειμμα ηλεκτρονίων) ή αρνητικώς (άτομα με περίσσεια ηλεκτρονίων) φορτισμένα. Εκτός όμως, από τον αριθμό των ηλεκτρονίων ενός ατόμου μπορεί να αλλάξει και ο αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων στον πυρήνα του ατόμου μέσω της πυρηνικής σύντηξης ή σχάσης. Κάθε άτομο χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των πρωτονίων που υπάρχουν στον πυρήνα του (Ατομικός αριθμός –  $Z$ ) και το συνολικό άθροισμα των πρωτονίων και νετρονίων του πυρήνα (Μαζικός αριθμός –  $A$ ). Ο Ατομικός αριθμός καθορίζει την ταυτότητα κάθε χημικού στοιχείου και τα άτομα των στοιχείων που έχουν ίδιο Ατομικό αριθμό αλλά διαφορετικό Μαζικό (δηλαδή έχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων) καλούνται ισότοπα. (Reimer κ.α., 2013)

Όπως προαναφέρθηκε, τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται σε τροχιές γύρω από τον ατομικό πυρήνα. Παράλληλα όμως, τόσο τα ηλεκτρόνια όσο και ο ατομικός πυρήνας περιστρέφονται γύρω από τον εαυτό τους. Αυτή η περιστροφή του ατομικού πυρήνα καλείται spin και είναι αποτέλεσμα της περιστροφής των υποατομικών σωματιδίων που αποτελούν τον πυρήνα, δηλαδή των πρωτονίων και των νετρονίων. Τα σωματίδια αυτά περιστρέφονται σε ζεύγη με ίδιο ρυθμό αλλά με αντίθετη μεταξύ τους τροχιά. Όταν ένας ατομικός πυρήνας διαθέτει ίσο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων δεν εμφανίζει συνολικό spin, όμως, όταν ο αριθμός των νετρονίων δεν είναι ίσος με εκείνον των πρωτονίων τότε ο πυρήνας εμφανίζει στροφορμή καθώς οι διευθύνσεις περιστροφής των υποατομικών σωματιδίων του δεν είναι ίσες και αντίθετης φοράς. Τέτοιοι πυρήνες καλούνται ενεργοί και είναι ιδιαιτέρως χρήσιμοι στον μαγνητικό συντονισμό. Οι ενεργοί πυρήνες μοιάζουν με μικροσκοπικούς μαγνήτες οι οποίοι, δημιουργούν μεταξύ τους ζεύγη και ενώ σε κατάσταση ηρεμίας έχουν τυχαία διεύθυνση και διάταξη στον χώρο, όταν βρεθούν μέσα σε ισχυρό στατικό μαγνητικό πεδίο ευθυγραμμίζουν τον άξονα περιστροφής τους παράλληλα με τον άξονα του στατικού μαγνητικού πεδίου. Πιο συγκεκριμένα, στο πεδίο της μαγνητικής τομογραφίας, η απεικόνιση βασίζεται στο άτομο του υδρογόνου (Σχήμα 12) καθώς αποτελεί βασικό συστατικό του νερού και του λίπους και επομένως, βρίσκεται σε αφθονία εντός του ανθρωπίνου σώματος. (Καρατοπης κ.α., 2007)



Σχ. 12. Το άτομο του υδρογόνου



**Πηγή:** Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Φυσικής Σωματιδίων (CERN)

Ο πυρήνας του υδρογόνου αποτελείται μόνο από ένα πρωτόνιο, το οποίο συμπεριφέρεται σαν ένας μικροσκοπικός μαγνήτης, δηλαδή έχει το δικό του μαγνητικό πεδίο. Όταν τα πρωτόνια βρεθούν μέσα σε ισχυρό στατικό μαγνητικό πεδίο προσανατολίζονται είτε παράλληλα (πρωτόνια χαμηλής ενεργειακής στάθμης) είτε αντιπαράλληλα με αυτό (πρωτόνια υψηλότερης ενεργειακής στάθμης). Κάθε πρωτόνιο όμως δεν μένει μόνο παράλληλο ή αντιπαράλληλο αλλά κάνει και μία μεταπτωτική κίνηση γύρω από τον άξονα του μαγνητικού πεδίου, η οποία υπολογίζεται με την εξίσωση Larmor.

$$\text{Εξίσωση Larmor: } f = \gamma \cdot \beta_0$$

Όπου  $f$  είναι η συχνότητα Larmor (συχνότητα περιστροφής πρωτονίου – μεταπτωτική συχνότητα, η οποία όταν μετράται σε κύκλους/sec συμβολίζεται με  $\omega$ ),  $\gamma$  είναι ο γυρομαγνητικός λόγος (είναι μία σταθερά, π.χ. ο γυρομαγνητικός λόγος του υδρογόνου είναι 42,6 MHz/T, οπότε σε μαγνητικό πεδίο έντασης 1 T, η συχνότητα Larmor είναι 42,6 MHz) και  $\beta_0$  είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου. Επομένως, όπως γίνεται αντιληπτό, σύμφωνα με την εξίσωση Larmor, η συχνότητα Larmor εξαρτάται από τον γυρομαγνητικό λόγο και από την ένταση του μαγνητικού πεδίου. (Καρατοπης κ.α., 2007)

Στην συνέχεια, τα παράλληλα και τα αντιπαράλληλα πρωτόνια αλληλοεξουδετερώνονται όμως, πάντα τα παράλληλα πρωτόνια είναι λίγο περισσότερα και περισσεύουν λίγα μετά την αλληλοεξουδετέρωση. Από το άθροισμα των διανυσμάτων αυτών των πρωτονίων δίνεται η διαμήκης μαγνήτιση η οποία, είναι παράλληλη με την διεύθυνση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (δηλαδή βρίσκεται στον άξονα z) και για αυτόν ακριβώς τον λόγο δεν γίνεται να ληφθούν μετρήσεις καθώς η μεταπτωτική της κίνηση δεν μπορεί να παράγει τάση σε ένα πηνίο. Για την αντιμετώπιση

λοιπόν, αυτού του προβλήματος στέλνεται ένας κατάλληλος παλμός ραδιοσυχνότητας με διεύθυνση κάθετη προς την διαμήκη μαγνήτιση (παλμός  $90^\circ$ ) και με συχνότητα περιστροφής ίση με την συχνότητα Larmor των πρωτονίων, έτσι ώστε να επιτευχθεί συντονισμός. Αφού λοιπόν, γίνει ο συντονισμός κάποια πρωτόνια απορροφούν ενέργεια και διεγείρονται, οπότε από παράλληλα (χαμηλής ενεργειακής στάθμης) γίνονται αντιπαράλληλα (υψηλότερης ενεργειακής στάθμης) και αλληλοεξουδετερώνονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαμήκης μαγνήτιση και να φτάνει στο 0 (Χρόνος 0), ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η εγκάρσια μαγνήτιση (η οποία βρίσκεται στον άξονα  $y$ ) καθώς ο παλμός ραδιοσυχνότητας εξαναγκάζει τα πρωτόνια να κινούνται συγχρονισμένα, δηλαδή συμφασικά. Πιο συνοπτικά, ο παλμός ραδιοσυχνότητας (παλμός  $90^\circ$ ) επιτελεί δύο ξεχωριστές αλλά ταυτόχρονες ενέργειες, πρώτον, μετατρέπει τα πρωτόνια από παράλληλα σε αντιπαράλληλα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαμήκης μαγνήτιση και δεύτερον, εξαναγκάζει τα πρωτόνια να κινούνται συγχρονισμένα, δηλαδή συμφασικά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εγκάρσια μαγνήτιση. Επομένως, ο παλμός ραδιοσυχνότητας (παλμός  $90^\circ$ ) μετατρέπει την διαμήκη μαγνήτιση σε εγκάρσια. (Κουμαριανός, 2013)

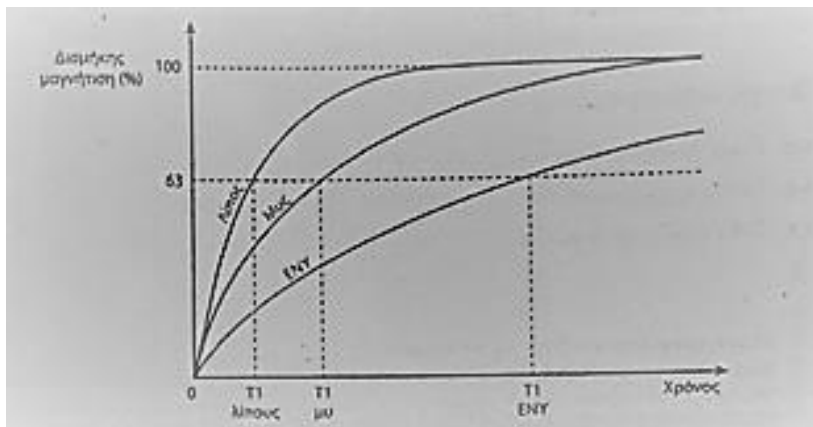
Εν συνεχεία, μόλις σταματήσει ο παλμός ραδιοσυχνότητας, η εγκάρσια μαγνήτιση μειώνεται (χαλάρωση  $spin - spin$ ) επειδή τα πρωτόνια χάνουν την συμφασικότητά τους εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων των γειτονικών πυρήνων ενώ ταυτόχρονα, η διαμήκης μαγνήτιση αυξάνεται (χαλάρωση  $spin - πλέγματος$ ) έως ότου επανέλθει στην αρχική της τιμή επειδή τα πρωτόνια υψηλότερης ενεργειακής στάθμης (αντιπαράλληλα) επιστρέφουν σε χαμηλή ενεργειακή στάθμη (γίνονται παράλληλα) αποδίδοντας την ενέργεια που είχαν απορροφήσει από τον παλμό ραδιοσυχνότητας, ως θερμότητα στα περιβάλλοντα άτομα (πλέγμα). Η αναμενόμενη εναπόθεση ενέργειας υπό μορφή θερμότητας κατά την διάρκεια της εξέτασης οφείλεται στην χαλάρωση  $spin - πλέγματος$  και υπολογίζεται από το σύστημα με την παράμετρο SAR σε μονάδες Watts/ kg. (Κουμαριανός, 2013)

Η αποκατάσταση της διαμήκους μαγνήτισης περιγράφεται από μία εκθετική συνάρτηση της οποίας η γραφική παράσταση ονομάζεται καμπύλη αποκατάστασης T1 (Σχήμα 13). Κάθε ιστός έχει χαρακτηριστική καμπύλη αποκατάστασης T1 από την οποία προκύπτει ο χρόνος χαλάρωσης T1 του ιστού, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει η διαμήκης μαγνήτιση στο 63% της αρχικής της τιμής μόλις σταματήσει ο

παλμός ραδιοσυχνότητας (χαλάρωση spin – πλέγματος). Για την σύγκριση δύο καμπυλών αποκατάστασης T1 λαμβάνεται, ως σημείο αναφοράς, η τιμή 63%.

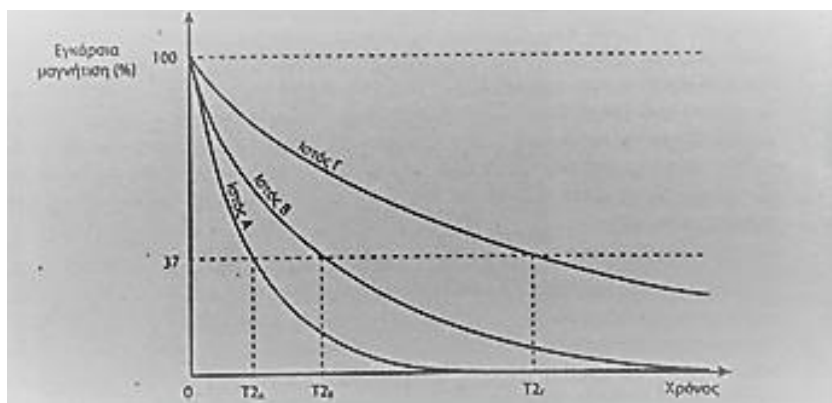
Η απόσβεση της εγκάρσιας μαγνήτισης περιγράφεται από μία εκθετική συνάρτηση της οποίας η γραφική παράσταση ονομάζεται καμπύλη απόσβεσης T2 (Σχήμα 14). Κάθε ιστός έχει χαρακτηριστική καμπύλη απόσβεσης T2 από την οποία προκύπτει ο χρόνος χαλάρωσης T2 του ιστού, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να μειωθεί η εγκάρσια μαγνήτιση στο 37% της αρχικής της τιμής μόλις σταματήσει ο παλμός ραδιοσυχνότητας. Για να συγκριθούν δύο καμπύλες απόσβεσης T2 λαμβάνεται, ως σημείο αναφοράς, η τιμή 37%. (Κουμαριανός, 2013)

Σχ.13. Καμπύλη Αποκατάστασης T1 (Χαλάρωση Spin – Πλέγματος)



Πηγή: Μαγνητική τομογραφία, Κουμαριανός, 2013.

Σχ.14. Καμπύλη Απόσβεσης T2 (Χαλάρωση Spin – Spin)



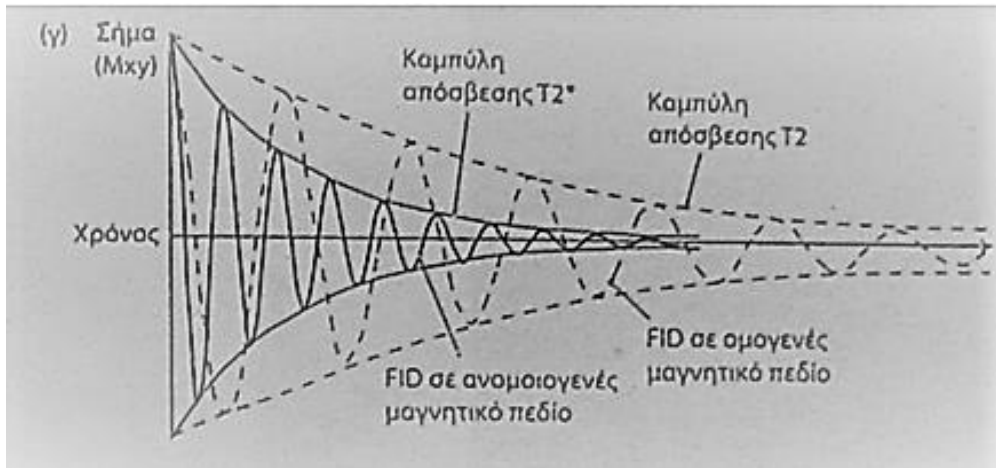
Πηγή: Μαγνητική τομογραφία, Κουμαριανός, 2013.

Οι βασικότερες διαφορές μεταξύ των δύο χρόνων χαλάρωσης (T1 και T2) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Χρόνος Χαλάρωσης T1</b>	<b>Χρόνος Χαλάρωσης T2</b>
Αυξάνει όσο αυξάνεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου	Είναι ανεξάρτητος από την ένταση του μαγνητικού πεδίου
Είναι πάντα μεγαλύτερος από τον χρόνο χαλάρωσης T2 (δηλαδή η διαμήκης μαγνήτιση αποκαθίσταται σχετικά πιο αργά)	Είναι πάντα μικρότερος από τον χρόνο χαλάρωσης T1 (δηλαδή η εγκάρσια μαγνήτιση μειώνεται εξαιρετικά γρήγορα)

Αμέσως μετά τον παλμό ραδιοσυχνότητας (παλμό  $90^\circ$ ) η εγκάρσια μαγνήτιση, η οποία είναι κάθετη με την διεύθυνση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (δηλαδή βρίσκεται στον άξονα xy) επιτρέπει την λήψη μετρήσεων καθώς η μεταπτωτική της κίνηση μπορεί να παράγει τάση σε ένα πηνίο και να καταγραφεί το σήμα του μαγνητικού συντονισμού (FID). Το FID έχει φθίνουσα και ημιτονοειδή μορφή, φθίνουσα γιατί μειώνεται η εγκάρσια μαγνήτιση και ημιτονοειδή γιατί το άνυσμα της μαγνήτισης εκτελεί περιστροφική κίνηση στον άξονα xy. Ο ρυθμός απώλειας του σήματος (ρυθμός μείωσης FID) θεωρητικά, δίνεται από την καμπύλη απόσβεσης T2 όμως, στην κλινική πράξη, παρατηρείται ταχύτερη απώλεια του σήματος επειδή δεν υπάρχει ομοιογένεια ούτε στο στατικό μαγνητικό πεδίο αλλά ούτε και στον εξεταζόμενο. Αυτή η ταχεία απώλεια του σήματος ονομάζεται απόσβεση T2\* (Σχήμα 15). (Κουμαριανός, 2013)

Σχ.15. Καμπύλη Απόσβεσης T2\*



Πηγή: Μαγνητική τομογραφία, Κουμαριανός, 2013.

Ένα σήμα μαγνητικού συντονισμού (FID) ορίζεται ως μια χρονικά μεταβαλλόμενη κυματομορφή και χαρακτηρίζεται από τρεις παραμέτρους: το πλάτος, τη συχνότητα και τη φάση. Το πλάτος αναφέρεται στην μέγιστη τιμή έντασης του σήματος, η συχνότητα περιγράφει τον αριθμό των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο/sec (μετράται σε Hz) και η φάση περιγράφει την γωνία απομάκρυνσης του κύματος από την αρχή της μέτρησης (μετράται σε μοίρες). Γωνίες φάσης μεγαλύτερες από 360° απλά επαναλαμβάνονται. (Χρυσικόπουλος, 2011)

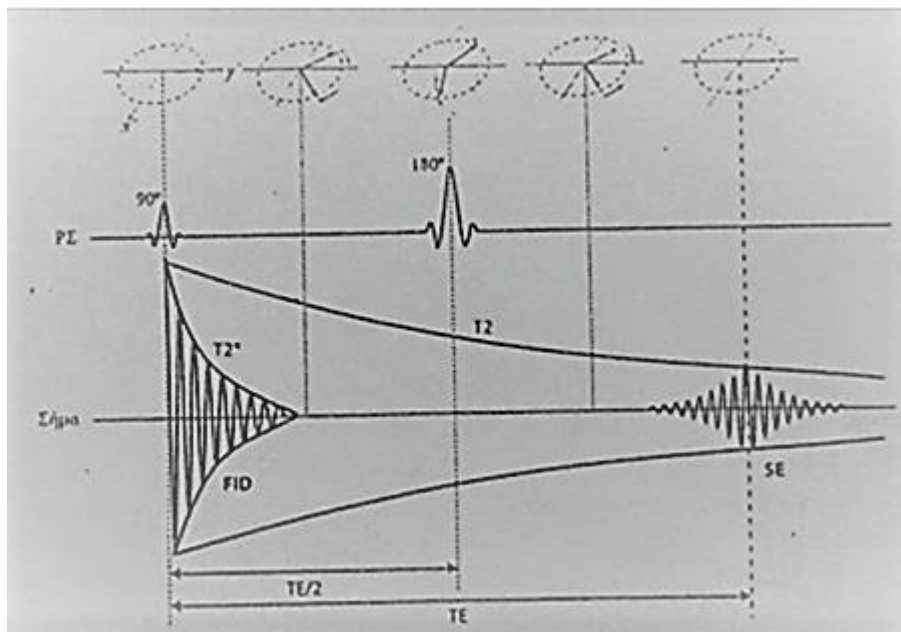
Όπως ήδη έχει προαναφερθεί, το FID μπορεί να παρουσιάζεται αμέσως μετά το τέλος του παλμού ραδιοσυχνότητας, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απεικονιστικούς σκοπούς γιατί δεν περιέχει καμία χωρική πληροφορία. Αφού λοιπόν, το FID εμπλουτιστεί με χωρικές πληροφορίες, απαιτείται μία μέθοδος (ανάκληση του σήματος FID) που θα εξασφαλίζει ένα σήμα αντίστοιχο (κάτι σαν ηχώ του) το οποίο όμως, μπορεί να μετρηθεί. Η ανάκληση του σήματος (FID) μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με παλμό ραδιοσυχνότητας 180° (λαμβάνεται σήμα Spin Echo) είτε με τη χρήση πηνίων βαθμίδας (λαμβάνεται σήμα Gradient Echo). (Κουμαριανός, 2013)

Όσο αφορά την πρώτη περίπτωση (ακολουθία παλμών Spin Echo), αμέσως μετά από τον παλμό 90° εμφανίζεται το σήμα FID, το οποίο όμως, μειώνεται γρήγορα και εκθετικά επειδή τα πρωτόνια της εγκάρσιας μαγνήτισης χάνουν την συμφασικότητά τους εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων των γειτονικών πυρήνων. Η απώλεια της συμφασικότητας των πρωτονίων προκαλεί το "άνοιγμά" τους σαν βεντάλια όπου τα

γρήγορα πρωτόνια κερδίζουν φάση ενώ τα αργά πρωτόνια χάνουν φάση. Αυτό μπορεί να διορθωθεί εάν σταλεί ένας παλμός ραδιοσυχνότητας  $180^\circ$  (παλμός επανεστίασης) σε χρόνο  $TE/2$  (μετά την αποστολή του παλμού ραδιοσυχνότητας  $90^\circ$ ) έτσι ώστε να αναγκαστούν τα πρωτόνια να περιστραφούν κατά  $180^\circ$  με αποτέλεσμα τα γρήγορα πρωτόνια να βρεθούν τελικά πίσω από τα αργότερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε χρόνο  $TE$  (μετά την αποστολή του παλμού ραδιοσυχνότητας  $90^\circ$ ) τα πρωτόνια να έχουν ξαναγίνει συμφασικά (επανεστίαση) καθώς τα γρήγορα πρωτόνια θα έχουν προφτάσει τα αργότερα. Σε αυτό το σημείο λαμβάνεται το σήμα Spin Echo, το οποίο ονομάζεται έτσι επειδή ο παλμός ραδιοσυχνότητας  $180^\circ$  δρα όπως ένας τοίχος που ανακλά το σήμα σαν ηχώ (Σχήμα 16). Ο παλμός ραδιοσυχνότητας  $180^\circ$  (παλμός επανεστίασης) εξουδετερώνει τις εξωτερικές σταθερές ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου και για αυτό τον λόγο, το σήμα που τελικά μετράται είναι  $T_2$  (τα πρωτόνια διέρχονται από ίσες ανομοιογένειες και γίνονται απολύτως συμφασικά). Επίσης, το σήμα Spin Echo είναι πάντα μικρότερο από το αρχικό σήμα FID εξαιτίας της Απόσβεσης  $T_2$ . (Κουμαριανός, 2013)

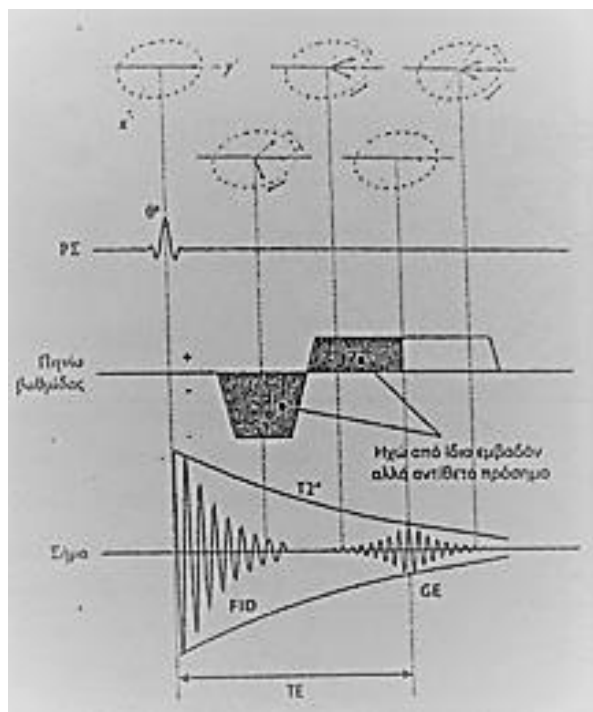
Όσο αφορά την δεύτερη περίπτωση (ακολουθία παλμών Gradient Echo), αμέσως μετά από παλμό  $\Theta^\circ$  εμφανίζεται το σήμα FID, το οποίο όμως μειώνεται γρήγορα και εκθετικά επειδή τα πρωτόνια της εγκάρσιας μαγνήτισης χάνουν την συμφασικότητά τους εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων των γειτονικών πυρήνων. Εάν, αμέσως μετά τον παλμό  $\Theta^\circ$ , εφαρμοσθεί ένα αρνητικό πηνίο βαθμίδας, το οποίο εισάγει ανομοιογένεια στο μαγνητικό πεδίο θα επιτευχθεί τα πρωτόνια να χάσουν πιο γρήγορα την συμφασικότητά τους. Η απώλεια της συμφασικότητας των πρωτονίων προκαλεί το "άνοιγμά" τους σαν βεντάλια όπου τα γρήγορα πρωτόνια κερδίζουν φάση ενώ τα αργά πρωτόνια χάνουν φάση. Στην συνέχεια, σε χρόνο  $TE/2$  αντιστρέφεται το πηνίο βαθμίδας (δηλαδή εφαρμόζεται ένα θετικό πηνίο βαθμίδας) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα στο κέντρο του θετικού πηνίου βαθμίδας τα πρωτόνια να ξαναγίνουν συμφασικά (επανεστίαση). Τέλος, σε χρόνο  $TE$  λαμβάνεται το σήμα Gradient Echo (σήμα βαθμιδωτής ηχούς GE) (Σχήμα 17). Η εφαρμογή του θετικού πηνίου βαθμίδας δεν εξουδετερώνει τις εξωτερικές σταθερές ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου και για αυτό τον λόγο, το σήμα που τελικά μετράται είναι  $T_2^*$  (τα πρωτόνια δεν διέρχονται από ίσες ανομοιογένειες και για αυτό δεν γίνονται απολύτως συμφασικά). Τέλος, το σήμα Gradient Echo είναι πάντα μικρότερο από το αρχικό σήμα FID εξαιτίας της απόσβεσης  $T_2^*$ . (Κουμαριανός, 2013)

Σχ.16. Σήμα Spin Echo και χρόνος ηχούς TE.



Πηγή: Μαγνητική τομογραφία, Κουμαριανός, 2013.

Σχ.17. Σήμα βαθμιδωτής ηχούς Gradient Echo



Πηγή: Μαγνητική τομογραφία, Κουμαριανός, 2013.

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των ακολουθιών Spin Echo και Gradient Echo συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Ακολουθίες Spin Echo</b>	<b>Ακολουθίες Gradient Echo</b>
Χρησιμοποιούν παλμό ραδιοσυχνότητας (διέγερσης) $90^\circ$	Χρησιμοποιούν παλμό ραδιοσυχνότητας (διέγερσης) $\theta^\circ (< 90^\circ)$
Χρησιμοποιούν παλμό ραδιοσυχνότητας (επανεστίασης) $180^\circ$	Χρησιμοποιούν την εφαρμογή ενός αρνητικού και ενός θετικού πηνίου βαθμίδας (Επανεστίαση)
Εξουδετερώνονται οι εξωτερικές σταθερές ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου και για αυτό τον λόγο, το σήμα που τελικά μετράται είναι T2 (Καλύτερης ποιότητας)	Δεν εξουδετερώνονται οι εξωτερικές σταθερές ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου και για αυτό τον λόγο, το σήμα που τελικά μετράται είναι T2*
Είναι αργή ακολουθία λόγω του μεγάλου χρόνου TR και TE	Είναι γρήγορη ακολουθία λόγω του μικρού χρόνου TR και TE

Αξίζει να σημειωθεί πως ο χρόνος μεταξύ της εφαρμογής του παλμού ραδιοσυχνότητας  $90^\circ$  και του μέσου του σήματος Spin Echo, ονομάζεται χρόνος ηχούς – TE (Time to Echo) ενώ, ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών ραδιοσυχνότητας (διέγερσης), ονομάζεται χρόνος επανάληψης – TR (Repetition Time). Τέλος, για τον σχηματισμό της εικόνας, θα πρέπει η διέγερση της μαγνήτισης, η χαλάρωση της μαγνήτισης και η λήψη του σήματος, να επαναληφθούν τόσες φορές όσες είναι και οι σειρές της εικόνας που ζητείται να σχηματιστεί. (Κουμαριανός, 2013)

## **2.3. Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI)**

### **2.3.1. Γενικό μέρος**

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η λειτουργική εγκεφαλική δραστηριότητα ονομάζεται λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (functional MRI – fMRI) και αποτελεί μία μέθοδο νευροαπεικόνισης, η οποία λαμβάνει χώρα στον μαγνητικό τομογράφο. Βασική αρχή της τεχνικής αυτής, είναι η ανίχνευση των



μεταβολών της αιματικής ροής σε συγκεκριμένα ερεθίσματα. Η fMRI αποτελεί μία έμμεση καταγραφή της νευρωνικής δραστηριότητας καθώς βασίζεται στην πιθανή σύνδεση μεταξύ νευρωνικής δραστηριότητας και εγκεφαλικής αιματικής ροής. Αν και η μέθοδος αυτή άρχισε να εφαρμόζεται σχετικά πρόσφατα, η κεντρική ιδέα της καταγραφής της εγκεφαλικής δραστηριότητας διαμέσου της μέτρησης των μεταβολών της αιματικής ροής, θεωρείται αρκετά παλιά. (Tsougos, 2018)

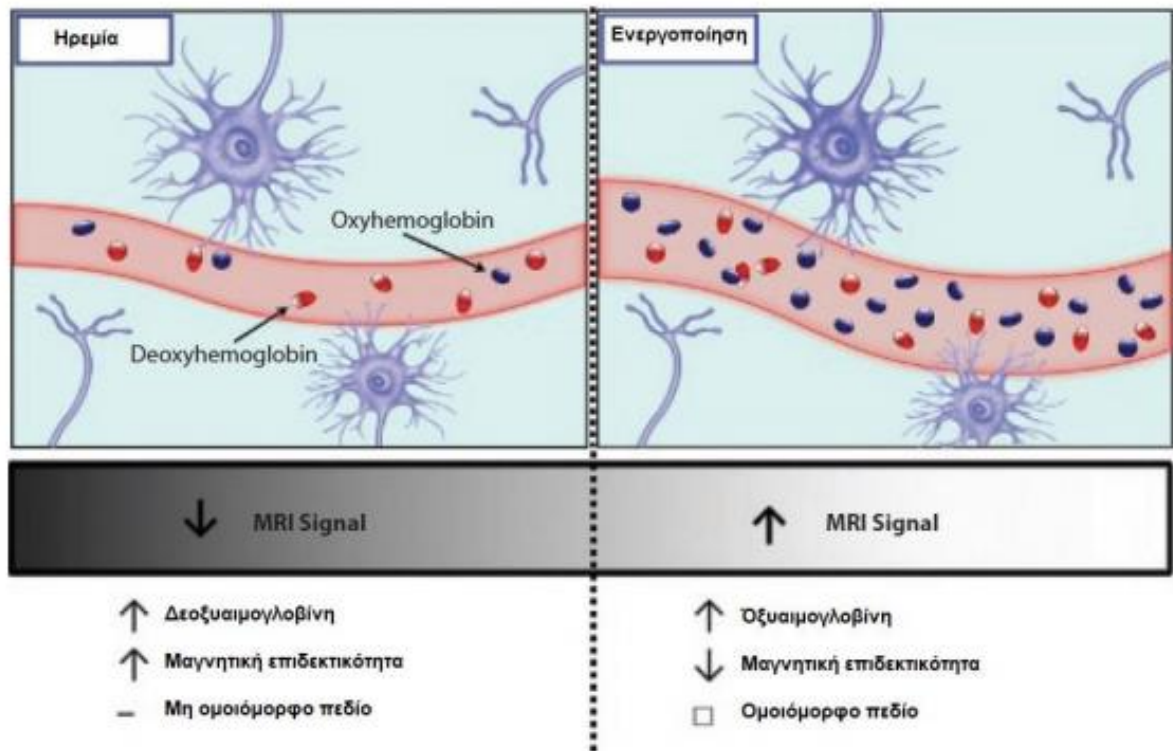
Η αύξηση της νευρωνικής δραστηριότητας προκαλεί επίσης, αύξηση των μεταβολικών αναγκών των νευρώνων σε γλυκόζη και οξυγόνο, τα οποία παρέχονται μέσω της κυκλοφορίας του αίματος. Το οξυγονωμένο αίμα μεταφέρεται διαμέσου του αρτηριακού δικτύου και εν συνεχεία, ενός όλο και συνεχόμενα λεπτότερου δικτύου αγγείων, έως το τριχοειδικό δίκτυο όπου το οξυγόνο μεταφέρεται στους νευρώνες. Το λιγότερο οξυγονωμένο αίμα, μεταφέρεται διαμέσου του φλεβικού δικτύου, μακριά από το τριχοειδικό δίκτυο. Το οξυγόνο μεταφέρεται στο αίμα με την αιμοσφαιρίνη, η οποία όταν μεταφέρει οξυγόνο ονομάζεται οξυαιμοσφαιρίνη (ή οξυαιμογλοβίνη) ενώ, όταν δεν μεταφέρει οξυγόνο καλείται δεοξυαιμοσφαιρίνη (ή δεοξυαιμογλοβίνη). Στο αρτηριακό δίκτυο περιέχεται αποκλειστικά οξυαιμοσφαιρίνη σε αντιδιαστολή με το τριχοειδικό και φλεβικό δίκτυο, στα οποία περιέχεται τόσο οξυαιμοσφαιρίνη όσο και δεοξυαιμοσφαιρίνη. Η οξυαιμοσφαιρίνη προκαλεί ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, το οποίο επιδρά ελάχιστα στο μαγνητικό σήμα (διαμαγνητική συμπεριφορά) ενώ αντίθετα, η δεοξυαιμοσφαιρίνη προκαλεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο (παραμαγνητική συμπεριφορά) προκαλώντας ανομοιογένειες στο μαγνητικό πεδίο του άμεσου περιβάλλοντος. (Κουμαριανός, 2013)

Η αύξηση της νευρωνικής δραστηριότητας σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου επιφέρει παράλληλα, την τοπική αύξηση της αιματικής ροής και επομένως, της μεταφοράς οξυγόνου στην περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το μεταφερόμενο οξυγόνο να υπερβαίνει τις συνήθεις ανάγκες της περιοχής και το τριχοειδικό και φλεβικό δίκτυο να γεμίζουν με μεγαλύτερο όγκο οξυαιμοσφαιρίνης, εν συγκρίσει με τον αντίστοιχο όγκο σε κατάσταση ηρεμίας (Σχήμα 18). Αυτή η τοπική αύξηση του όγκου οξυαιμοσφαιρίνης οδηγεί σε μείωση του βαθμού επίδρασης της δεοξυαιμοσφαιρίνης (η οποία, όπως προαναφέρθηκε, έχει παραμαγνητική συμπεριφορά) στην ομοιογένεια του μαγνητικού πεδίου, οδηγεί σε πιο έντονα φαινόμενα T2\* και σε τοπική αύξηση (0.5-5%) του μαγνητικού σήματος στην συγκεκριμένη περιοχή, όπου αυξήθηκε η νευρωνική

δραστηριότητα. Η διαφορά αυτή του μαγνητικού σήματος σε εικόνες βάρους T2\*, η οποία οφείλεται στην μεταβολή του λόγου οξυαιμοσφαιρίνης προς δεοξυαιμοσφαιρίνη, καλείται φαινόμενο BOLD (Blood Oxygen Level Dependent). Το φαινόμενο αυτό, χαρακτηρίζεται ως ένας έμμεσος ενδογενής δείκτης της νευρωνικής δραστηριότητας διαμέσου των μεταβολών της τοπικής ανομοιογένειας του μαγνητικού πεδίου και στο πεδίο της απεικόνισης αξιοποιείται με την τεχνική της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI). Στην ουσία, θα μπορούσε να ειπωθεί με απλά λόγια πως όταν η αιμοσφαιρίνη είναι στην οξυγονωμένη της μορφή (οξυαιμοσφαιρίνη) είναι διαμαγνητική ενώ όταν είναι στην μη οξυγονωμένη της μορφή (δεοξυαιμοσφαιρίνη) είναι παραμαγνητική και επομένως, ο βαθμός διαφοροποίησης της οξυγόνωσης του αίματος μεταβάλλει τις τοπικές μαγνητικές ιδιότητες, γεγονός που επιφέρει μικρές διαφοροποιήσεις στο μαγνητικό σήμα και υποδηλώνεται, έμμεσα, εγκεφαλική δραστηριότητα. (Tsougos, 2018)

Η χρήση της fMRI τεχνικής είναι ευρέως διαδεδομένη καθώς δύναται να πραγματοποιηθεί στην πλειοψηφία των μαγνητικών τομογράφων, υπάρχει δυνατότητα επανάληψής της και δεν απαιτείται η χορήγηση σκιαγραφικής ουσίας στον εξεταζόμενο. Στα πλεονεκτήματα της εν λόγω τεχνικής συγκαταλέγονται επίσης, η απουσία iontίζουσας ακτινοβολίας του μαγνητικού τομογράφου αλλά και η υψηλή χρονική και χωρική διακριτική της ικανότητα. Η fMRI, αν και ξεκίνησε στον ερευνητικό χώρο, κυρίως για την χαρτογράφηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας που προκαλούνταν από συγκεκριμένα εξωτερικά ερεθίσματα σε υγιείς εθελοντές, σύντομα επεκτάθηκε στην κλινική πράξη και εφαρμόζεται πλέον, για τη μελέτη νευρολογικών διαταραχών, κακώσεων ή όγκων του εγκεφάλου. (Tsougos, 2018)

Σχ. 18. Βασικές Αρχές του φαινομένου BOLD



Πηγή: Advanced MR Neuroimaging: From Theory to Clinical Practice, Tsougos, 2018.

### 2.3.2. Τεχνική BOLD

Η BOLD αποτελεί την βασική τεχνική απεικόνισης fMRI. Η τεχνική BOLD βρίσκεται σε πλήρη εξάρτηση από την περιεκτικότητα της δεοξυαιμοσφαιρίνης στο αίμα, η οποία υποδηλώνει την ύπαρξη ή μη αυξημένης νευρωνικής δραστηριότητας. (Tsougos, 2018)

Η λειτουργία του εγκεφάλου χρειάζεται υψηλή ποσότητα ενέργειας. Από τον συνολικό ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου που χρειάζεται για την εύρυθμη λειτουργία ολόκληρου του σώματος, ο εγκέφαλος απαιτεί περίπου το 20% και αντίστοιχα, το 15% της ροής του αίματος. Η ενέργεια αυτή, παράγεται από τη γλυκόζη διαμέσου της διεργασίας της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και παρέχεται στα βιολογικά συστήματα υπό μορφή 5'-αδενοσινο-τριφωσφορικού οξέος (5'-Adenosine Triphosphoric Acid, ATP). Επομένως, μπορεί εύκολα να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου είναι ένας καλός δείκτης του ρυθμού κατανάλωσης της ενέργειας. Η αυξημένη νευρωνική δραστηριότητα επιφέρει την αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου, το οποίο παρέχεται διαμέσου της αιματικής ροής. Έτσι, όταν ο εγκέφαλος δέχεται ένα εξωτερικό ερέθισμα και ως συνέπεια στο ερέθισμα αυτό, δραστηριοποιούνται

συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές, αυξάνονται οι ανάγκες του για οξυγόνο και κατ' επέκταση, η αιματική ροή στα συγκεκριμένα σημεία. (Tsougos, 2018)

Η παρουσία της αιμοσφαιρίνης είναι καταλυτικής σημασίας στην τεχνική απεικόνισης fMRI. Η αιμοσφαιρίνη είναι μία πρωτεΐνη, η οποία είναι πλούσια σε σίδηρο, περιέχεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και ευθύνεται για το έντονο κόκκινο χρώμα τους. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια χρησιμοποιούνται στην μεταφορά του οξυγόνου. Όταν το οξυγόνο είναι δεσμευμένο στην αιμοσφαιρίνη, αυτή ονομάζεται οξυαιμοσφαιρίνη και έχει διαμαγνητικές ιδιότητες, δηλαδή προκαλεί ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο ενώ, όταν το οξυγόνο δεν είναι δεσμευμένο στην αιμοσφαιρίνη ονομάζεται δεοξυαιμοσφαιρίνη και έχει παραμαγνητικές ιδιότητες, δηλαδή προκαλεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. (Κουμαριανός, 2013)

Η δεοξυαιμοσφαιρίνη, ούσα παραμαγνητική ουσία, περνώντας μέσα από τα αιμοφόρα αγγεία, είναι σε θέση να μεταβάλλει το τοπικό μαγνητικό πεδίο, προκαλώντας διαφορά στην μαγνητική επιδεκτικότητα ανάμεσα στο αγγείο και τον περιβάλλοντα ιστό. Οι διαφορές αυτές, στην μαγνητική επιδεκτικότητα είναι υπεύθυνες για την απώλεια της συμφασικότητας των πρωτονίων και επομένως, και του μαγνητικού σήματος καθώς μειώνεται το σήμα  $T2^*$ . Όταν το πεδίο δεν είναι ομοιόμορφο σε μεγάλο βαθμό, τότε θα υπάρξει μεγάλος αριθμός διαφορετικών συχνοτήτων σημάτων και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, την ταχύτερη εξασθένηση του μαγνητικού σήματος. Σε μία μαγνητική ακολουθία βάρους  $T2^*$ , η δεοξυαιμοσφαιρίνη (παραμαγνητική ουσία) που βρίσκεται στα αιμοφόρα αγγεία προκαλεί ταχύτερη εξασθένηση του σήματος ενώ το αρτηριακό αίμα που περιέχει οξυαιμοσφαιρίνη (διαμαγνητική ουσία) προκαλεί τη δημιουργία ενός ομοιογενέστερου μαγνητικού πεδίου και επομένως, της αύξησης του μαγνητικού σήματος. Η μαγνητική διαφορά που υπάρχει μεταξύ του πλήρως οξυγονωμένου και πλήρως αποξυγονωμένου αίματος είναι περίπου 0,08 ppm. (Tsougos, 2018)

Κατά την ενεργοποίηση του εγκεφάλου (π.χ. εξαιτίας ενός οπτικού ερεθίσματος), αρχικά παρατηρείται τοπική και προσωρινή αύξηση της δεοξυαιμοσφαιρίνης (επομένως και μείωση του μαγνητικού σήματος) καθώς η ζήτηση των κυττάρων για κατανάλωση οξυγόνου είναι αυξημένη. Στην συνέχεια όμως, αμέσως μετά το ερέθισμα, η κατανάλωση οξυγόνου στην περιοχή αντισταθμίζεται από την αύξηση της αιματικής ροής του οξυγονωμένου αίματος, η οποία επιφέρει αύξηση της οξυαιμοσφαιρίνης. Η μεταβολή της αιματικής ροής είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται και συνεπώς,

σε τριχοειδικό επίπεδο, παρατηρείται μακροσκοπικά αύξηση του οξυγονωμένου αίματος (αρτηριακού) έναντι του αποξυγονωμένου (φλεβικού). (Κουμαριανός, 2013)

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ανάλογη με το σήμα BOLD που καταγράφεται στις εξετάσεις fMRI (όσο μεγαλύτερη η ένταση του μαγνητικού πεδίου τόσο υψηλότερο το σήμα), γεγονός που καθιστά ευκολότερη και την επεξεργασία των δεδομένων. Σε μία εξέταση fMRI, επειδή ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) είναι χαμηλός, απαιτούνται πολλές επαναλήψεις και σαρώσεις όπου ο εξεταζόμενος υποβάλλεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, εναλλάξ, σε ένα εξωτερικό ερέθισμα και σε περίοδο ανάπαυλας, ούτως ώστε να είναι σε θέση να δημιουργηθεί και να ταυτοποιηθεί ένα σημαντικό σήμα με επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά. Πιο αναλυτικά, οι εικόνες που ελήφθησαν κατά την διάρκεια διέγερσης αφαιρούνται από τις εικόνες της διάρκειας ηρεμίας και μέσω πολύπλοκων στατιστικών υπολογισμών, δημιουργούνται παραμετρικοί χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τις περιοχές με αυξημένη ροή αίματος και υψηλό σήμα. Οι παραμετρικοί αυτοί χάρτες, επιπροβάλλονται σε τρισδιάστατες ή δυσδιάστατες μορφολογικές εικόνες για την ανατομική αναγνώριση των τμημάτων εγκεφαλικής ενεργοποίησης. Η ένταση του σήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος ποσοτικοποιείται και παριστά την χρονική του εξέλιξη κατά τις φάσεις διέγερσης και ηρεμίας. (Κουμαριανός, 2013)

Η μελέτη του BOLD φαινομένου πραγματοποιείται με Spin Echo ή Gradient Echo Single shot EPI ακολουθίες. Με Gradient Echo-EPI ακολουθίες καταγράφεται υψηλότερο σήμα BOLD κυρίως από τις φλέβες, σε αντίθεση με τις Spin Echo-EPI ακολουθίες που καταγράφεται χαμηλότερο σήμα BOLD κυρίως από το τριχοειδικό δίκτυο του εγκεφάλου. (Κουμαριανός, 2013)

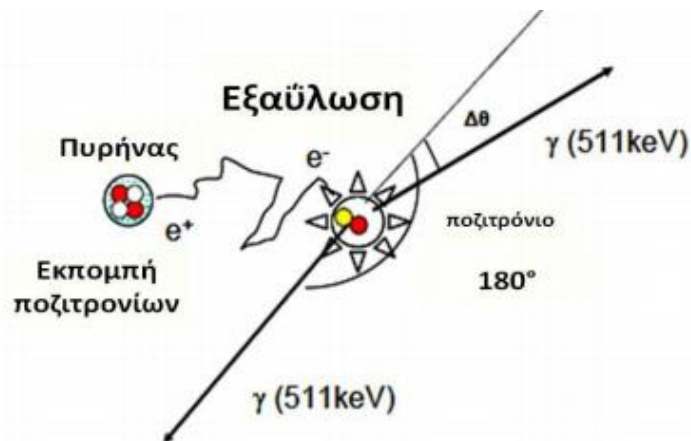
## **2.4. Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET)**

### **2.4.1. Γενικό μέρος**

Βασική αρχή της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography – PET) είναι η χορήγηση στον εξεταζόμενο ραδιενεργών ισοτόπων, τα οποία εκπέμπουν ποζιτρόνια, υπό μορφή ραδιοφαρμάκου. Τα ποζιτρόνια χαρακτηρίζονται ως τα αντισωματίδια των ηλεκτρονίων, δηλαδή έχουν ίδια μάζα αλλά αντίθετο φορτίο (είναι θετικά φορτισμένα). Σύμφωνα με την αρχή ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας του Albert Einstein ( $E = mc^2$ ), όταν ένα ποζιτρόνιο ( $e^+$ ) συναντηθεί με ένα ηλεκτρόνιο ( $e^-$ ), τα δύο

σωματίδια εξαϋλώνονται και στη θέση τους παράγονται δύο φωτόνια- $\gamma$ , τα οποία είναι ίσης ενέργειας (511 keV) και εκ διαμέτρου αντίθετης φοράς (Σχήμα 19). Ένα σύστημα PET ανιχνεύει αυτά τα φωτόνια, προσδιορίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο, το σημείο από όπου έγινε η εκπομπή του ποζιτρονίου και έτσι καθίσταται δυνατή η λειτουργική απεικόνιση των ανατομικών δομών, στις οποίες υπάρχει αυξημένη καθήλωση του ραδιοφαρμάκου. (Κανδαράκης, 2006)

Σχ.19. Το φαινόμενο της εξαϋλωσης



**Πηγή:** Σύγκριση της Σταδιοποίησης στον Καρκίνο του Πνεύμονα μεταξύ PET-FDG/CT, CT και Παθολογοανατομικών Ευρημάτων, Ασημομύτης, 2018.

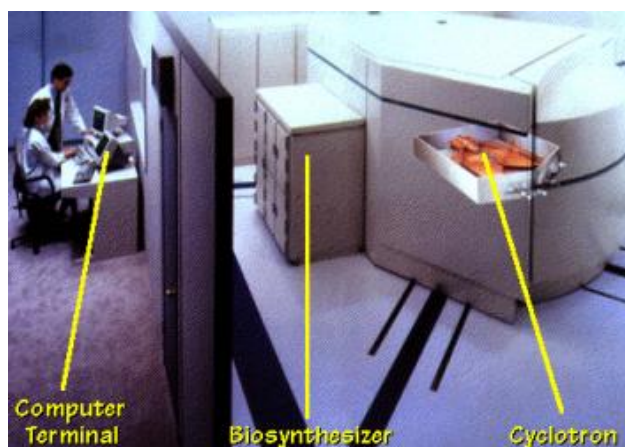
Τα ραδιενεργά ισότοπα παράγονται σε κύκλωτρα. Το κύκλωτρο είναι μία κυκλική επιταχυντική διάταξη, η οποία προτάθηκε από τον E.O. Lawrence το 1929 στο Πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνιας και κατασκευάστηκε ένα χρόνο αργότερα από τον Livingston. Στην ουσία, πρόκειται για έναν κυκλικό επιταχυντή φορτισμένων σωματιδίων, η επιτάχυνση των οποίων συντελείται με την συνδρομή ηλεκτρικού πεδίου που εναλλάσσεται και υπό την επίδραση ομογενούς και σταθερού μαγνητικού πεδίου, κάθετο στην τροχιά τους. (Γεωργίου κ.α., 2004)

Πιο συγκεκριμένα, το κύκλωτρο αποτελείται από έναν μεγάλο σιδερένιο κυκλικό ηλεκτρομαγνήτη σχήματος H, οι σπλισμοί του οποίου, διαρρέονται από σταθερό ρεύμα. Ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη παράγεται ομογενές μαγνητικό πεδίο (έντασης περίπου 2 Tesla) και τα σωματίδια κινούνται σε κυκλική τροχιά και με συχνότητα περιστροφής (συχνότητα κυκλώτρου), η οποία δεν είναι εξαρτώμενη από την ταχύτητα των σωματιδίων. Μεταξύ των πόλων του μαγνήτη υπάρχουν δύο χάλκινοι ημισφαιρικοί

θάλαμοι κενού, οι οποίοι είναι οι πόλοι του ηλεκτρικού πεδίου που επιταχύνει τα σωματίδια. Οι θάλαμοι αυτοί, συνιστούν τα ηλεκτρόδια και εξαιτίας του σχήματος D που έχουν ονομάζονται dees. Μεταξύ των δύο dees εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση (τάση RF) συχνότητας  $\omega_{RF} = \omega_z$ , ούτως ώστε να συναντάται από τα σωματίδια ένα πεδίο επιτάχυνσης στο διάκενο. (Γεωργίου κ.α., 2004)

Μεταξύ των δύο πόλων του μαγνήτη, στο κέντρο, υπάρχει μια πηγή ιόντων, η οποία εκπέμπει τα σωματίδια. Τα σωματίδια κινούνται σε κυκλική τροχιά και καθώς αυτή διέρχεται από το διάκενο μεταξύ των δύο dees, αυτά επιταχύνονται και συνεχίζουν την πορεία τους σε καινούρια διαδρομή με μεγαλύτερη τροχιά. Καθώς τα σωματίδια κερδίζουν συνεχώς ενέργεια, εκτελούν ολοένα διαδρομή με μεγαλύτερη τροχιά και κινούνται σπειροειδώς έως ότου βρεθούν στην άκρη του μαγνήτη. Εκεί, με τη συνδρομή ενός ηλεκτροδίου, αποκλίνουν και κατευθύνονται σε ένα στόχο επάνω στον οποίο, αλληλεπιδρούν με τους σταθερούς πυρήνες καθιστώντας τους ραδιενεργούς. Για να παραχθεί ένα συγκεκριμένο ραδιενεργό ισότοπο πρέπει να επιλεγθούν και τα κατάλληλα ιόντα αλλά και το κατάλληλο υλικό του στόχου. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ο καθαρισμός του ραδιενεργού ισότοπου από τις προσμίξεις με άλλα ισότοπα ή χημικές ουσίες και εν τέλει, ανάλογα με την μελέτη της ασθένειας, επισημαίνεται με τον κατάλληλο ιχνηθέτη έτσι ώστε να καθηλωθεί στις περιοχές ενδιαφέροντος. Αυτή η διαδικασία καλείται βιοσύνθεση και δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει χρονικά το διπλάσιο του χρόνου ημιζωής του ραδιενεργού ισότοπου (Σχήμα 20). (Κανδαράκης, 2006)

Σχ. 20. Σύστημα PET με ενσωματωμένο κύκλοτρο



**Πηγή:** Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων με Εξαΰλωση σε Τρία Φωτόνια,  
Ζογλοπιτου, 2010.

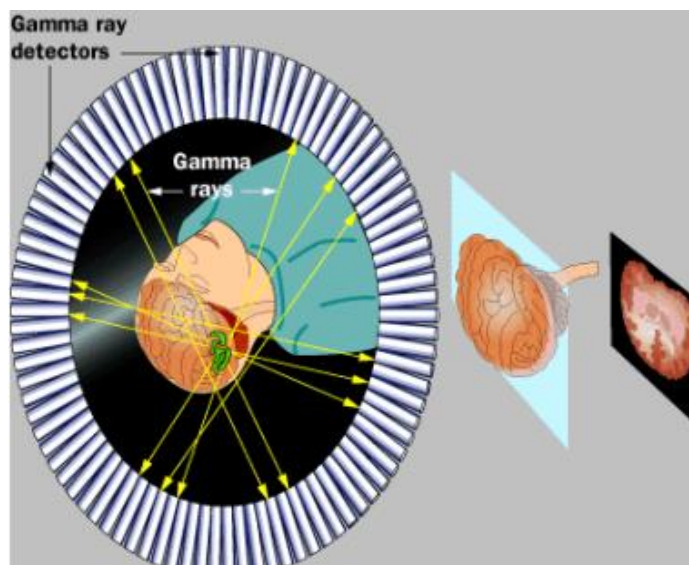
Τα ραδιενεργά ισότοπα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των ραδιοφαρμάκων στην PET αποτελούν τους δομικούς λίθους πάρα πολλών βιολογικών μορίων και φαρμάκων και τα κυριότερα εξ' αυτών είναι:

- ✓ το Φθόριο-18 ( $^{18}\text{F}$ ) με χρόνο ημιζωής ( $T_{1/2}$ ) 110 min,
- ✓ το Οξυγόνο-15 ( $^{15}\text{O}$ ) με χρόνο ημιζωής ( $T_{1/2}$ ) 2,1 min,
- ✓ το Άζωτο-13 ( $^{13}\text{N}$ ) με χρόνο ημιζωής ( $T_{1/2}$ ) 10 min,
- ✓ ο Άνθρακας-11 ( $^{11}\text{C}$ ) με χρόνο ημιζωής ( $T_{1/2}$ ) 20 min κ.α.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ραδιοφάρμακο στην PET είναι το Φθόριο-18-Φθοριο-Δεοξυ-Γλυκόζη ( $^{18}\text{F}$ -FDG), το οποίο έχει αντίστοιχη συμπεριφορά με αυτή της κανονικής γλυκόζης εντός του ανθρώπινου οργανισμού και επομένως, καταδεικνύει τόσο τον αερόβιο όσο και τον αναερόβιο μεταβολισμό της. (Γώγου, 2004)

Στον τομέα της νευρολογίας (Σχήμα 21), η PET είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την φυσιολογική ή μη λειτουργία του εγκεφάλου καθώς και για την ανάδειξη εγκεφαλικών δυσλειτουργιών όπως είναι η άνοια, η επιληψία, η νόσος Parkinson, η νόσος Alzheimer κ.α. Επιπλέον, προσφέρει την δυνατότητα διάκρισης του νεκρωμένου από το βιώσιμο τμήμα του εγκεφάλου έπειτα από εγκεφαλικό επεισόδιο. (Γώγου, 2015)

Σχ. 21. Ανάκτηση εικόνων από Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET)



**Πηγή:** Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων με Εξαΰλωση σε Τρία Φωτόνια,  
Ζογλοπιτου, 2010.



#### **2.4.2. Τεχνική έγχυσης $^{18}\text{F}$ -FDG PET**

Όπως προαναφέρθηκε, το πιο διαδεδομένο ραδιοφάρμακο με ευρεία χρήση στην PET είναι το Φθόριο-18-Φθοριο-Δεοξυ-Γλυκόζη ( $^{18}\text{F}$ -FDG). Στο συγκεκριμένο ραδιοφάρμακο το ραδιενεργό ισότοπο είναι το Φθόριο-18 ( $^{18}\text{F}$ ) και ο ιχνηθέτης η Φθοριο-Δεοξυ-Γλυκόζη (FDG). Το  $^{18}\text{F}$  έχει χρόνο ημιζωής 110 λεπτά και εκπέμπει ποζιτρόνια ( $e^+$ ) ενώ η FDG αποτελεί ανάλογο της γλυκόζης και χρησιμοποιείται ως δείκτης του μεταβολισμού της.

Το  $^{18}\text{F}$ -FDG μεταφέρεται μέσα στα κύτταρα με πρωτεΐνες της κυτταρικής μεμβράνης και φωσφορυλιώνεται από την εξοκινάση. Ενώ αρχικά, η FDG μεταβολίζεται σαν τη γλυκόζη, μετά τη φωσφορυλίωση, δεν υφίσταται περαιτέρω μεταβολισμό προς γλυκόλυση ή σύνθεση γλυκογόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η φωσφορυλιωμένη FDG να βρίσκεται εγκλωβισμένη εντός των κυττάρων (μεταβολική παγίδευση). Στην ουσία, παρατηρείται πως παρόλο που η γλυκόζη ακολουθεί κανονικά την διαδικασία της γλυκόλυσης, το φωσφορυλιωμένο μόριο μένει αδιάσπαστο, μέσα στο κύτταρο και παγιδευμένο στους ιστούς καθώς δεν μεταβολίζεται από το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το νερό. Επομένως, όπως είναι ευνόητο, τα κύτταρα με αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα χαρακτηρίζονται και από αυξημένη συγκέντρωση του  $^{18}\text{F}$ -FDG. (Ζάκου, 2020)

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως έπειτα από μία έγχυση  $^{18}\text{F}$ -FDG στον εξεταζόμενο, παρατηρούνται και αρκετά σημεία, στα οποία υπάρχει φυσιολογική συγκέντρωση. Κυρίως, συσσωρεύεται σε φυσιολογικά πλαίσια σε όργανα, τα οποία χρησιμοποιούν τη γλυκόζη για τον μεταβολισμό τους. Τέτοια είναι το μυοκάρδιο, ο εγκέφαλος, ο θυρεοειδής αδένας, οι γονάδες, οι μύες, οι σιελογόνοι αδένες, ο γαστρεντερικός σωλήνας και τα ουροφόρα σωληνάκια. (Ασημομύτης, 2018)

### **3. Δυσκολίες μάθησης**

#### **3.1. Ορισμός δυσκολιών μάθησης**

Σύμφωνα με το Saskatchewan Learning (2004), οι δυσκολίες της μάθησης (Learning Disabilities – LD) αποτελούν μία σειρά συνθηκών οι οποίες, είναι σε θέση να επηρεάσουν την απόκτηση, τη διατήρηση, την οργάνωση, την κατανόηση και τη χρήση των λεκτικών ή μη πληροφοριών. Παρόλο που, έως και σήμερα, δεν υφίσταται ένας κοινά αποδεκτός ορισμός για τις δυσκολίες της μάθησης, ως καταλληλότερος, κρίνεται από πολλούς, ο ορισμός του Kirk (1962), σύμφωνα με τον οποίο: «Με τον όρο δυσκολίες της μάθησης

περιγράφεται μια ομάδα ατόμων με διαταραχές στο λόγο, στη γλώσσα, στην ανάγνωση και στις δεξιότητες που σχετίζονται με την κοινωνική αλληλεπίδραση. Αυτή η ομάδα δεν περιλαμβάνει άτομα με αισθητηριακές μειονεξίες όπως η τύφλωση ή η κώφωση [...]. Επίσης από αυτή την ομάδα εξαιρούνται και τα άτομα με γενικευμένη νοητική καθυστέρηση».

Από το 1962, όταν ο Kirk πρότεινε τον συγκεκριμένο ορισμό, έως και σήμερα, οι επιστήμονες έχουν κατά καιρούς προτείνει πληθώρα ορισμών για τις μαθησιακές δυσκολίες όμως, όλοι υπόκεινται σε διαρκή κριτική ανάλυση και προσαρμογή. Ένας εξ' αυτών, ο οποίος τυγχάνει ευρείας αποδοχής από την επιστημονική κοινότητα και χαρακτηρίζεται από την επισήμανση της ετερογένειας αλλά και της επιμονής των μαθησιακών δυσκολιών, είναι ο ορισμός της NJCLD (National Joint Committee on Learning Disabilities, 1988), σύμφωνα με τον οποίο: «Οι δυσκολίες της μάθησης αποτελούν έναν γενικό όρο και αναφέρονται σε μια ανομοιογενή ομάδα διαταραχών που εκδηλώνονται με σημαντικές δυσκολίες στην απόκτηση και χρήση ικανοτήτων ακρόασης, ανάγνωσης, ομιλίας, γραφής και συλλογισμού ή μαθηματικής ικανότητας. Οι συγκεκριμένες διαταραχές είναι εγγενείς στο άτομο, οφείλονται σε δυσλειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος και δύναται να υφίστανται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του. Με τις δυσκολίες της μάθησης είναι πιθανό να συνυπάρχουν συμπεριφορικά προβλήματα αυτοελέγχου, κοινωνικής αντίληψης και αλληλεπίδρασης όμως, οι μαθησιακές δυσκολίες δεν συνιστούν από μόνες τους τέτοια προβλήματα. Παρόλο που οι μαθησιακές δυσκολίες μπορεί να συνοδεύονται από άλλες καταστάσεις μειονεξίας (π.χ. νοητική καθυστέρηση, αισθητηριακή βλάβη, συναισθηματική διαταραχή) ή εξωτερικές επιδράσεις (π.χ. πολιτισμικές διαφορές ή ανεπαρκής και ακατάλληλη διδασκαλία) δεν αποτελούν το άμεσο αποτέλεσμα αυτών των καταστάσεων ή επιδράσεων». (Hamill, 1990)

Οι δυσκολίες της μάθησης, τα τελευταία χρόνια, αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία από τις ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες. Στην Ελλάδα, περίπου ο μισός πληθυσμός από τους μαθητές που φοιτούν σε Σχολικές Μονάδες Ειδικής Αγωγής έχουν διαγνωσθεί με μαθησιακές δυσκολίες. Αξίζει να αναφερθεί πως οι μαθησιακές δυσκολίες εμφανίζονται πιο συχνά στα αγόρια από ότι στα κορίτσια και αυτό φαίνεται πως οφείλεται, κατά κύριο λόγο, σε βιολογικούς παράγοντες. (Μήτσιου – Δάχτυλα, 2008)

Η ύπαρξη των δυσκολιών της μάθησης είναι πιθανό να οφείλεται σε πληθώρα παραγόντων, ορισμένοι από τους οποίους είναι: οι γενετικές αλλοιώσεις, οι βιοχημικές ανωμαλίες, οι προγεννητικοί, περιγεννητικοί ή μεταγεννητικοί παράγοντες και ορισμένα φυσικά ή συναισθηματικά αίτια. Στους προγεννητικούς παράγοντες συγκαταλέγονται ορισμένες μολυσματικές νόσοι ή ιογενείς λοιμώξεις της εγκύου, η ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η νεφρική ανεπάρκεια, ο διαβήτης κ.α. Στους περιγεννητικούς παράγοντες συγκαταλέγονται οι εγκεφαλικές κακώσεις, η ενδοκρανιακή αιμωραγία, ο ίκτερος κ.α. Στους μεταγεννητικούς παράγοντες συγκαταλέγονται μικροτραυματισμοί του εμβρύου, εγκεφαλικοί όγκοι, φλεγμονές εγκεφάλου, εγκεφαλίτιδα, μηνιγγίτιδα κ.α. Ακόμη, στα φυσικά αίτια περιλαμβάνονται οι φυσικές μειονεξίες και η εξελικτική ανωριμότητα ενώ τέλος, στα συναισθηματικά αίτια περιλαμβάνονται η ιδιοσυγκρασία, το άγχος, η άρνηση και η κατάθλιψη του ατόμου. (Μήτσιου – Δάχτυλα, 2008)

Με τον όρο «μαθησιακές δυσκολίες» χαρακτηρίζεται μία ανομοιογενής ομάδα διαταραχών, οι οποίες οφείλονται σε διαταραχές του Κ.Ν.Σ. και μπορεί να εμφανιστούν σε άτομα οποιασδήποτε ευφυΐας και ηλικίας. Οι διαταραχές αυτές, αφορούν στην αντίληψη, στη γραφή, στη γλώσσα, στην ομιλία, στη μνήμη και στη μάθηση, στην αριθμητική, στην προσοχή, στη σκέψη, στην κίνηση, στο συλλογισμό και στους μηχανισμούς επίλυσης. Τα άτομα με δυσκολίες της μάθησης είναι πιθανό να έχουν ορισμένα ή ακόμα και όλα τα χαρακτηριστικά αυτής της διαταραχής. Αυτό, επιβάλλει τη σωστή κατανόηση των χαρακτηριστικών που φέρει κάθε άτομο και των αναγκών που έχει, από τους ειδικούς, με σκοπό τον σχεδιασμό της κατάλληλης παρέμβασης. (Μήτσιου – Δάχτυλα, 2008)

Αν και τα άτομα με δυσκολίες της μάθησης παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά εντούτοις, υπάρχουν αρκετές διαφορετικές κατηγορίες μαθησιακών δυσκολιών. Τα συνηθέστερα είδη δυσκολιών της μάθησης είναι εκείνα που επηρεάζουν τους τομείς της ανάγνωσης, των μαθηματικών και της γραπτής έκφρασης. Σύμφωνα λοιπόν, με τα ανωτέρω, οι μαθησιακές δυσκολίες διακρίνονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες: δυσλεξία, δυσαριθμησία, δυσγραφία και μαθησιακή διαταραχή που δεν προσδιορίζεται διαφορετικά (σε αυτήν εμπίπτουν εκείνες οι περιπτώσεις που δεν ισχύει μία από τις ανωτέρω κατηγορίες). (Πολυχρόνη κ.α., 2006)

### 3.2. Διάκριση μαθησιακών δυσκολιών και προβλημάτων μάθησης

Στο εκπαιδευτικό σύστημα απαντάται ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων, το οποίο περιγράφεται λανθασμένα με τον όρο «μαθησιακές δυσκολίες». Αυτό το γεγονός έχει επιφέρει σύγχυση στους επιστημονικούς κύκλους των παιδαγωγών και των ψυχολόγων καθώς δημιουργείται πληθώρα προβλημάτων στη διαφοροδιάγνωση αλλά και στην ταξινόμηση των δυσκολιών της μάθησης. Ως εκ τούτου, θεωρείται αναγκαία η διάκριση των μαθησιακών διαταραχών σε μαθησιακές δυσκολίες και σε προβλήματα μάθησης και συμπεριφοράς. Επιπλέον, κάτι τέτοιο επιβάλλεται και από το γεγονός πως υπάρχουν ασυμφωνίες μεταξύ των ερευνητών ως προς τον τρόπο προσέγγισης, ερμηνείας και ορισμού των μαθησιακών δυσκολιών ή των προβλημάτων της μάθησης. (Κοσμίδου και Κωνσταντίνου, 2011)

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας λανθασμένης περιγραφής και σύγχυσης δύο διαφορετικών διαταραχών της μάθησης υπό τον όρο «μαθησιακές δυσκολίες» είναι η συσχέτιση δυσκολιών συναφών με την ανάγνωση (π.χ. δυσλεξία) με προβλήματα, τα οποία σχετίζονται με δυσλειτουργία της προσοχής, την αδυναμία εστίασης – ελέγχου της συμπεριφοράς και τις φτωχές επιτελικές λειτουργίες (π.χ. ΔΕΠ/Υ).

Σύμφωνα με την Dansesco (1997), ένας από τους βασικούς λόγους που οδηγούν σε αυτή τη σύγχυση είναι πως πολλοί γονείς παιδιών με μαθησιακές διαταραχές θεωρούν πως τα προβλήματα μάθησης είναι ένα είδος ιατρικού προβλήματος και τα αντιμετωπίζουν ως ασθένεια. Επίσης, φαίνεται πως αρκετοί εκπαιδευτικοί ή/και ψυχολόγοι, όταν αντιλαμβάνονται πως κάποια άτομα εμφανίζουν ένα κοινό χαρακτηριστικό με άτομα που έχουν διαγνωσθεί με ΔΕΠ/Υ, έχουν την τάση να γενικεύουν το φαινόμενο και να κάνουν λανθασμένη χρήση του όρου «προβλήματα μάθησης και συμπεριφοράς». Επιπλέον, υπάρχει δυσκολία στην κατανόηση του τρόπου συμμετοχής του εγκεφάλου, του Κ.Ν.Σ. και γενετικών λόγων στην ύπαρξη ή την ανάπτυξη των εν λόγω προβλημάτων.

Η ταξινόμηση των μαθησιακών δυσκολιών είναι πιο λειτουργικό να γίνεται ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας πληροφοριών που επηρεάζεται ή με τις ειδικές δυσκολίες, οι οποίες προκαλούνται από αδυναμίες κατά την επεξεργασία των πληροφοριών. Για να καταστεί δυνατή αυτή η ταξινόμηση πρέπει να αξιοποιηθούν ορισμένα μοντέλα επεξεργασίας πληροφοριών. Τα μοντέλα αυτά, καθορίζουν τέσσερα στάδια επεξεργασίας και ενσωμάτωσης των πληροφοριών κατά τη μάθηση: την

εισαγωγή, τη σημασιολογική επεξεργασία και την ενσωμάτωση των πληροφοριών, τη μνημονική ή λειτουργική επεξεργασία και την ανταπόκριση στο ερέθισμα. (Κοσμίδου και Κωνσταντίνου, 2011)

#### **4. Απεικονίσεις του εγκεφάλου στις διαταραχές της μάθησης**

##### **4.1. Δυσλεξία**

Σύμφωνα με τον Πόρποδα (1997), ο όρος «δυσλεξία» περιγράφει τις μαθησιακές δυσκολίες της ανάγνωσης και της ορθογραφημένης γραφής που δεν σχετίζονται με άλλες διανοητικές ή οργανικές διαταραχές αλλά είναι ειδικές και προκαθορίζονται οργανικά.

Ο καθορισμός ενός ευρέως αποδεκτού ορισμού της δυσλεξίας έχει αποδειχθεί μία αρκετά δύσκολη υπόθεση καθώς θεωρείται ταυτόχρονα διαφορετικός αλλά και παρόμοιος με άλλους όρους σχετικούς με προβλήματα ανάγνωσης και γραφής, όπως είναι οι αναγνωστικές και οι ειδικές μαθησιακές δυσκολίες. Το γεγονός αυτό, αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα στην διάγνωση της δυσλεξίας. Επιπλέον, η εν λόγω μαθησιακή δυσκολία χαρακτηρίζεται ως μία «πολυπρόσωπη» διαταραχή καθώς διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και το επίπεδο δυσκολιών ποικίλλει.

Το 1997 η Βρετανική Ένωση για την δυσλεξία πρότεινε τον εξής ορισμό: «Η δυσλεξία αποτελεί μια πολύπλοκη νευρολογική κατάσταση, η οποία είναι ιδιοσυστατική στην προέλευσή της και τα συμπτώματα δύναται να επηρεάσουν αρκετές περιοχές της μάθησης και της λειτουργίας. Μπορεί να περιγραφεί ως μία ιδιαίτερη δυσκολία στην ανάγνωση, στον γραπτό λόγο και στην ορθογραφία. Εξ' αυτών των περιοχών δύναται να επηρεαστούν μία ή περισσότερες ενώ επίσης, μπορεί να εμπλέκονται η αριθμητική ικανότητα, η μουσική (δεξιότητα χειρισμού συμβόλων), η κινητική λειτουργία και οι οργανωτικές δεξιότητες. Παρόλα αυτά, συνδέεται πρωτίστως με το χειρισμό του γραπτού λόγου, αν και, σε κάποιο βαθμό, μπορεί να επηρεάζεται και ο προφορικός λόγος».

Η δυσλεξία φέρει ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία διαφέρουν από άτομο σε άτομο ενώ οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα άτομα αυτά, μεταβάλλονται καθώς μεγαλώνουν αφού η δυσλεξία αποτελεί μία αναπτυξιακή διαταραχή. Τα τρία τυπικά χαρακτηριστικά της είναι η αδυναμία στη φωνολογική ενημερότητα, στη λεκτική μνήμη και στην ταχύτητα της λεκτικής επεξεργασίας. Υπάρχουν ωστόσο, αρκετά ακόμα

συμπτώματα που είναι ιδιαίτερος χρήσιμα ώστε να πραγματοποιηθεί η διάγνωση της εν λόγω μαθησιακής δυσκολίας, όπως είναι: η δυσκολία στη φωνολογική ενημερότητα, η φτωχή βραχυπρόθεσμη λεκτική μνήμη, η φτωχή σειροθέτηση και ακολουθίες, η φτωχή ορθογραφία, η αδεξιότητα, η δυσκολία στη γρήγορη επεξεργασία των πληροφοριών, η περιορισμένη αίσθηση ρυθμού, η αδυναμία συγκέντρωσης, η περιορισμένη λεκτική ευχέρεια, η μη σταθερή προτίμηση χεριού, οι περιορισμένες φωνητικές δεξιότητες, η περιορισμένη λεκτική ευχέρεια, η συχνή αντιστροφή των γραμμάτων, η περιορισμένη ικανότητα νοερών υπολογισμών, η δυσκολία στην ομιλία και στη γλώσσα και τέλος, η χαμηλή αυτοεκτίμηση και άγχος που έχει το άτομο σε περίπτωση που χρειαστεί να διαβάσει φωναχτά. (Πόρποδας, 1997)

Όπως προαναφέρθηκε, η δυσλεξία είναι μία πολύπλευρη διαταραχή από την οποία, απουσιάζει η τυπική συμπτωματολογία καθώς ο κάθε άνθρωπος μπορεί να εκδηλώσει την εν λόγω διαταραχή με διαφορετικό τρόπο. Το γεγονός αυτό, καθιστά τη διάγνωση της δυσλεξίας αλλά και την διαφοροδιάγνωσή της από άλλες διαταραχές της ανάγνωσης εξαιρετικά δύσκολη. Σε αυτή την προσπάθεια, πολύτιμος σύμμαχος είναι οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι όπως είναι το εγκεφαλογράφημα, η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Επιπλέον, είναι απαραίτητο να διεξαχθεί ένας εκτενής και λεπτομερής έλεγχος με σταθμισμένα tests, όλων των ικανοτήτων του ατόμου, ώστε να οργανωθεί το κατάλληλο, ως προς τις ανάγκες του, πρόγραμμα θεραπείας. Τέλος, είναι εξαιρετικά σημαντικό η διάγνωση να γίνει όσο το δυνατόν νωρίτερα, ούτως ώστε να διευκολυνθεί η αποκατάσταση (η διάγνωση, τυπικά, είναι αδύνατον να γίνει πριν την ηλικία των 7 ετών καθώς το άτομο που εξετάζεται θα πρέπει να γνωρίζει ανάγνωση και γραφή). (Turner, 1997).

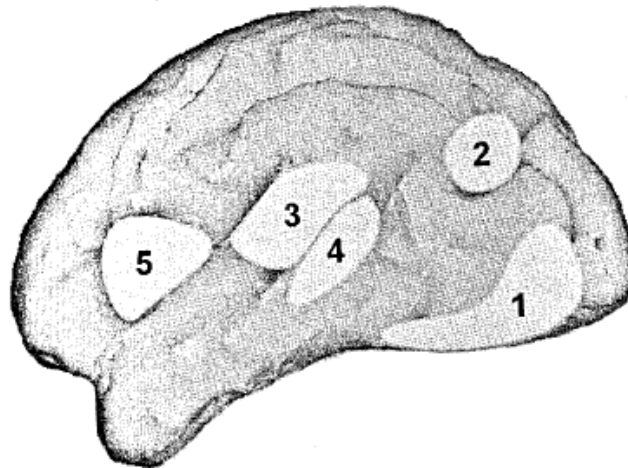
Ο απώτερος στόχος της διδασκαλίας της ανάγνωσης είναι η εδραίωση της ικανότητας να αναγνωρίζονται σχεδόν αυτόματα οι γραπτές λέξεις και να καθίσταται κατανοητή η σημασία τους. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από έναν αριθμό εξειδικευμένων διεργασιών της ανάγνωσης και από γενικές ικανότητες όπως είναι η μνήμη και η προσοχή. Κατά την διάρκεια των πρώτων σταδίων εκμάθησης της ανάγνωσης, οι περισσότεροι αναγνώστες προσεγγίζουν άγνωστες λέξεις φωνολογικά, επιχειρώντας να τις συλλαβίσουν (σχηματίζουν συλλαβές από τη συνεκφορά φωνημάτων). Καθώς αποκτούν εμπειρία στη διαδικασία της φωνολογικής ανάγνωσης, η

αναγνώριση των λέξεων αρχίζει να γίνεται με αμεσότερο τρόπο επιτυγχάνοντας γρήγορη και αυτόματη ανάγνωση. Με τον συνδυασμό των δεδομένων από μελέτες βλαβών και από μελέτες που χρησιμοποιούν επεμβατικές όσο και μη επεμβατικές μεθόδους χαρτογράφησης του εγκεφάλου, έχει καταστεί δυνατή η ταυτοποίηση του αδρού περιγράμματος του μηχανισμού που καθιστά εφικτή την ταχεία αναγνώριση των γραπτών λέξεων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 22, στο απολύτως απαραίτητο κομμάτι του μηχανισμού αυτού περιλαμβάνονται δύο κυρίως τμήματα στην οπίσθια χώρα του αριστερού ημισφαιρίου. Το πρώτο είναι το κροταφο-βρεγματικό τμήμα, το οποίο βρίσκεται στο οπίσθιο τμήμα της άνω κροταφικής έλικας ενώ εκτείνεται και σε τμήμα της υπερχειλίας έλικας και περιλαμβάνει τη γωνιώδη έλικα και την περιοχή του Wernicke. Το δεύτερο είναι το κροταφο-ινιακό τμήμα, το οποίο περιλαμβάνει συνειρμικές περιοχές του οπτικού φλοιού που βρίσκονται στη γλωσσοειδή και τη σφηνοειδή έλικα στη βάση του εγκεφάλου και επίσης ένα τμήμα της μέσης κροταφικής έλικας. Με βάση όλα τα υπάρχοντα δεδομένα, το κροταφο-βρεγματικό τμήμα φαίνεται να υποστηρίζει νευροφυσιολογικές διεργασίες, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη φωνολογική αποκωδικοποίηση (περιοχή του Wernicke) και την αντιστοίχιση των γραπτών συμβόλων με φωνολογικές αναπαραστάσεις (γωνιώδης έλικα). Νευροφυσιολογικές διεργασίες που πραγματώνονται στο κροταφο-ινιακό τμήμα του μηχανισμού θεωρείται ότι είναι υπεύθυνες για τη γραφημική επεξεργασία των γραπτών ερεθισμάτων αναφορικά με αποθηκευμένες αναπαραστάσεις της ορθογραφίας των γνωστών, ως προς τον αναγνώστη, λέξεων. Ένα τρίτο τμήμα του υποτιθέμενου μηχανισμού περιλαμβάνει την περιοχή του Broca στην κατώτερη μετωπιαία έλικα, και φαίνεται να διαδραματίζει υποβοηθητικό ρόλο κυρίως κατά την ανάγνωση νέων λέξεων και ψευδολέξεων. Το μετωπιαίο τμήμα του μηχανισμού της ανάγνωσης πιθανώς να εμπλέκεται στην κωδικοποίηση των φωνολογικών χαρακτηριστικών του γραπτού λόγου αναφορικά με το κινητικό πρόγραμμα, το οποίο απαιτείται για την εκφορά τους. (Σίμος, Π. κ.α., 2004)

Το 1980 ο Duffy et al αλλά και το 1983 η Denckla χρησιμοποίησαν την μέθοδο του εγκεφαλογραφήματος και διαπίστωσαν ότι στα άτομα με δυσλεξία εμφανίζεται δυσλειτουργία των σημείων που βρίσκονται στην περιοχή Broca και Wernicke αλλά και στη γωνιώδη έλικα. Οι εν λόγω περιοχές είναι υπεύθυνες για τα πεδία της γλώσσας και

της ανάγνωσης στο αριστερό εγκεφαλικό ημισφαίριο. Επιπλέον, τα άτομα με δυσλεξία φάνηκε να έχουν κύματα θ υψηλότερης τάσης σε σχέση με άτομα χωρίς δυσλεξία.

Σχ. 22. Διαγραμματική παρουσίαση των περιοχών που συνθέτουν τον μηχανισμό του εγκεφάλου που ευθύνεται για τη λειτουργία της ανάγνωσης.



Σημείωση: (1) Κροταφο-νιακή περιοχή, (2) Γωνιώδης έλικα, (3) Κροταφο-βρεγματική περιοχή, (4) Μέση κροταφική έλικα, (5) Κάτω μετωπιαία έλικα.

**Πηγή:** Η Λειτουργία της Ανάγνωσης και οι Διαταραχές της: Η Συμβολή των Μεθόδων Λειτουργικής Απεικόνισης του Εγκεφάλου, Σίμος, Π. κ.α., 2004.

Το 2006 έλαβε χώρα μία μελέτη fMRI. Η μελέτη αυτή των Shaywitz et al. έδειξε πως στα άτομα με ιστορικό δυσλεξίας υπήρχε διαταραχή των δύο οπίσθιων εγκεφαλικών συστημάτων του αριστερού ημισφαιρίου: το ένα εντός της βρεγματικής-κροταφικής περιοχής και το άλλο εντός της ινιακής-κροταφικής περιοχής. Επιπλέον, βρέθηκε αντισταθμιστική εμπλοκή του πρόσθιου συστήματος γύρω από την κατώτερη μετωπική έλικα και του οπίσθιου (δεξιού ινιακού-κροταφικού) συστήματος.

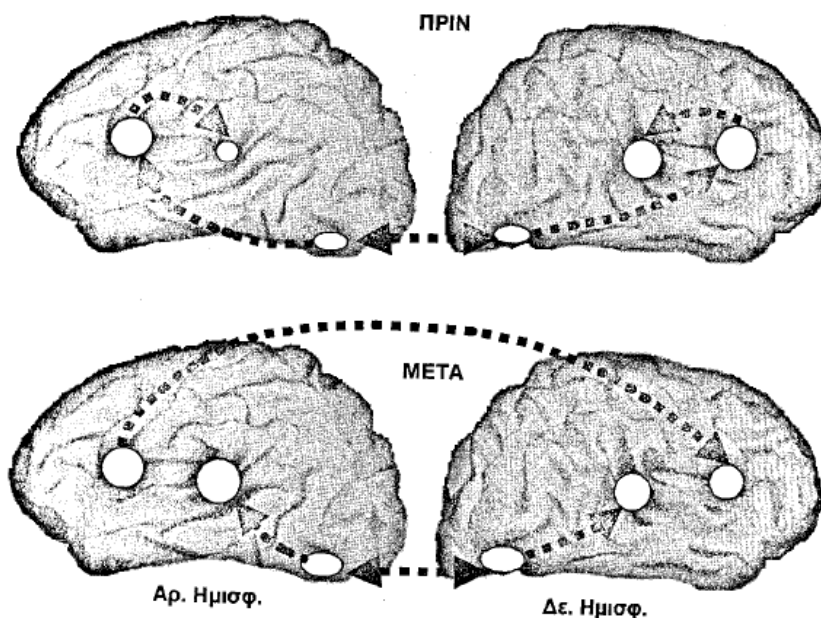
Επίσης, σε ακόμα μία μελέτη fMRI στην οποία έλαβαν μέρος 18 παιδιά με δυσλεξία από τις ΗΠΑ, βρέθηκε μια σημαντική διαφορά στην συνδεσιμότητα της αριστερής κατώτερης μετωπιαίας έλικας μεταξύ των δυσλεκτικών και μη ατόμων κατά την διαδικασία της ανάγνωσης. Αυτό συσχετίστηκε με τη δεξιά και την αριστερή μέση πρόσθια έλικα, τη δεξιά και την αριστερή συμπληρωματική κινητική περιοχή, την



αριστερή προκεντρική έλικα και την ανώτερη δεξιά μετωπιαία έλικα. Η μελέτη αυτή επιβεβαιώνει πως τα δυσλεκτικά παιδιά διαφέρουν από τα τυπικώς αναπτυσσόμενα στο χρονικό συντονισμό εγκεφαλικών περιοχών, οι οποίες εμπλέκονται σε φωνολογικές διαδικασίες (Richards and Berninger, 2008). Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε πως, ύστερα από εκπαιδευτική παρέμβαση, παρατηρείται ομαλοποίηση της λειτουργικής συνδεσιμότητας των περιοχών, οι οποίες εμπλέκονται στην αναγνωστική διαδικασία και ειδικότερα στο αριστερό ημισφαίριο. Σύμφωνα με τους Σίμο, Μουζάκη και Παπανικολάου (2004) «αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν πως με την κατάλληλη εκπαιδευτική παρέμβαση καθίσταται δυνατή η εδραίωση ενός παρόμοιου εγκεφαλικού μηχανισμού με εκείνον που παρατηρείται σε παιδιά που δεν εμφάνισαν ποτέ αναγνωστικές δυσκολίες και ο οποίος δύναται να διεκπεραιώσει με ικανοποιητικό τρόπο αυτή τη λειτουργία». Οι εξεταζόμενοι, οι οποίοι αντιμετώπιζαν σοβαρές δυσκολίες στην ανάγνωση, συμμετείχαν σε ένα πρόγραμμα εντατικής εκπαιδευτικής παρέμβασης διάρκειας οκτώ εβδομάδων, που είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της βαθμολογίας τους σε σταθμισμένες δοκιμασίες κατά μία τυπική απόκλιση (κατά μέσο όρο). Την ενισχυτική διδασκαλία παρείχαν ειδικά εκπαιδευμένοι δάσκαλοι. Στο Σχήμα 23 παρέχονται στοιχεία τόσο για το βαθμό ενεργοποίησης των περιοχών που συνθέτουν τον μηχανισμό της ανάγνωσης (μέγεθος κύκλου), όσο και για την χρονική αλληλουχία της εμπλοκής τους στην εκτέλεση της δοκιμασίας (βέλη). Αναφορικά με τον βαθμό ενεργοποίησης παρατηρείται αύξηση κυρίως στην αριστερή κροταφο-βρεγματική χώρα. Ουσιαστική μεταβολή παρατηρείται και στο χρονικό περίγραμμα ενεργοποίησης, όπου καταρχήν σημειώνεται ασυνήθιστα πρόωμη εμπλοκή της κάτω μετωπιαίας έλικας. Φυσιολογικά, αμέσως μετά από την κροταφο-ινιακή περιοχή, ενεργοποίηση θα έπρεπε να σημειώνεται στην αριστερή κροταφο-βρεγματική περιοχή. Μετά από την παρέμβαση παρατηρείται σημαντική καθυστέρηση στην εμπλοκή της κάτω μετωπιαίας έλικας με παράλληλη επιτάχυνση της εμπλοκής της αριστερής κροταφο-βρεγματικής περιοχής.

Επίσης, οι Baillieux et al. (2009), χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο σημασιολογικού συσχετισμού ουσιαστικού-ρήματος, έδειξαν, με τη χρήση fMRI, ότι τα μοτίβα ενεργοποίησης εντός της παρεγκεφαλίδας 15 παιδιών με δυσλεξία ήταν διαδεδομένα και διάχυτα, σε αντίθεση με τους τυπικούς αναγνώστες που είχαν καλώς καθορισμένη, διμερή και εστιακή ενεργοποίηση.

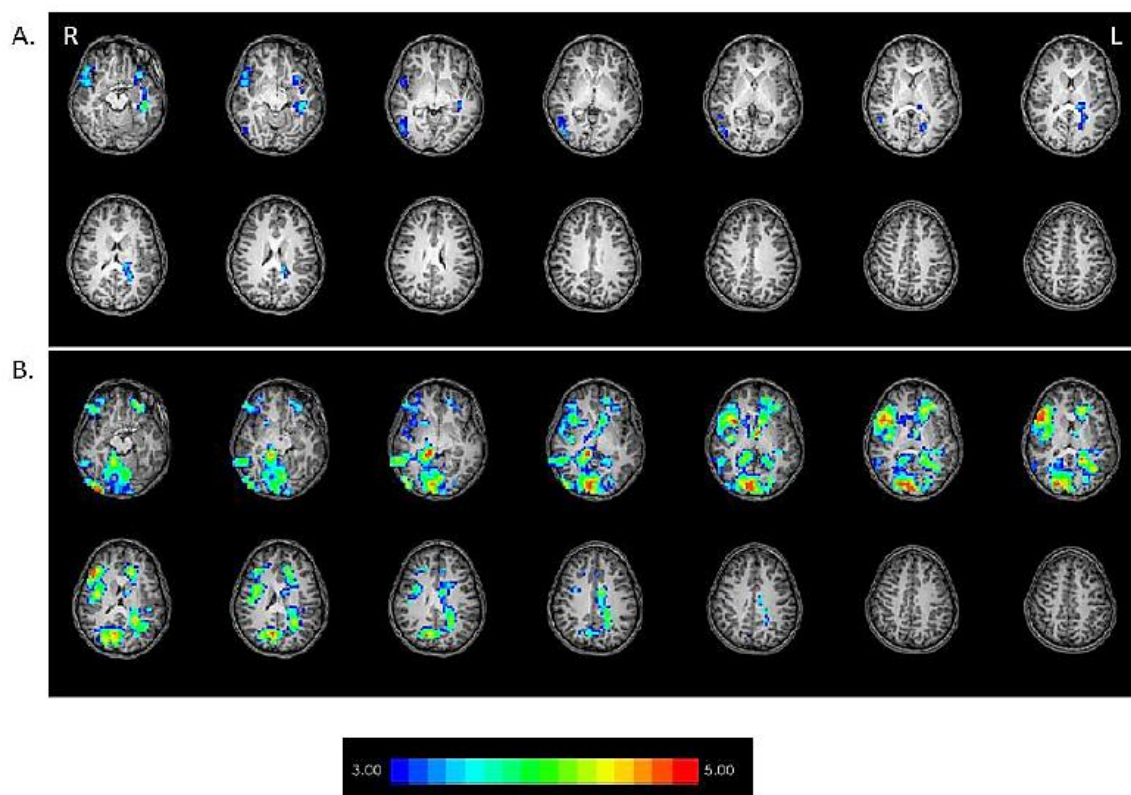
Σχ. 23. Αναπαράσταση των μεταβολών στο περίγραμμα ενεργοποίησης του φλοιού που παρατηρήθηκε κατά την εκτέλεση μίας δοκιμασίας φωνολογικής αποκωδικοποίησης (ανάγνωση ψευδολέξεων) σε μία ομάδα 15 παιδιών ηλικίας 8-9 ετών.



**Πηγή:** Η Λειτουργία της Ανάγνωσης και οι Διαταραχές της: Η Συμβολή των Μεθόδων Λειτουργικής Απεικόνισης του Εγκεφάλου, Σίμος, Π. κ.α., 2004.

Τέλος, σύμφωνα με τους Sun, Y.F. et al. (2010), κατά τη διεξαγωγή μιας ακουστικής άσκησης με ομοιοκαταληξίες σε δυσλεκτικά άτομα, παρατηρήθηκε, με τη βοήθεια της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI), μειωμένη ενεργοποίηση του οπίσθιου αριστερού κρόταφο-βρεγματικού λοβού και μη φυσική ενεργοποίηση του γύρω και έξω από τη σχισμή του Sylvius κροταφικού φλοιού. Μελέτες λειτουργικής απεικόνισης της αναπτυξιακής δυσλεξίας αναφέρουν μειωμένη νευρική δραστηριότητα στους κροταφικούς και κατώτερους βρεγματικούς φλοιούς. Μετά-αναλύσεις εκτίμησης ως προς την πιθανότητα ενεργοποίησης κατέδειξαν ότι η αριστερή πλευρά του εγκεφάλου ενεργοποιήθηκε στους αναγνώστες χωρίς ιστορικό μαθησιακών δυσκολιών, ενώ στους δυσλεκτικούς η δεξιά. Σημειώνεται επίσης, ότι δεν υπήρξαν στοιχεία που να υποστηρίζουν δυσλειτουργία της παρεγκεφαλίδας.

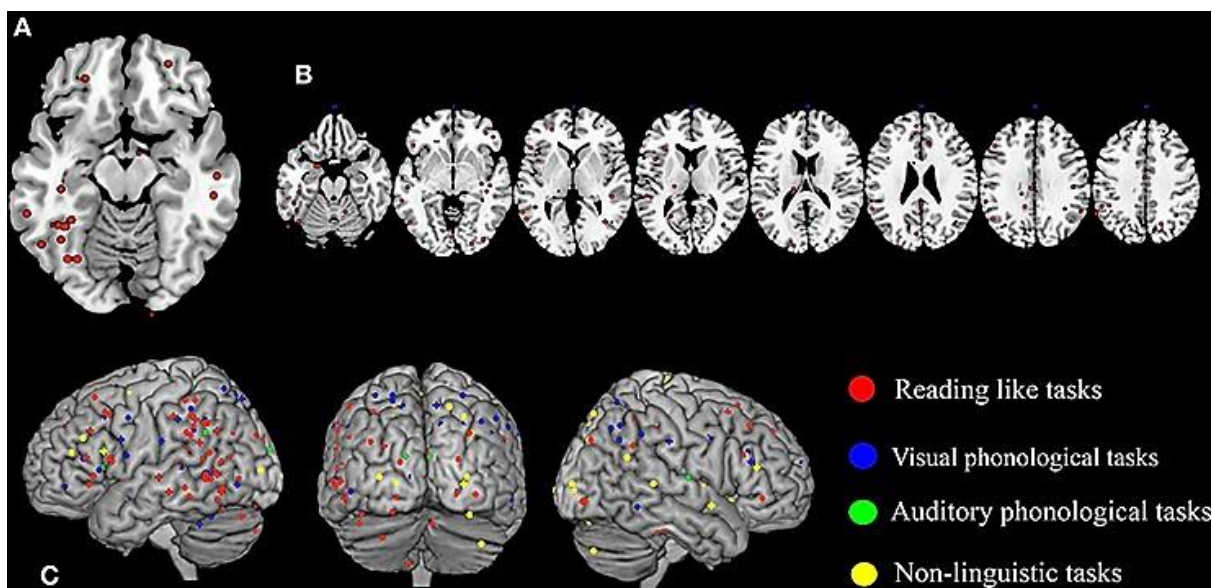
Σχ. 24. Διαφορές σε fMRI μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και τυπικών αναγνωστών, κατά την ανάγνωση λέξεων (ψευδομοφώνων).



**Πηγή:** An fMRI Study of a Dyslexia Biomarker, Berman et. al., 2014.

Στο Σχήμα 24 απεικονίζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε ως προς την εγκεφαλική ενεργοποίηση δύο ομάδων (ατόμων με δυσλεξία και τυπικών αναγνωστών). Η ανάλυση δείχνει ότι οι τυπικοί αναγνώστες χρησιμοποιούν εντονότερα την αριστερή πλευρά του εγκεφάλου τους, ενώ τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν πιο δεξιόστροφη πλευρική ενεργοποίηση εξάπλωσης και μεγαλύτερη ενεργοποίηση στις μετωπικές και ινιακές περιοχές. Το κόκκινο χρώμα υποδεικνύει πιο έντονη ενεργοποίηση.

Σχ. 25. Κορυφώσεις μειωμένης ενεργοποίησης στη δυσλεξία για δοκιμασίες ανάγνωσης (κόκκινοι κύκλοι), οπτικές φωνολογικές ασκήσεις (μπλε κύκλοι), ηχητικές φωνολογικές ασκήσεις (πράσινοι κύκλοι αντιστοίχως) και μη γλωσσικές ασκήσεις (κίτρινοι κύκλοι).



Σημείωση:

A.: Υψηλά επαναλαμβανόμενη μείωση των δυσλεκτικών στο επίπεδο των κορυφώσεων της αριστερής κοιλιακής κοιλότητας.

B.: Κορυφώσεις μειωμένης ενεργοποίησης που παρατηρήθηκαν σε δυσλεκτικά άτομα, κατά τη διάρκεια δοκιμασιών ανάγνωσης.

C.: Κορυφώσεις μειωμένης ενεργοποίησης που παρατηρήθηκαν σε δυσλεκτικά άτομα, κατά τη διάρκεια δοκιμασιών ανάγνωσης, φωνολογικών και μη-γλωσσικών ασκήσεων.

**Πηγή:** Reading the Dyslexic Brain: Multiple Dysfunctional Routes Revealed by a New Meta-Analysis of PET and fMRI Activation Studies, Paulesu, E. et al., 2014).

Η χρήση της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET) γίνεται, κατά κύριο λόγο, σε ενήλικες έτσι ώστε να αποφευχθεί η έκθεση των παιδιών στην ιοντίζουσα ακτινοβολία που συνοδεύει την εν λόγω τεχνική. Η PET είναι ιδιαίτερως χρήσιμη για τη λήψη πληροφοριών που αφορούν το νευρωνικό υπόβαθρο λειτουργιών, όπως είναι οι φωνολογικές δεξιότητες, η ανάγνωση και η εκτέλεση ενός μνημονικού έργου. (Καραπέτσας, 1997).

Κατά καιρούς, έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες με τη βοήθεια της PET από τις οποίες έχουν βγει πολύτιμα συμπεράσματα. Μία από αυτές είναι η μελέτη που διεξήχθη

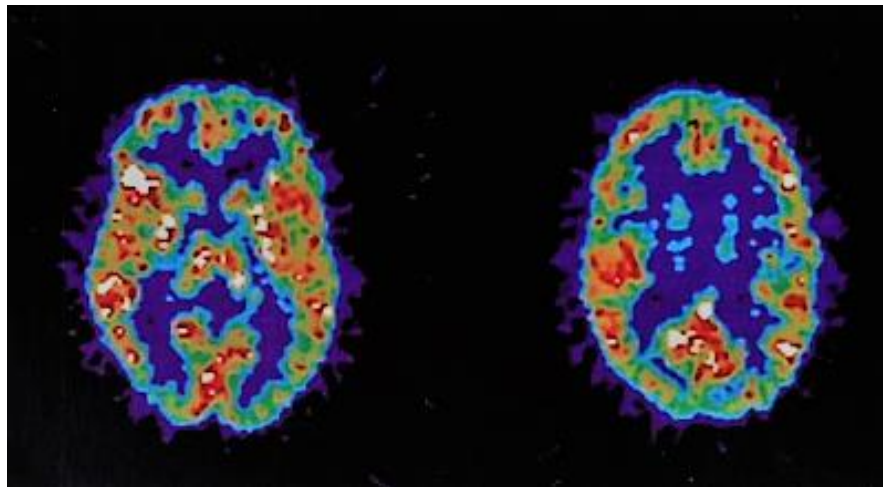
από τους Gross – Glenn et al. (1990) στην οποία έλαβαν μέρος άτομα που είχαν αναγνωστικές και ορθογραφικές δυσκολίες και άτομα που δεν αντιμετώπιζαν αυτό το πρόβλημα. Το σύνολο αυτών των ατόμων υπεβλήθη σε μία αναγνωστική δοκιμασία μεμονωμένων λέξεων και παρατηρήθηκε πως οι ενεργοποιούμενες εγκεφαλικές δομές διέφεραν καθώς στα άτομα που δεν αντιμετώπιζαν αναγνωστικές και ορθογραφικές δυσκολίες υπήρξε μεγαλύτερη ενεργοποίηση των περιοχών του εγκεφαλικού φλοιού. Επίσης, το 1992 διεξήχθη ακόμα μία μελέτη από τον Hagman et al. στην οποία έλαβαν μέρος πάλι άτομα που αντιμετώπιζαν αναγνωστικές και ορθογραφικές δυσκολίες και άτομα χωρίς τις δυσκολίες αυτές. Η δοκιμασία στην οποία υπεβλήθησαν οι συμμετέχοντες ήταν μία δοκιμασία ακουστικής διάκρισης συλλαβών και παρατηρήθηκε πως τα άτομα με δυσλεξία ήταν δυσκολότερο να διακρίνουν τη συλλαβή στόχο, ανάμεσα σε άλλες συλλαβές, πατώντας ένα κουμπί.

Ακόμα μία μελέτη έλαβε χώρα το 1992 από την Rumsey et al. Στην μελέτη αυτή, πήραν μέρος δυσλεξικοί και μη ενήλικες, στους οποίους χορηγήθηκε ραδιοφάρμακο με Οξυγόνο-15 ( $^{15}\text{O}$ ) και πραγματοποιήθηκε μέτρηση της εγκεφαλικής τους αιματικής ροής κατά τον χρόνο δραστηριοποίησης σε μία ακουστική φωνολογική διαδικασία. Σε αυτή την δοκιμασία, οι συμμετέχοντες έπρεπε να βρουν τα ομοιοκατάληκτα ζευγάρια μονοσύλλαβων, δισύλλαβων και τρισύλλαβων λέξεων. Από αυτή την μελέτη εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα: οι αριστερές κροταφο-βρεγματικές φλοιικές περιοχές ενεργοποιούνταν κατά την ανίχνευση της ρίμας με εξαίρεση την περιοχή της γωνιώδους έλικας. Στα άτομα με δυσλεξία, η ανίχνευση της ρίμας ήταν δυσκολότερη και οι προαναφερθείσες περιοχές είχαν αρκετά χαμηλότερη ενεργοποίηση. Τέλος, η δυσκολία αυτή των δυσλεκτικών ατόμων που ανήκαν στο ανδρικό φύλο αφορούσε αποκλειστικά τη φωνολογική δοκιμασία.

Ιδιαίτερος σημαντικά ευρήματα έδωσε και η έρευνα που διεξήχθη το 1996 από τον Paulesu et al., στην οποία έλαβαν μέρος μία ομάδα δυσλεκτικών ατόμων και μία ομάδα ατόμων χωρίς μαθησιακές δυσκολίες. Σε όλους τους συμμετέχοντες της εν λόγω έρευνας χορηγήθηκε ραδιοφάρμακο με Οξυγόνο-15 ( $^{15}\text{O}$ ) και υπεβλήθησαν σε τέσσερις δοκιμασίες: ομοιοκαταληξίας, διάκρισης γεωμετρικών σχημάτων, έργο λεκτικής βραχυπρόθεσμης μνήμης και έργο οπτικής βραχυπρόθεσμης μνήμης. Στην πρώτη και την τρίτη δοκιμασία, δηλαδή σε αυτές της ομοιοκαταληξίας και του έργου λεκτικής βραχυπρόθεσμης μνήμης, απαιτούνταν η ενεργοποίηση των φωνολογικών δεξιοτήτων

των συμμετεχόντων σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δύο δοκιμασίες, δηλαδή της διάκρισης γεωμετρικών σχημάτων και του έργου οπτικής βραχυπρόθεσμης μνήμης, οι οποίες ήταν οπτικές δοκιμασίες. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την συγκεκριμένη μελέτη ήταν ιδιαίτερα σημαντικά και είναι τα ακόλουθα: στους συμμετέχοντες, κατά τις φωνολογικές δοκιμασίες, παρατηρήθηκε ενεργοποίηση, κυρίως, των αριστερών ημισφαιρικών περιοχών γύρω από τη σχισμή του Sylvius. Στην συγκεκριμένη περιοχή υπάρχουν τέσσερα ιδιαίτερα σημαντικά συστήματα (η περιοχή Broca, η περιοχή Wernicke, η νήσος του Reil και η υπερχειλίου έλικα) τα οποία, στους μεν χωρίς μαθησιακές δυσκολίες ενεργοποιούνταν συντονισμένα κατά τις φωνολογικές δοκιμασίες ενώ σε αυτούς με μαθησιακό ιστορικό δεν παρατηρήθηκε συντονισμός. Επιπλέον, εξαιρετικά σημαντικό εύρημα είναι το ότι στις δοκιμασίες της ομοιοκαταληξίας και του έργου λεκτικής βραχυπρόθεσμης μνήμης δεν παρατηρήθηκε καθόλου ενεργοποίηση της νήσου του Reil στα δυσλεκτικά άτομα.

Σχ.26. Δύο τομές PET υγιούς ατόμου κατά την εκτέλεση έργου διατηρούμενης προσοχής



**Πηγή:** Κλινική Νευροψυχολογική Εκτίμηση, Κοσμίδου, 2008.

Από τις ανωτέρω μελέτες, η επιστημονική κοινότητα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στα άτομα με δυσλεξία εμφανίζονται προβλήματα στην εσωτερική επανάληψη των φθόγγων των λέξεων και αυτό αποτελεί την αιτία που εκτελούνται με διαφορετικό τρόπο οι φωνολογικές δοκιμασίες. Επίσης, παρατηρείται μία αδυναμία στο φωνολογικό σύστημα των δυσλεκτικών ατόμων, η οποία πιθανώς να οφείλεται σε ανεπάρκεια σύνδεσης των εμπρόσθιων γλωσσικών περιοχών με τις οπίσθιες γλωσσικές περιοχές του

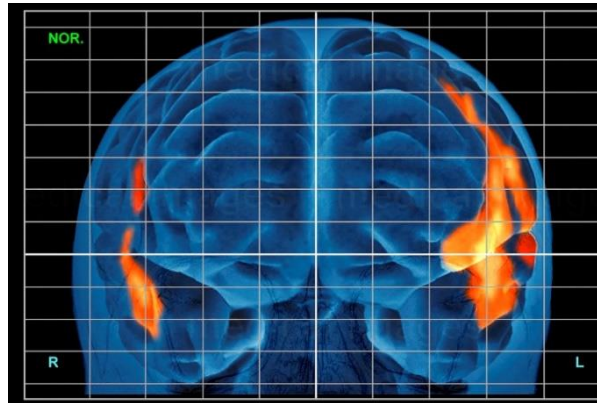
εγκεφαλικού φλοιού. Επιπλέον, με βάση την μελέτη του 1996 από τον Paulesu et al., έγινε γνωστό πως η δυσλεξία πιθανόν να αποτελεί ένα σύνδρομο δυσλειτουργικού συντονισμού, δηλαδή μία αδυναμία σύνδεσης μεταξύ των κρίσιμων φλοιικών περιοχών της γλώσσας και του λόγου. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως πολλά από τα ευρήματα των σύγχρονων μελετών καταδεικνύουν την νευρολογική βάση της δυσλεξίας.

Οι σύγχρονες μέθοδοι νευροαπεικόνισης, εκτός από τη συνεισφορά τους στη μελέτη και διερεύνηση των αιτιών των νευροαναπτυξιακών διαταραχών, έχουν συμβάλει στην διατύπωση ορισμένων θεμελιωδών θεωριών αλλά και στον έλεγχό τους. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι σε θέση να προσφέρουν αξιόπιστους και έγκυρους τρόπους σύγκρισης και αξιολόγησης διαφορετικών θεωριών όπως, για παράδειγμα, είναι οι θεωρίες σύμφωνα με τις οποίες, η δυσλεξία αποδίδεται σε έλλειμμα αντιληπτικής επεξεργασίας (μεγαλοκυτταρική θεωρία) και οι θεωρίες που αποδίδουν την δυσλεξία σε έλλειμμα αυτοματισμού (θεωρία παρεγκεφαλιδικού ελλείμματος). (Βλάχος, 2018)

Η επιστήμη συνεχώς εξελίσσεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ολοένα και περισσότερων νέων τεχνικών νευροαπεικόνισης. Οι τεχνικές αυτές, αναμένεται να φέρουν επανάσταση στον τομέα της νευρολογίας αλλά και σε όλους τους υπόλοιπους τομείς που συμπορεύονται μαζί της, καθώς η υψηλότερη ανάλυση αλλά και η χωρική διακριτική ικανότητα που είναι σε θέση να προσφέρουν, τόσο σε ανατομικό όσο και σε μοριακό επίπεδο, θα φέρουν στο φως νέα δεδομένα όπου οι παλαιότερες μέθοδοι δεν ήταν σε θέση να απεικονίσουν. Μία τέτοια τεχνική αποτελεί η PET/MRI, η οποία συνδυάζει την υψηλού επιπέδου ανατομική λεπτομέρεια της μαγνητικής τομογραφίας με την απεικόνιση της κυτταρικής μεταβολικής δραστηριότητας της ποζιτρονικής τομογραφίας.

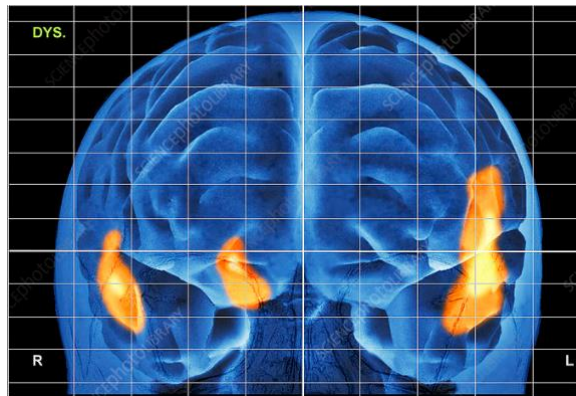


Σχ.27. Στεφανιαία τομή PET/MRI υγιούς ατόμου κατά την εκτέλεση έργου ανάγνωσης



Πηγή: Medical Images, 2021, διαθέσιμο στο: <https://www.medicalimages.com/stock-photo-image-image14507841.html>

Σχ.28. Στεφανιαία τομή PET/MRI δυσλεκτικού ατόμου κατά την εκτέλεση έργου ανάγνωσης



Πηγή: SciencePhotoLibrary, 2021, διαθέσιμο στο: <https://www.sciencephoto.com/media/266966/view/dyslexic-brain-during-reading-pet-mri>

#### 4.2. Δυσαριθμησία

Η Δυσαριθμησία (Dyscalculia) αποτελεί μία ειδική μαθησιακή δυσκολία στο πεδίο των μαθηματικών και διακρίνεται σε δύο τύπους: την αναπτυξιακή (developmental) και την επίκτητη (acquired). Ο όρος «αναπτυξιακή δυσαριθμησία» αναφέρεται σε διαταραχή γνωστικού χαρακτήρα στο πεδίο των μαθηματικών, η οποία συμβαίνει κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του παιδιού και έχει άμεση σύνδεση με την ποιότητα της αρχικής του μάθησης. Αντίθετα, ο όρος «επίκτητη δυσαριθμησία» χρησιμοποιείται για να περιγραφεί



η περίπτωση παιδιού που έχει εμπεδώσει τις βασικές μαθηματικές έννοιες όμως, έχουν εμφανιστεί διαταραχές στις γνωστικές λειτουργίες της μαθηματικής του ικανότητας και σκέψης πιθανώς λόγω κάποιας εγκεφαλικής νόσου ή βλάβης. Ύστερα από έρευνες που έχουν γίνει σε διάφορες χώρες εξήχθη το συμπέρασμα πως η δυσαριθμησία επηρεάζει ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό του μαθητικού πληθυσμού (3,5 – 6,5%, αναλόγως την χώρα διεξαγωγής της μελέτης) και υπάρχει σχεδόν ίδια συχνότητα μεταξύ αγοριών και κοριτσιών. (Μπαφαλούκα, 2011)

Το άτομο που αντιμετωπίζει την συγκεκριμένη μαθησιακή δυσκολία παρουσιάζει ορισμένα συμπτώματα από τα οποία, τα βασικότερα είναι τα εξής: η δυσκολία στην αριθμητική μέτρηση, στην εκτέλεση των μαθηματικών υπολογισμών και στην εκμάθηση των αριθμητικών εννοιών. Επίσης, ενδέχεται να παρουσιάζει δυσκολία στη χρήση αριθμητικών συμβόλων και στην αντίληψη των μαθηματικών εννοιών και σχέσεων. Ακόμη, το άτομο είναι δυνατόν να παρουσιάσει δυσκολία στο να συγκρατεί στη μνήμη του μαθηματικές ορολογίες και τα δεδομένα – ζητούμενα ενός μαθηματικού προβλήματος. Τέλος, πιθανώς να παρουσιαστεί και δυσκολία στην αντίληψη της ώρας, στην απομνημόνευση των τηλεφωνικών αριθμών καθώς και στις οικονομικές συναλλαγές. (Αγαλιώτης, 2000)

Όπως προαναφέρθηκε, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες πρόκλησης της εν λόγω μαθησιακής δυσκολίας είναι οι δυσλειτουργίες στη δομή του εγκεφάλου. Πολλές μελέτες που έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν έχουν αποδείξει πως ο βρεγματικός λοβός και συγκεκριμένα η οριζόντια ενδοβρεγματική αύλακα στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στην αριθμητική επεξεργασία και αποτελεί το επίκεντρο των μελετών που σχετίζονται με την δυσαριθμησία. Η δομή και η δραστηριότητα της συγκεκριμένης εγκεφαλικής περιοχής παρουσιάζει διαφοροποιήσεις στις διαταραχές που σχετίζονται με τα μαθηματικά και σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες η ύπαρξη ανωμαλιών στην ενδοβρεγματική αύλακα είναι ο μοναδικός βιολογικός σημαντήρας της αναπτυξιακής δυσαριθμησίας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των ερευνών που έχουν διεξαχθεί δίνουν ορισμένα αντιφατικά αποτελέσματα καθώς άλλες μελέτες έχουν δείξει πως η δυσκολία στις αριθμητικές ικανότητες συνδέεται με ανωμαλία στην αριστερή ενδοβρεγματική αύλακα ενώ άλλες, ότι έχει άμεση σχέση με την δεξιά ενδοβρεγματική αύλακα. Το γεγονός αυτό, θα μπορούσε ίσως να αποδοθεί στη χρήση

διαφορετικών κριτηρίων ως προς την διάγνωση και τον τρόπο επιλογής συμμετεχόντων ανά έρευνα. (Βλάχος, 2018)

Η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) έχει αποκαλύψει πως όταν τα άτομα που δεν έχουν δυσαριθμησία ασχολούνται με μαθηματικές δραστηριότητες υπάρχει διμερής ενεργοποίηση του προμετωπιαίου και του κατώτερου βρεγματικού φλοιού. Συγκεκριμένα, όταν το άτομο προβαίνει σε λεκτικούς υπολογισμούς παρατηρείται ενεργοποίηση μίας μεγάλης περιοχής στον κατώτερο αριστερό μετωπιαίο λοβό ενώ, όταν καλείται να πραγματοποιήσει μία δραστηριότητα προσέγγισης ή σύγκρισης αριθμού παρατηρείται ενεργοποίηση και των δύο περιοχών του βρεγματικού λοβού. (Dehaene et al., 1999)

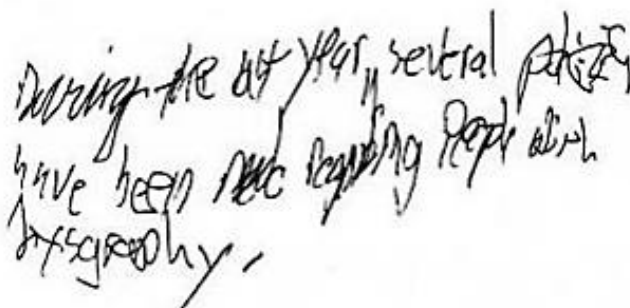
Σύμφωνα με τους Shalev και Gross – Tsur (2001), η μέθοδος της fMRI έχει χρησιμοποιηθεί για να μελετηθούν μόνο δύο άτομα με αναπτυξιακή δυσαριθμησία. Ο ένας εκ των οποίων ήταν ένας έφηβος με πρόβλημα στον δεξιό κροταφικό λοβό και ο άλλος ένας νεαρός ενήλικας, ο οποίος δεν γνώριζε εάν είχε εγκεφαλικές δομικές ανωμαλίες. Η fMRI στον πρώτο, έδειξε μονομερή ενεργοποίηση στον μετωπιαίο-βρεγματικό λοβό του αριστερού ημισφαιρίου που ήταν άθικτο ενώ στον δεύτερο, έδειξε ελάττωμα στον αριστερό βρεγματικό λοβό. Γενικά, τα δεδομένα που έχουν ληφθεί από έρευνες, οι οποίες έχουν γίνει κατά καιρούς, υποδεικνύουν πως η γνωστική ικανότητα της πραγματοποίησης αριθμητικών δραστηριοτήτων στηρίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο, το οποίο περιλαμβάνει τις εμπρόσθιες και τις οπίσθιες περιοχές και των δύο εγκεφαλικών ημισφαιρίων.

Όπως προαναφέρθηκε, ορισμένες μελέτες έχουν υποδείξει πως η δυσκολία στις αριθμητικές ικανότητες συνδέεται με ανωμαλία στην αριστερή ενδοβρεγματική αύλακα ενώ άλλες, ότι έχει άμεση σχέση με την δεξιά ενδοβρεγματική αύλακα. Το 2007 πραγματοποιήθηκε έρευνα από τον Kadosh και τους συνεργάτες του στην οποία εφαρμόστηκε καθοδηγούμενη νευροπλοήγηση με σκοπό να διακοπεί η ενεργοποίηση του συμπλέγματος του αριστερού ή δεξιού βρεγματικού λοβού έτσι ώστε να προκληθούν διαταραχές συμπεριφοράς δυσαριθμησίας σε άτομα που δεν είχαν τέτοιο ιστορικό ενώ η ίδια τεχνική εφαρμόστηκε και σε δυσαριθμικούς εθελοντές. Η εν λόγω έρευνα επεσήμανε τη σχέση της δυσλειτουργίας μεταξύ των βρεγματικών λοβών και των οπτικοχωρικών διαταραχών όπως και το ότι ένα δεξιό βρεγματικό τραύμα έχει επιπτώσεις στην αριθμητική επεξεργασία.

### 4.3. Δυσγραφία

Η δυσγραφία αποτελεί μία νευρολογική διαταραχή της γραφής, η οποία συνήθως συνυπάρχει με άλλες ειδικές μαθησιακές δυσκολίες. Ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η δυσκολία στη γραπτή έκφραση, στην ορθογραφία και στον οπτικοκινητικό συντονισμό του ατόμου κατά την παραγωγή του γραπτού λόγου. Στα συνηθέστερα συμπτώματα της εν λόγω μαθησιακής δυσκολίας, συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων: το αφύσικο μέγεθος και σχήμα των γραμμάτων, η μείξη των κεφαλαίων και των μικρών γραμμάτων, η ύπαρξη ατελών γραμμάτων αλλά και ασυνέχειάς τους, η περιορισμένη αναγνωσιμότητα του γραπτού κειμένου, η παράλειψη γραμμών και η χρήση περιθωρίων κατά τη γραφή, η μη αποτελεσματική ταχύτητα αντιγραφής ενός κειμένου, ο πόνος και η κόπωση κατά την παραγωγή γραπτού λόγου, η λανθασμένη επιλογή και χρήση λέξεων κατά τη γραφή, η μη δυνατότητα επικοινωνίας των ιδεών μέσω της γραπτής έκφρασης και τέλος, η κακή στάση σώματος κατά τη διαδικασία της γραφής. (Σακελλαροπούλου, Γ., 2012)

Σχ. 29. Χαρακτηριστική γραφή δυσγραφικού ατόμου



**Πηγή:** Μεθοδολογικές Προτάσεις για την Υποστήριξη Φοιτητών με Δυσλεξία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, Σακελλαροπούλου, 2012.

Ήδη από το 1891, ο Jules – Joseph Déjerine είχε ανακαλύψει πως ένας ασθενής του με δυσλεξία και δυσγραφία παρουσίαζε δυσλειτουργία στην αριστερή γωνιακή έλικα ενώ ένας άλλος ασθενής του με ιστορικό δυσλεξίας χωρίς συνοδό δυσγραφία είχε δυσλειτουργία στον αριστερό ινιακό λοβό.

Σύμφωνα με τον Βογινδρούκα (2003), μία ομάδα ερευνητών υποστηρίζει ότι όταν τα άτομα με δυσγραφία επιχειρούν να παράγουν γραπτό λόγο ή να αναγνώσουν ένα

κείμενο αγχώνονται με αποτέλεσμα να τους ανεβαίνει το αίμα στο κεφάλι, γεγονός που έχει σαν επακόλουθο την νευρολογική υπολειτουργία του εγκεφάλου τους και τον μερικό αποσυντονισμό των αισθήσεών τους. Επίσης, σύμφωνα με την Berninger (2001) μία άλλη ομάδα ερευνητών υποστηρίζει πως ύστερα από μελέτες fMRI κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα άτομα με δυσγραφία παρουσίαζαν δυσλειτουργία στον ινιακό και στον κροταφικό τους λοβό.

Τέλος, όπως έχει προαναφερθεί και στο υποκεφάλαιο της δυσλεξίας, με τον συνδυασμό των δεδομένων από μελέτες βλαβών και από μελέτες που χρησιμοποιούν επεμβατικές όσο και μη επεμβατικές μεθόδους χαρτογράφησης του εγκεφάλου, έχει καταστεί δυνατή η ταυτοποίηση του αδρού περιγράμματος του μηχανισμού που καθιστά εφικτή την ταχεία αναγνώριση των γραπτών λέξεων. Στο απαραίτητο κομμάτι αυτού του μηχανισμού περιλαμβάνονται δύο κυρίως τμήματα στην οπίσθια χώρα του αριστερού ημισφαιρίου. Το πρώτο είναι το κροταφο-βρεγματικό τμήμα που φαίνεται να υποστηρίζει νευροφυσιολογικές διεργασίες, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη φωνολογική αποκωδικοποίηση (περιοχή του Wernicke) και την αντιστοίχιση των γραπτών συμβόλων με φωνολογικές αναπαραστάσεις (γωνιώδης έλικα), ενώ το δεύτερο είναι το κροταφο-ινιακό τμήμα, το οποίο θεωρείται υπεύθυνο για τη γραφημική επεξεργασία των γραπτών ερεθισμάτων αναφορικά με αποθηκευμένες αναπαραστάσεις της ορθογραφίας των γνωστών, ως προς τον αναγνώστη, λέξεων. Το κροταφο-ινιακό τμήμα περιλαμβάνει συνειρμικές περιοχές του οπτικού φλοιού που βρίσκονται στη γλωσσοειδή και τη σφηνοειδή έλικα στη βάση του εγκεφάλου και επίσης ένα τμήμα της μέσης κροταφικής έλικας.

#### **4.4. Διαταραχές κίνησης**

##### **4.4.1. Δυσπραξία**

Η δυσπραξία αποτελεί μία ειδική διαταραχή της περιοχής ανάπτυξης των κινητικών δεξιοτήτων. Έχει άμεση επίδραση στην οργάνωση και τον συγχρονισμό των κινήσεων και πιθανώς στην επεξεργασία τους. Από τη δυσπραξία φαίνεται πως επηρεάζονται περισσότερο τα αγόρια σε σχέση με τα κορίτσια (70% αγόρια – 30% κορίτσια) και η επίδρασή της εξαπλώνεται σε διάφορους τομείς και δραστηριότητες της ζωής του ατόμου. (British Dyslexia Association, 2011)

Σύμφωνα με την Σακελλαροπούλου (2012), η συμπτωματολογία της εν λόγω διαταραχής είναι πολυποίκιλη και τα κυριότερα συμπτώματα που πιθανώς να εμφανίσει ένα άτομο είναι οι δυσκολίες στην αδρή και λεπτή κινητικότητα και η πτωχή εγκεφαλική κυριαρχία. Επίσης, τα άτομα μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα στο λόγο και στη γλώσσα, τα οποία συνήθως είναι η ασταμάτητη ομιλία και επανάληψη, η ομιλία με ανεξέλεγκτη ένταση, ρυθμό και τόνο φωνής και η μη καθαρή φωνή και αδυναμία στην προφορά των λέξεων. Ακόμη, στα άτομα με δυσπραξία είναι δυνατόν να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα στην κίνηση των ματιών όπως είναι η δυσκολία στο να ακολουθήσουν ένα αντικείμενο, η αδυναμία να κοιτάξουν από το ένα αντικείμενο στο άλλο γρήγορα και αποτελεσματικά και η τάση που εμφανίζουν να αφαιρούνται καθώς διαβάζουν.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των ανθρώπων με ιστορικό δυσπραξίας είναι ότι παρουσιάζουν προβλήματα στην αντίληψη, στα οποία συγκαταλέγονται η πτωχή οπτική αντίληψη, η υπερευαισθησία στο φως, η υποευαισθησία ή η υπερευαισθησία στην αφή, την γεύση ή/και την όσφρηση, η αδυναμία διάκρισης ήχων του εξωτερικού περιβάλλοντος, η άγνοια της θέσης του σώματός τους στο χώρο, η ανεπαρκής αίσθηση κατεύθυνσης και προσανατολισμού και τέλος, η ελλιπής αίσθηση του βάρους, του χρόνου, της απόστασης και της ταχύτητας.

Μία επιπλέον βασική ομοιότητα στην συμπεριφορά των συγκεκριμένων ατόμων είναι τα προβλήματα μάθησης που φαίνεται πως έχουν καθώς και τα προβλήματα στη σκέψη και τη μνήμη τους. Τα προβλήματα αυτά, εκδηλώνονται με δυσκολία στο σχεδιασμό και την οργάνωση, πτωχή βραχυπρόθεσμη (κυρίως) μνήμη, ασυνέπεια και έλλειψη συγκέντρωσης, δυσκολία στην τήρηση κανόνων, καθυστέρηση ολοκλήρωσης μιας εργασίας και αδυναμία διεκπεραίωσης άνω του ενός πράγματος ανά φορά.

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθούν επίσης, τα συναισθηματικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα άτομα με ιστορικό δυσπραξίας καθώς συνήθως, δυσκολεύονται στην κατανόηση των υπολοίπων ατόμων μίας ομάδας και στην αντίληψη των μη-λεκτικών σημάτων, δεν προσαρμόζονται εύκολα σε νέες και απρόβλεπτες καταστάσεις, είναι αυθόρμητοι και με τάση να εγκαταλείπουν μία δραστηριότητα εάν αυτή τους φανεί δύσκολη. Τέλος, όσο αφορά τη συναισθηματική πλευρά των ατόμων που έχουν δυσπραξία και το πώς αυτή επηρεάζει τη συμπεριφορά τους, πρέπει να σημειωθεί το έντονο stress και άγχος που νοιώθουν αρκετά συχνά με αποτέλεσμα να εμφανίζουν

δυσκολίες στον ύπνο, συμπτώματα κατάθλιψης καθώς και επιρρέπεια σε συναισθηματικές εξάρσεις, εμμονές και εξαρτήσεις. (Σακελλαροπούλου, 2012)

Για τη μελέτη της δυσπραξίας έχουν, κατά καιρούς, πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες με τη χρήση της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και τα βασικά συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί συνοψίζονται στο ότι στα άτομα με ιστορικό δυσπραξίας δεν παρατηρείται ταυτόχρονη και συντονισμένη ανταπόκριση των δύο εγκεφαλικών ημισφαιρίων στα εξωτερικά ερεθίσματα και πως η δυσπραξία αποτελεί μία διαταραχή, η οποία συνδέεται άμεσα με προβλήματα στην ανάπτυξη των νευρικών οδών.

Σχ. 30. Καθημερινά προβλήματα ενός ατόμου με δυσπραξία



**Πηγή:** Μεθοδολογικές Προτάσεις για την Υποστήριξη Φοιτητών με Δυσλεξία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, Σακελλαροπούλου, 2012.

#### **4.4.2. Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ/Υ)**

Σύμφωνα με το Πανελλήνιο Σωματείο Ατόμων με ΔΕΠ/Υ (2011), η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ/Υ), είναι μια από τις πιο συχνές νευροβιολογικές διαταραχές της παιδικής και της εφηβικής ηλικίας. Η συχνότητα εμφάνισης στον μαθητικό πληθυσμό κυμαίνεται μεταξύ 5-7% και από ότι φαίνεται επηρεάζονται περισσότερο τα αγόρια σε σχέση με τα κορίτσια. Η εν λόγω διαταραχή συνήθως εντοπίζεται κατά την ένταξη του ατόμου στο σχολικό περιβάλλον όμως, διαγιγνώσκεται δύσκολα.

Τα χαρακτηριστικά της ποικίλουν σε βαθμό και σοβαρότητα και συνοδεύουν το άτομο σε όλη τη διάρκεια της ζωής του. Στα πιο κοινά από αυτά, στην ενήλικη ζωή του ατόμου, συμπεριλαμβάνονται τα προβλήματα ελλιπούς προσοχής και συγκέντρωσης, η υπερβολική συγκέντρωση, η κακή οργάνωση, η αμέλεια, ο αυθορμητισμός, οι συναισθηματικές δυσκολίες και φυσικά, η υπερκινητικότητα. (Smith and Segal, 2012)

Είναι συχνό φαινόμενο, τα άτομα με ιστορικό της εν λόγω διαταραχής, να αφαιρούνται χωρίς να το αντιλαμβάνονται ακόμα και εν μέσω μίας συζήτησης. Παρουσιάζουν διάσπαση προσοχής υψηλού βαθμού και έχουν την τάση να παραβλέπουν λεπτομέρειες με αποτέλεσμα να κάνουν λάθη ή να μην ολοκληρώνουν μία εργασία. Ακόμη, αντιμετωπίζουν δυσκολία συγκέντρωσης κατά την παραγωγή γραπτού λόγου ή όταν ακούν τους άλλους.

Η υπερβολική συγκέντρωση που συνήθως εμφανίζουν αυτά τα άτομα τους οδηγεί σε απόλυτη προσήλωση σε δραστηριότητες, οι οποίες τους παρέχουν κίνητρα επιβράβευσης με αποτέλεσμα να ξεχνούν οτιδήποτε άλλο συμβαίνει στο περιβάλλον τους. Επιπλέον, κοινό χαρακτηριστικό της γενικότερης συμπεριφοράς τους είναι η τάση αργοπορίας που διαθέτουν και η αμέλεια που επιδεικνύουν σε προγραμματισμένες συναντήσεις εργασίες και καταληκτικές ημερομηνίες. Τέλος, ο αυθορμητισμός που τους διακρίνει τους οδηγεί συχνά σε αγενείς συμπεριφορές όπως το να μιλάνε επάνω από τους συνομιλητές τους ή να τους διακόπτουν απότομα για να πάρουν το λόγο. Η κοινωνική συμπεριφορά τους είναι συνήθως μη αποδεκτή γεγονός που συνάδει με την τάση που έχουν να βαριούνται εύκολα, να κινούνται νευρικά και να επιδιώκουν συνεχώς τον ενθουσιασμό μιλώντας υπερβολικά και κάνοντας ταυτόχρονα πάρα πολλά πράγματα. (Smith and Segal, 2012)

Σχ. 31. Καθημερινά προβλήματα ενός ατόμου με ΔΕΠ/Υ.



**Πηγή:** Μεθοδολογικές Προτάσεις για την Υποστήριξη Φοιτητών με Δυσλεξία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, Σακελλαροπούλου, 2012.

Η νευροεπιστημονική έρευνα, τα τελευταία χρόνια, έχει συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στη διερεύνηση των αιτιών των νευροαναπτυξιακών διαταραχών. Πολλές μέθοδοι νευροαπεικόνισης έχουν χρησιμοποιηθεί για να μετρηθεί η διαφοροποιημένη δραστηριοποίηση των συστημάτων του εγκεφάλου κατά την διεξαγωγή συγκεκριμένων διεργασιών με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την αιτιοπαθογένεια της διαταραχής που αντιμετωπίζει το υποκείμενο της μελέτης. (Βλάχος, 2018)

Τα πιο πολλά ερευνητικά δεδομένα σήμερα, υποστηρίζουν πως η ΔΕΠ/Υ αποτελεί μία διαταραχή πολυπαραγοντικής αιτιολογίας. Παρόλα αυτά, κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζουν οι βιολογικοί παράγοντες, δηλαδή οι νευρολογικοί και οι γενετικοί. Οι ερευνητές, με τη χρήση απεικονιστικών μεθόδων όπως είναι η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET), έχουν οδηγηθεί στην αποδοχή της μη ορθής λειτουργίας συγκεκριμένων νευρολογικών δομών και στην ύπαρξη νευροχημικών ανωμαλιών, εφόσον έχουν προσδιοριστεί συγκεκριμένες πρωτεϊνικές ανωμαλίες σε εξειδικευμένες περιοχές του εγκεφάλου. (Swanson et al., 2007)

Πιο αναλυτικά, οι μελέτες ανατομικής νευροαπεικόνισης σε άτομα με ιστορικό ΔΕΠ/Υ έχουν υποδείξει επανειλημμένως δομικές ανωμαλίες σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου όπως είναι οι μετωπιαίοι λοβοί, το μεσολόβιο, τα βασικά γάγγλια και η παρεγκεφαλίδα. Λαμβάνοντας λοιπόν, υπόψη τα σύγχρονα δεδομένα εξάγεται το συμπέρασμα πως οι γενετικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, οι οποίοι ευθύνονται για την εν λόγω διαταραχή είναι σε θέση να τροποποιήσουν τον αναπτυσσόμενο εγκέφαλο και να δημιουργήσουν ένα ετερογενές προφίλ σε δομικό και λειτουργικό επίπεδο με αποτέλεσμα τη δημιουργία πληθώρας διαφοροποιήσεων στη συμπεριφορά. (Βλάχος, 2018)

Σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 1902 από τον παιδίατρο George Still και άλλους ερευνητές εντοπίστηκαν αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στα συμπτώματα που παρουσίαζαν άτομα με ΔΕΠ/Υ και σε αυτά που παρουσίαζαν άτομα τα οποία είχαν υποστεί βλάβη ή κάποιο τραυματισμό στο μετωπιαίο λοβό και συγκεκριμένα, στον προμετωπιαίο φλοιό του εγκεφάλου. Επίσης, βρέθηκε πως οι εγκεφαλικές περιοχές που σχετίζονται με τη ΔΕΠ/Υ είναι μικρότερες σε μέγεθος στα άτομα με ιστορικό της εν λόγω διαταραχής σε σχέση με τα άτομα που δεν έχουν παρόμοιο ιστορικό.



Το 1990 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα από τον Zametkin και τους συνεργάτες του κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET) με σκοπό να μελετηθεί η μεταβολική δραστηριότητα του εγκεφάλου 25 ενηλίκων με ΔΕΠ/Υ, οι οποίοι είχαν παιδιά που επίσης είχαν ιστορικό της εν λόγω διαταραχής. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν πως οι ενήλικες με ΔΕΠ/Υ παρουσίασαν σημαντικά μειωμένη μεταβολική δραστηριότητα γλυκόζης στις μετωπιαίες περιοχές του εγκεφάλου σε σχέση με τα υγιή άτομα, ενώ τα παιδιά με ΔΕΠ/Υ παρουσίασαν μειωμένη εγκεφαλική αιματική ροή στις μετωπιαίες περιοχές του εγκεφάλου τους. (Zametkin et al., 1990)

## Επίλογος

Στη σημερινή εποχή και κοινωνία γίνεται ολοένα και πιο αποδεκτό πως είναι απαραίτητη η σύνδεση της επιστημονικής έρευνας με αντικείμενο μελέτης την νευροεπιστήμη και της εκπαιδευτικής πράξης. Η συνεισφορά της νευροεπιστημονικής έρευνας στον χώρο της εκπαίδευσης και ειδικότερα της ειδικής αγωγής αποδεικνύεται εξαιρετικά σημαντική καθώς δίνει απαντήσεις σε εξέχοντα εκπαιδευτικά ζητήματα και ερωτήματα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι νευροαπεικόνισης όπως είναι η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI), η ποζιτρονική τομογραφία (PET) αλλά και η πολλά υποσχόμενη PET/MRI που αναμένεται να επικρατήσει στο άμεσο μέλλον, έχουν προσφέρει μία άκρως σαφέστερη εικόνα της λειτουργίας του εγκεφάλου και δη του αναπτυσσόμενου σε σχέση με προηγούμενες απεικονιστικές τεχνικές και έχουν συμβάλλει στην κατανόηση και τη μελέτη των περίπλοκων διαδικασιών, οι οποίες υποστηρίζουν την ανάπτυξη της μάθησης.

Επίσης, χάρη στην χρήση των τεχνικών απεικόνισης που αναφέρθηκαν νωρίτερα καθίσταται δυνατή η διερεύνηση των αιτιών των αναπτυξιακών διαταραχών, η διαμόρφωση και ο έλεγχος των θεωριών για τις διαταραχές αυτές και τέλος, η πρόωμη ανίχνευση των παιδιών που είναι πιθανό να εμφανίσουν αναπτυξιακές διαταραχές στο μέλλον και επομένως δίνεται από νωρίς η δυνατότητα για την έγκαιρη έναρξη της θεραπευτικής παρέμβασης. Τέλος, στα θετικά που έχουν οι μελέτες με τεχνικές νευροαπεικόνισης στον τομέα της εκπαίδευσης συγκαταλέγονται η μελέτη των επιδράσεων διαφορετικών προγραμμάτων εκπαίδευσης στην λειτουργία του εγκεφάλου και η σύγκριση των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους.

Εκ των ανωτέρω είναι φανερό πως οι αναπτυξιακές διαταραχές αποτελούν ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας, το οποίο συνδέεται όχι μόνο με την εκπαίδευση και την ειδική αγωγή, αλλά και με την ψυχολογία, την νευρολογία και τις νευροεπιστήμες, τη γενετική και αρκετούς ακόμα επιστημονικούς κλάδους. Οι απαντήσεις τόσο για τη φύση όσο και για τα συμπτώματα των διαταραχών αυτών, αλλά πρωτίστως και για την ενδεδειγμένη θεραπευτική ή εκπαιδευτική παρέμβαση, βασίζονται, κατά κύριο λόγο, στη διασταύρωση όλων των προαναφερθέντων επιστημονικών κλάδων, και για αυτό είναι άκρως επιβεβλημένη η σύμπραξη και η συνεργασία τους.

## Αναφορές

- Duffy, F., H., Denckla, M., B., Bartels, P., H., & Sandini, G. (1980). *Dyslexia: Regional Differences in Brain Electrical Activity by Topographic Mapping*. *Annals of Neurology*, v.7, p.412-420.
- Denckla, M., B. (1983). *The Neuropsychology of Social – Emotional Learning Disabilities*. *Archives of Neurology*, v.40, p.461-462.
- Gross – Glenn, K., Jallad, B., Novoa, L., Helgren – Lempeis, V., and Lubs, H. A. (1990). *Nonsense Passage Reading as a Diagnostic Aid in the Study of Adult Familial Dyslexia*. *Reading and Writing*, v.2, n.2, p.161-173.
- Hammill, D. (1990). *On defining learning disabilities: An emerging consensus*. *Journal of Learning Disabilities*, v.23, n.2, p.74–84. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1177/002221949002300201> (Πρόσβαση 12 Ιουνίου 2021).
- Zametkin, A.J., Nordahl, T.E., Gross, M. et al. (1990) *Cerebral Glucose Metabolism in Adults with Hyperactivity of Childhood Onset*. *New England Journal of Medicine (NEJM)*. v.323, p.1361-1366.
- Hagman, J. O., Wood, F., Buchsbaum, M. S., Tallal, P., Flowers, L., and Katz, W. (1992). *Cerebral Brain Metabolism in Adult Dyslexic Subjects Assessed with Positron Emission Tomography During Performance of an Auditory Task*. *Archives of Neurology*, v.49, n.7, p.734–739.
- Rumsey, J., M., Andreason, P., Zametkin, A., J., Aquino, T., King, A., C., Hamburger, S., D., ... Cohen, R., M. (1992). *Failure to Activate the Left Temporoparietal Cortex in Dyslexia: An Oxygen-15 Positron Emission Tomographic Study*. *Archives of Neurology*, v.49, n.5, p.527-534.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R., S, and Frith, D., C. (1996). *Is Developmental Dyslexia a Disconnection Syndrome? Evidence from PET Scanning*. *Brain*, v.119, n.1, p.143-157.
- Dansecu, E. R. (1997). *Parental Beliefs on Childhood Disability: Insights on Culture, Child Development and Intervention*. *International Journal of Disability, Development and Education*, v.44, n.1, p.41-52.
- Turner, M. (1997). *Psychological Assessment of Dyslexia*. United Kingdom: Whurr Publishers.

- Πόρποδας, Κ. Δ. (1997). *Δυσλεξία: Η Ειδική Διαταραχή στη Μάθηση του Γραπτού Λόγου – Ψυχολογική Θεώρηση*. Αθήνα: Μορφωτική.
- Καραπέτσας, Α., Β. (1997). *Η δυσλεξία στο Παιδί. Διάγνωση και Θεραπεία*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (1999). *Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου*. 2<sup>η</sup> έκδ. Αθήνα: Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων (ΙΤΥΕ) – Διόφαντος.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., and Tsivkin, S. (1999). *Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain - Imaging Evidence*. *Science*. v.284, p.970-974.
- Αγαλιώτης, Ι. (2000). *Μαθησιακές Δυσκολίες στα Μαθηματικά*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). *An integrative theory of prefrontal cortex function*. *Annual Review of Neuroscience*. v.241, p.67-202.
- Shalev, R. S., and Gross – Tsur, V. (2001). *Developmental Dyscalculia*. *Pediatric Neurology*. v.24, p.337-342.
- Berninger, V., Abbott, R., Thomson, J. and Raskind, W. (2001). *Language Phenotype for Reading and Writing Disability: A Family Approach*. *Scientific Studies of Reading*. v.5, p.59–105.
- Βογινδρούκας, Ι., Καραντάνος, Γ., Καμπούρογλου, Μ. και Παπαγεωργίου, Β. (2003). *Δοκίμια: Αυτισμός - Διάχυτες Διαταραχές της Ανάπτυξης*. Ίδρυμα για το παιδί «Η Παμμακάριστος». Διαθέσιμο στο: [http://www.euliko.gr/htmls/amea/prakseis\\_epeaek/dokimia\\_epimorfoshs.pdf](http://www.euliko.gr/htmls/amea/prakseis_epeaek/dokimia_epimorfoshs.pdf) (Πρόσβαση 20 Ιουνίου 2021).
- Γώγου, Λ. (2004). *18F-FDG – PET*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Γεωργίου, Ε., Lowe, V.J. και Προυκάκης, Χ. (2004). *Κλινική ποζιτρονική τομογραφία – μοριακή απεικόνιση με PET και PET/CT*. Αθήνα: Παρισιάνου Α.Ε.
- Saskatchewan Learning. (2004). *Teaching Students with Reading Difficulties and Disabilities*. Regina, SK: Saskatchewan Learning.
- Σίμος, Π., Μουζάκη, Α. και Παπανικολάου, Α. (2004). *Η Λειτουργία της Ανάγνωσης και οι Διαταραχές της: Η Συμβολή των Μεθόδων Λειτουργικής Απεικόνισης του Εγκεφάλου*. *Hellenic Journal of Psychology*. v.1, p.56-79.

- Κανδαράκης Ι., (2006). *Φυσικές και Τεχνολογικές Αρχές Πυρηνικής Ιατρικής*. Αθήνα: Έλλην.
- Πολυχρόνη, Φ., Χατζηχρήστου, Χ. και Μπίμπου, Α. (2006). *Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες – Δυσλεξία*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Shaywitz, B. A., Lyon, G. R. and Shaywitz, S. E. (2006). *The Role of Functional Magnetic Resonance Imaging in Understanding Reading and Dyslexia*. *Developmental Neuropsychology*, v.30, n.1, p.613-632, DOI: 10.1207/s15326942dn3001\_5.
- Kadosh, R. C., Kadosh, K. C., Schuhmann, T., Kaas, A., Goebel, R., Henik, A. and coll. (2007). *Virtual Dyscalculia Induced by Parietal – Lobe TMS Impairs Automatic Magnitude Processing*. *Current Biology*. v.17, p.689-693.
- Tortora, G. and Grabowski, S. (2007). *Φυσιολογία ανθρώπινου σώματος*. Αθήνα: Έλλην.
- McRobbie, D., Moore, E., Graves, M. and Prince, M. (2007). *MRI from Picture to Proton*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Καρατοπης, Α., Κανδαράκης, Ι. (2007). *Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού*. Αθήνα: Αράκυνθος.
- Swanson, J., Kinsbourne, M., Nigg, J., Lanphear, B., Stefanatos, G., Volkow, N., Taylor, E., Casey, B. and Castellanos, F. (2007). *Etiologic Subtypes of ADHD: Brain Imaging, Molecular Genetic and Environmental Factors and the Dopamine Hypothesis*. *Neuropsychology Review*, v.17, p.39-59.
- Richards, T. L. and Berninger, V. W. (2008). *Abnormal fMRI Connectivity in Children with Dyslexia during a Phoneme Task: Before But Not After Treatment*. *The Journal of Neurolinguistics*. v.21, p.294–304.
- Greenberg, J. (2008). *Νευροαπεικόνιση – Συνοδευτικό Εγχειρίδιο της Αρχής της Νευρολογίας*. Αθήνα: Παρισιάνου Α.Ε.
- Μήτσιου – Δάχτυλα, Γ. (2008). *Δυσλεξία – Νευροψυχολογία Μαθησιακών Διαταραχών – Διάγνωση και Αντιμετώπιση*. Αθήνα: Δαρδανός.
- Κοσμίδου, Μ., (2008). *Κλινική Νευροψυχολογική Εκτίμηση*. Αθήνα: Παρισιάνου Α.Ε.
- Baillieux, H., Vandervliet, E.J., Manto, M. (2009). *Developmental Dyslexia and Widespread Activation Across the Cerebellar Hemispheres*. *BrainLang*. v.108, p.122–32.
- Καμμάς, Α. (2010). *Μαθήματα ανατομικής*. Αθήνα: ΒΗΤΑ.
- Κουμανίδου, Χ. (2010). *Υπερηχογράφημα Εγκεφάλου σε Νεογνά και Βρέφη*. Αθήνα: Βασιλειάδης.

- Sun, Y. F., Lee, J. S., Kirby, R. (2010). *Brain Imaging Findings in Dyslexia*. Pediatrics and Neonatology. v.51, n.2, p.89-96.
- Χρυσικόπουλος, Χ. (2011). *Μαγνητική τομογραφία – Φυσική και Ερμηνεία Εικόνας*. Αθήνα: Λίτσας Ιατρικές Εκδόσεις.
- Μπαφαλούκα, Μ. (2011). *Μαθησιακές Δυσκολίες*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα: Πετράκης.
- Κοσμίδου, Μ. και Κωνσταντίνου, Μ. (2011). *Νευροψυχολογία των μαθησιακών διαταραχών*. Αθήνα: Παρισιάνου Α.Ε.
- British Dyslexia Association. (2011). *What are Specific Learning Difficulties?* British Dyslexia Association. Διαθέσιμο στο: [http://www.bdadyslexia.org.uk/about-dyslexia/schools-colleges-and-universities/what-arespecific-learning\\_difficulties.html](http://www.bdadyslexia.org.uk/about-dyslexia/schools-colleges-and-universities/what-arespecific-learning_difficulties.html) (Πρόσβαση 18 Ιουνίου 2021).
- Πανελλήνιο Σωματείο Ατόμων με ΔΕΠ/Υ (ADHD Hellas). (2011). Πανελλήνιο Σωματείο Ατόμων με ΔΕΠ/Υ. Διαθέσιμο στο: <http://www.adhdhellas.org/index.php?act=depi> (Πρόσβαση 19 Ιουνίου 2021).
- Moore, K., Dalley, A. and Agur, A. (2012). *Κλινική Ανατομία*. Αθήνα: Πασχαλίδης.
- Σακελλαροπούλου, Γ., (2012). *Μεθοδολογικές Προτάσεις για την Υποστήριξη Φοιτητών με Δυσλεξία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Smith, M. and Segal, R. (2012). *Adult ADD/ADHD Signs, Symptoms, Effects and Treatment*. HELPGUIDE.org. Διαθέσιμο στο: [http://www.helpguide.org/mental/adhd\\_add\\_adult\\_symptoms.htm](http://www.helpguide.org/mental/adhd_add_adult_symptoms.htm) (Πρόσβαση 20 Ιουνίου 2021).
- Κουμαριανός, Δ. (2013). *Μαγνητική τομογραφία*. Αθήνα: Ζεβελεκάκης.
- Reimer, P., Parizel, P. and Meaney, J. F. M. (2013). *Κλινική μαγνητική τομογραφία: μια πρακτική προσέγγιση*. Αθήνα: Κωνσταντάρας.
- Paulesu, E., Danelli, L. and Berlinger, M. (2014) *Reading the Dyslexic Brain: Multiple Dysfunctional Routes Revealed by a New Meta-Analysis of PET and fMRI Activation Studies*. Frontiers in Human Neuroscience. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00830> (Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2021).

- Berman, S., Cicchino, N., Hajinazarian A., Mescher, M., Scott, K.H. and Horowitz-Kraus T. (2014). *An fMRI Study of a Dyslexia Biomarker*. Journal of Young Investigators. v.26, n.1, p.1-4. ISSN: 1539-4026.
- Μηλούλης, Σ. (2014). *Επεξεργασία δεδομένων fMRI με χρήση FSL και SPM για τη μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γώγου, Λ. (2015). *Μαθήματα πυρηνικής ιατρικής*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Vander, A. J., Sherman, J. H. and Luciono, D. S. (2016). *Human Physiology: The Mechanism of Body Function*. Αθήνα: Πασχαλίδης
- Βαρσαμίδης, Κ. (2016). *Φυσιολογία του ανθρώπου*. Αθήνα: University Studio Press.
- Βαλοτασιου, Β. (2016). *Εφαρμογή του SPECT Σπινθηρογράφηματος Αιματώσεως Εγκέφαλου σε Ασθενείς με Άνοια. Εκτίμηση της Αιμάτωσης των Περιοχών Brodmann με τη Χρήση Αυτοματοποιημένου Προγράμματος Ανάλυσης*. (Μη εκδοθείσα διδακτορική διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Herring, W. (2017). *Μαθαίνοντας Ακτινολογία – Αναγνωρίζοντας τα Βασικά*. Αθήνα: Κωνσταντάρας.
- Ασημομύτης, Δ. (2018). *Σύγκριση της Σταδιοποίησης στον Καρκίνο του Πνεύμονα μεταξύ PET-FDG/CT, CT και Παθολογοανατομικών Ευρημάτων*. (Μη εκδοθείσα διδακτορική διατριβή). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Tsougos, I. (2018). *Advanced MR Neuroimaging: From Theory to Clinical Practice*. Florida, U.S.A.: CRC Press.
- Βλάχος, Φ. (2018). *Εγκέφαλος Μάθηση και Ειδική Αγωγή*. Αθήνα: Gutenberg.
- Κατρίτση, Ε., Κελέκης, Δ. και Κούβελας Η. (2019). *Στοιχεία Ανατομίας - Στοιχεία Φυσιολογίας*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Nadgir, R., Yousem, D. (2019). *Νευροακτινολογία*. Αθήνα: Κωνσταντάρας.
- Ζάκου, Λ. (2020). *Σύγκριση 18F-FDG και 68Ga-DOTATATE PET/CT σε Νευροενδοκρινείς Όγκους του Ήπατος*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Παρασκευάς, Γ. (2021). *Νευροανατομία*. Αθήνα: University Studio Press.
- Kendra, C. (2021). *The Anatomy of the Brain*. Διαθέσιμο στο: [http://psychology.about.com/od/biopsychology/ss/brainstructure\\_2.htm](http://psychology.about.com/od/biopsychology/ss/brainstructure_2.htm) (Πρόσβαση 12 Μαΐου 2021).





## Πηγές Εικόνων

1. Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων – Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (1999). *Βιολογία Α΄ Γενικού Λυκείου*. 2η έκδ. Αθήνα: Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων (ITYE) – Διόφαντος. (Σχήμα 1, 2, 7, 8 και 9).
2. Carter, R. (2009). *The Human Brain Book*. Ηνωμένο Βασίλειο: Dorling Kindersley Ltd. (Σχήμα 3, 4 και 11).
3. Παρασκευάς, Γ. (2021). *Νευροανατομία*. Αθήνα: University Studio Press. (Σχήμα 5 και 6).
4. Vander, A. J., Sherman, J. H. and Luciono, D. S. (2016). *Human Physiology: The Mechanism of Body Function*. Αθήνα: Πασχαλίδης. (Σχήμα 10).
5. Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Φυσικής Σωματιδίων – CERN (2021). *Ποιά σωματίδια επιταχύνονται;* (Πρόσβαση 02 Ιουνίου 2021) (Σχήμα 12).
6. Κουμαριανός, Δ. (2013). *Μαγνητική τομογραφία*. Αθήνα: Ζεβελεκάκης. (Σχήμα 13, 14, 15, 16 και 17).
7. Tsougos, I. (2018). *Advanced MR Neuroimaging: From Theory to Clinical Practice*. Florida, U.S.A.: CRC Press. (Σχήμα 18).
8. Ασημομύτης, Δ. (2018). *Σύγκριση της Σταδιοποίησης στον Καρκίνο του Πνεύμονα μεταξύ PET-FDG/CT, CT και Παθολογοανατομικών Ευρημάτων*. (Μη εκδοθείσα διδακτορική διατριβή). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (Σχήμα 19).
9. Ζογλοπιτου, Λ. (2010). *Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων με Εξαύλωση σε Τρία Φωτόνια*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. (Σχήμα 20 και 21).
10. Σίμος, Π., Μουζάκη, Α. και Παπανικολάου, Α. (2004). *Η Λειτουργία της Ανάγνωσης και οι Διαταραχές της: Η Συμβολή των Μεθόδων Λειτουργικής Απεικόνισης του Εγκεφάλου*. *Hellenic Journal of Psychology*. v.1, p.56-79. (Σχήμα 22 και 23).
11. Berman, S., Cicchino, N., Hajinazarian A., Mescher, M., Scott, K.H. and Horowitz-Kraus T. (2014). *An fMRI Study of a Dyslexia Biomarker*. *Journal of Young Investigators*. v.26, n.1, p.1-4. ISSN: 1539-4026. (Σχήμα 24).
12. Paulesu, E., Danelli, L. and Berlinger, M. (2014) *Reading the Dyslexic Brain: Multiple Dysfunctional Routes Revealed by a New Meta-Analysis of PET and fMRI*

- Activation Studies*. *Frontiers in Human Neuroscience*. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00830> (Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2021). (Σχήμα 25).
13. Κοσμίδου, Μ., (2008). *Κλινική Νευροψυχολογική Εκτίμηση*. Αθήνα: Παρισιάνου Α.Ε. (Σχήμα 26).
14. Medical Images, (2021). *Medical Images*. Διαθέσιμο στο: <https://www.medicalimages.com/stock-photo-image-image14507841.html> (Πρόσβαση 19 Ιουνίου 2021). (Σχήμα 27).
15. SciencePhotoLibrary, (2021). *SciencePhotoLibrary*. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencephoto.com/media/266966/view/dyslexic-brain-during-reading-pet-mri> (Πρόσβαση 19 Ιουνίου 2021). (Σχήμα 28).
16. Σακελλαροπούλου, Γ., (2012). *Μεθοδολογικές Προτάσεις για την Υποστήριξη Φοιτητών με Δυσλεξία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πατρών. (Σχήμα 29, 30 και 31).