



**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Διευθυντής ΠΜΣ: Αναπλ. Καθηγητής ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

***Ο Ρόλος της Μαγνητικής Τομογραφίας στη
Νευροαποκατάσταση***

Κωνσταντίνα Μπαλλά
Ειδικότητα

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
Απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
«*ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ*»

Λάρισα, Δεκέμβριος 2021

«Βεβαιώνω ότι η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα δικής μου δουλειάς και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής. Στις δημοσιευμένες ή μη δημοσιευμένες πηγές έχω χρησιμοποιήσει εισαγωγικά και όπου απαιτείται έχω παραθέσει τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας:

Υπογραφή: »

ΜΠΑΛΛΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2021

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Επιβλέπων:

κ. Πατεράκης Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής Νευροχειρουργικής Π.Θ.

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. κ. Πατεράκης Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής Νευροχειρουργικής Π.Θ.

2. κ. Δαρδιώτης Ευθύμιος, Αναπλ. Καθηγητής Νευρολογίας Π.Θ.

3. κ. Μπόγδανος Δημήτριος, Καθηγητής Παθολογίας και Αυτοάνοσων Νοσημάτων Π.Θ.

Αναπληρωματικό μέλος:

.....

Τίτλος εργασίας στα αγγλικά: *The Role of Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Neurorehabilitation*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κο. Πατεράκη Κωνσταντίνο, κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αλλά και για την υπομονή που έκανε κατά την διάρκεια της υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω τόσο για την πολύτιμη βοήθεια του, όσο και για την καθοδήγησή του ως προς την επίλυση διαφόρων θεμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου και την απεριόριστη εκτίμησή μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με κάθε τρόπο, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

Κωνσταντίνα Μπαλλά

Περίληψη

Ως νευρολογία, ορίζεται ο κλάδος που μελετά τις παθήσεις του νευρικού συστήματος και ασχολείται με τη διάγνωση και τη θεραπεία τους. Η διάγνωση των παθήσεων αυτών γίνεται μέσω την νευρολογικής αξιολόγησης, μιας διαδικασίας που αναλαμβάνουν ειδικοί νευρολόγοι. Οι παθήσεις αυτές αφορούν δομικές, βιοχημικές ή ηλεκτρικές διαταραχές του νευρικού συστήματος που εκδηλώνονται με διάφορα συμπτώματα και κλινικά σημεία και ο διαχωρισμός τους, ανάλογα με το αίτιο που τις προκαλεί, γίνεται σε συγγενείς, επίκτητες και ιδιοπαθείς. Στη αντιμετώπιση των νευρολογικών παθήσεων, σημαντικός είναι ο ρόλος της τεχνολογίας στην ανάπτυξη νεότερων απεικονιστικών τεχνικών που συνέβαλλε στην έγκαιρη διάγνωση τους. Με τον όρο νευροαπεικόνιση, ορίζεται η χρήση τεχνικών και μέσων για την απεικόνιση της δομής, της λειτουργίας και της φαρμακολογίας του νευρικού συστήματος και χωρίζεται σε δομική και λειτουργική νευροαπεικόνιση. Σημαντική ήταν η ανακάλυψη και εφαρμογή του μαγνητικού συντονισμού (MRI) στην απεικόνιση της ανατομίας και της φυσιολογίας του σώματος με μαγνητικά πεδία. Η χρήση του θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη και ασφαλής για την απεικόνιση των μαλακών ιστών και η αντίθεση του είναι πολύ υψηλή, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για υψηλής ευκρίνειας λήψεις. Μπορεί να διαχωρίσει τη φαιά από την λευκή ουσία και αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη επιλογή για τη διάγνωση πολλών παθήσεων του κεντρικού νευρικού συστήματος. Επίσης, με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων του MRI, επιτρέπεται η παραγωγή μεγάλου εύρους εικόνων, χρήσιμων για την ανατομία ή την υποκείμενη παθολογία. Ο λειτουργικός μαγνητικός συντονισμός (fMRI) στηρίζεται στο MRI και είναι μία μη παρεμβατική τεχνική λειτουργικής νευροαπεικόνισης και πιο συγκεκριμένα, μια τεχνική απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριοποίησης, η οποία σχετίζεται με την αιματική ροή. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμεύει στον κλινικό ή τον ερευνητή, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει μελετηθεί η χρήση του και ως οπτική ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο στον ίδιο τον ασθενή. Παρόλα αυτά, η χρήση της τεχνικής αυτής βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και χρήζει μελέτης.

Λέξεις - Κλειδιά: Μαγνητική τομογραφία, απεικονιστικές μέθοδοι, νευροποκατάσταση, νευρολογικές ασθένειες, νευρολογία

ABSTRACT

Neurology is the medical sector that studies the neural system's diseases and, more specifically, the diagnosis and treatment. The diagnosis is conducted through neurological examination, which specific neurologists undertake. These diseases have to do with structural, biochemical, and electrical disorders of the neural system, with various symptoms. Their separation, regarding the cause, is made in congenital, acquired, and idiopathic. However, according to the literature, a mixed categorization of seven categories is more usual. During the treatment of a neurological disease, various characteristics have to be considered, and technological development is the one that provides researchers and clinicians with essential tools for the achievement of it. Neuroimaging benefited the most. It is defined as the use of techniques and technological means for imaging the structure, function, and pharmacology of neural system, and it consists of structural and functional neuroimaging. The most significant discovery until today is magnetic resonance imaging, which is used to image the anatomy and physiology of the human body with the use of magnetic fields. It is considered the most appropriate and safe imaging technique for imaging soft tissues and has very high contrast, providing the capability for high-resolution images. In the brain, it can separate the grey from the white matter and is an excellent choice for diagnosing various diseases of the central neural system. Also, with the use of different MRI techniques, radiologists can produce a wide range of images useful for the anatomy or the underline pathology. The fMRI is based on the MRI and is a non-invasive technique of functional neuroimaging and, more specifically, brain imaging neural activity associated with the blood flow. It is beneficial for the clinician or the researcher in most cases, but it has been used as real-time optical feedback to the patient in the last years. However, the use of the technique as a rehabilitative tool is still in its early stage.

Keywords: *Magnetic resonance imaging, MRI, imaging methods, neurorehabilitation, neurological diseases, neurology*

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	σελ. 8
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή στη νευρολογία	σελ. 8
• Γενικά	σελ. 8
• Νευρολογική αξιολόγηση	σελ. 9
Κεφάλαιο 2 Νευρολογικές παθήσεις	σελ. 9
2.1 Γενικά	σελ. 9
2.2 Αίτια και βιολογία νευρολογικών παθήσεων	σελ. 10
2.3 Συνήθεις παθήσεις και κατηγορίες	σελ. 11
Κεφάλαιο 3 Νευροαποκατάσταση	σελ. 12
3.1 Γενικά	σελ. 12
3.2 Χαρακτηριστικά	σελ. 13
3.3 Τεχνολογική ανάπτυξη	σελ. 14
Κεφάλαιο 4 Νευροαπεικόνιση	σελ. 15
4.1 Γενικά - Ιστορία	σελ. 15
• Μαγνητική τομογραφία (MRI)	σελ. 18
• Ιστορία και ανάπτυξη	σελ. 18
• Μηχανισμός	σελ. 18
• Εφαρμογές στη νευροαποκατάσταση	σελ. 19
• Άλλες τεχνικές	
• fMRI	
• Magnetic Resonance Spectroscopy	
• MR neurography – Diffusion MRI	
Κεφάλαιο 5 Σύνοψη Διατριβής	
Αρθρογραφία	
Βιβλιογραφία	
Ηλεκτρονικοί σύνδεσμοι	

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, αρκετές καινοτόμες θεραπευτικές παρεμβάσεις , έχουν χρησιμοποιηθεί και έχουν αλλάξει δραματικά την ικανότητα των επαγγελματιών υγείας να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα που συναντούν στο χώρο αυτής. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορούν να αφορούν το κομμάτι της φυσικοθεραπείας, των χειρουργικών επεμβάσεων, την χρήση φαρμακευτικών ουσιών, ή στις περισσότερες περιπτώσεις ένα συνδυασμό αυτών. Οσον αφορά στη φυσικοθεραπεία, παρά την έμφαση που έχει δοθεί όλα αυτά τα χρόνια σε παραδοσιακές τεχνικές για την αποκατάσταση των μυοσκελετικών παθήσεων, ασθένειες που οφείλονται σε βλάβες του νευρικού συστήματος, όπως για παράδειγμα η νόσος του Parkinson, τα εγκεφαλικά επεισόδια κ.α., αποτελούν μέχρι και σήμερα μεγάλη πρόκληση για τους επαγγελματίες υγείας λόγω της πολυπλοκότητας που εμφανίζουν. Καθώς δεν υπάρχει καμία γνωστή και απολύτως επιτυχημένη θεραπεία για τις περισσότερες από αυτές τις ασθένειες (κυρίως αυτές που προσβάλουν το κεντρικό νευρικό σύστημα), η διαχείριση και αντιμετώπισή τους βασίζεται κυρίως σε συντηρητικές θεραπείες μέσω της χορήγησης φαρμάκων ή μέσω νευροχειρουργικής προσέγγισης. Για το λόγο αυτό, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για βέλτιστη και έγκαιρη διάγνωση και αξιολόγηση των παθήσεων αυτών, αφού και οι ασθενείς ακόμη και μετά τη λήψη θεραπείας βιώνουν προοδευτική επιδείνωση και κατ' επέκταση μείωση της ποιότητας ζωής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑ

- **Γενικά**

Η ρίζα της λέξης νευρολογία, προέρχεται από την ελληνική λέξη "νεύρον" και το επίθεμα "λογία" που σημαίνει τομέας μελέτης και είναι ο κλάδος της Ιατρικής που μελετά τις παθήσεις του νευρικού συστήματος. Η νευρολογία σαν κλάδος, ασχολείται με την διάγνωση και την θεραπεία όλων των παθήσεων και ασθενειών του κεντρικού

και περιφερικού νευρικού συστήματος αλλά και των υποκατηγοριών τους (αυτόνομο ,συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα), περιλαμβάνοντας όμως και τους ιστούς που τα καλύπτουν, δηλαδή τα αιμοφόρα αγγεία αλλά και τους ιστούς που επηρεάζονται από αυτά, όπως οι μύες (iii).

Σκοπός της νευρολογίας είναι να μελετήσει, να διαγνώσει και να θεραπεύσει τις ασθένειες αυτές. Κάποιες από αυτές είναι τα εγκεφαλικά επεισόδια, οι επιληπτικές κρίσεις, η σκλήρυνση κατά πλάκας, η άνοια και ασθένειες του κεντρικού νευρικού συστήματος που επηρεάζουν τον κινητικό έλεγχο, όπως η νόσος του Parkinson.

- **Νευρολογική αξιολόγηση**

Οι επαγγελματίες ιατροί που ειδικεύονται στη νευρολογία ονομάζονται νευρολόγοι. Η διαδικασία κατά την οποία μελετούν και εξετάζουν τους ασθενείς τους (κυρίως οι διαγνωστικές φάσεις) είναι πολύπλευρη και τις περισσότερες φορές ακολουθεί μια συγκεκριμένη τακτική. Οι νευρολόγοι, αρχικά συλλέγουν ένα περιεκτικό και ολοκληρωμένο ιατρικό ιστορικό από τον ασθενή και έπειτα ακολουθεί μια εκτενής σωματική εξέταση με επίκεντρο την αξιολόγηση του νευρικού συστήματος. Η νευρολογική εξέταση συνίσταται στην εκτίμηση των ανώτερων ψυχονοητικών λειτουργιών, των κρανιακών νεύρων, του κινητικού μηχανισμού, των διαφόρων τύπων αισθητικότητας, των ορθοκυστικών λειτουργιών και του αυτόνομου νευρικού συστήματος.

Ωστόσο, στο πλείστο των περιπτώσεων ο πάσχων θα υποβληθεί σε επιπλέον διαγνωστικές δοκιμασίες προκειμένου να αποφευχθεί η πιθανότητα μιας λανθασμένης διάγνωσης. Αυτές οι διαγνωστικές δοκιμασίες, συνήθως αναφέρονται σε απεικονιστικές μεθόδους που θα αναλυθούν παρακάτω και περιλαμβάνουν τεχνικές όπως είναι η μαγνητική τομογραφία, η αξονική τομογραφία, ο υπέρηχος, αλλά και σε άλλες τεχνικές όπως το εγκεφαλογράφημα, η ηλεκτρομυογραφία, τα γενετικά τεστ κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΘΗΣΕΙΣ

2.1 Γενικά

Νευρολογική πάθηση ή ασθένεια, ονομάζεται κάθε διαταραχή του νευρικού συστήματος, η οποία προέρχεται από δομικές, βιοχημικές ή ηλεκτρικές ανωμαλίες του εγκεφάλου, του νωτιαίου μυελού ή διαφόρων νευρών και οι οποίες εκδηλώνονται με την ανάλογη συμπτωματολογία. Μερικά από αυτά τα συμπτώματα, είναι η παράλυση, η απώλεια ή μείωση της αισθητικότητας, η μυϊκή αδυναμία, ο κακός συντονισμός, οι επιληπτικές κρίσεις, ο πόνος κ.α. Αυτών των ειδών τα συμπτώματα ίσως και να υποδηλώνουν την παρουσία κάποιας νευρολογικής πάθησης και η σωστή διάγνωση αυτής γίνεται μέσω εκτενούς νευρολογικής αξιολόγησης, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Υπάρχουν πολλές γνωστές νευρολογικές παθήσεις, άλλες πιο σπάνιες και άλλες πιο συνηθισμένες και η αντιμετώπιση τους περιλαμβάνει παρεμβάσεις όπως οι προληπτικές εξετάσεις, η φυσικοθεραπεία, οι αλλαγές στον τρόπο ζωής, η ειδική διαίτα (55), η λήψη φαρμακευτικής αγωγής και οι νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι το 2010 οι νευρολογικές παθήσεις αποτελούσαν το 5.5 % των ετών ζωής με αναπηρία (years lived with disability, YLDs) ή τα 42.9 εκατομμύρια YLDs (31). Τα πιο πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι οι νευρολογικές παθήσεις παγκοσμίως αποτελούν το 3% του παγκόσμιου φόρτου ασθενειών (Global Burden of Disease, GBD). Παρότι αυτό το νούμερο μοιάζει αρκετά μικρό, η επιληψία, τα εγκεφαλικά επεισόδια, η άνοια και οι ημικρανίες τοποθετούνται στα πρώτα 50 αίτια των ετών ζωής που ο πάσχων θα ζήσει με αναπηρία (31) και υπολογίζεται ότι μέσα στο διάστημα της επόμενης δεκαετίας το ποσοστό αυτών των ασθενειών στην κοινωνία, θα αυξηθεί περαιτέρω, ιδιαίτερα σε χώρες με χαμηλό έως και μεσαίο εισόδημα.

2.2 Αίτια και βιολογία νευρολογικών παθήσεων

Μία νευρολογική πάθηση ή ασθένεια προέρχεται από κάποιου είδους διαταραχή του νευρικού συστήματος, όπως και αναφέρθηκε. Παρά το γεγονός ότι ανατομικά τόσο ο εγκέφαλος, όσο και ο νωτιαίος μυελός περιβάλλονται από μεμβράνες και προστατεύονται από το κρανίο και τα οστά της σπονδυλικής στήλης αντίστοιχα, δεν είναι δύσκολο να υποστούν βλάβες. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες νευρολογικών παθήσεων αναφορικά με το αίτιο που τις προκαλεί. Πολλές νευρολογικές παθήσεις είναι συγγενούς αιτιολογίας, που σημαίνει ότι παρουσιάστηκαν από την πρώτη κιόλας ημέρα της ζωής του ατόμου (π.χ. λόγω γενετικών ανωμαλιών), ενώ άλλες είναι επίκτητες και αναπτύχθηκαν μετά τη γέννα (π.χ. τραυματική εγκεφαλική βλάβη). Η τρίτη κατηγορία νευρολογικών παθήσεων αναφορικά με το αίτιο εμφάνισης αυτών,

είναι οι ιδιοπαθείς, όπου δεν μπορούμε να γνωρίζουμε άμεσα το ακριβές αίτιο της διαταραχής μέσω των διαγνωστικών δοκιμασιών, τουλάχιστον, αυτών που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.

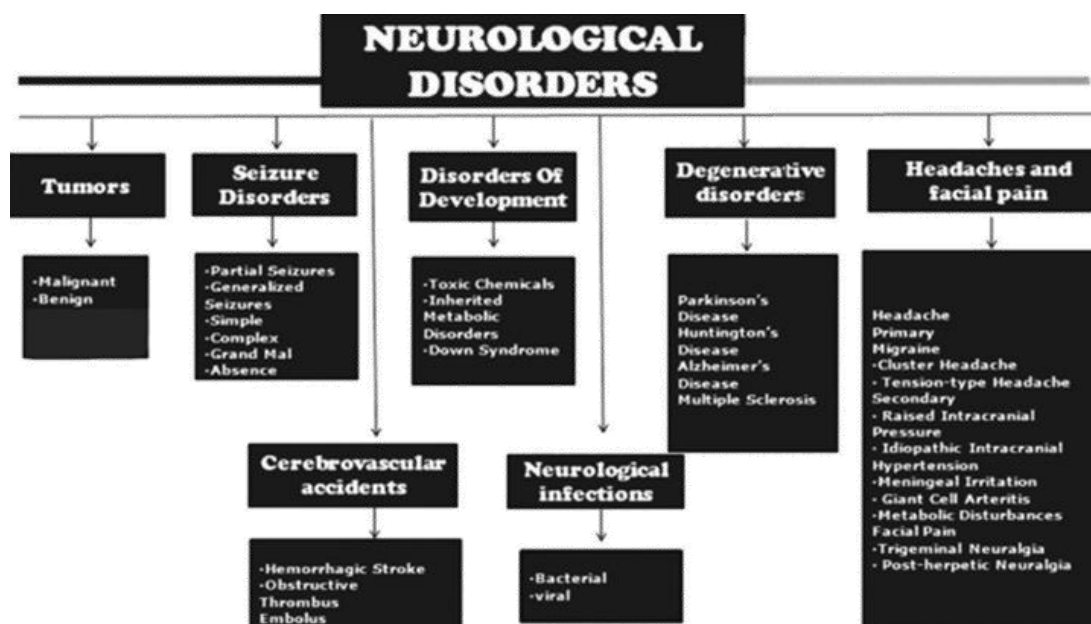
Οι νευρολογικές βλάβες μπορούν να είναι είτε δομικές, είτε ηλεκτροχημικές και η αποκατάστασή τους είναι ευκολότερη όταν συμβαίνουν στο περιφερικό νευρικό σύστημα (π.χ. τραυματισμός του ισχιακού νεύρου) και πολύ πιο δύσκολη όταν συμβαίνουν στον κεντρικό νευρικό σύστημα (π.χ. ύπαρξη εγκεφαλικού επεισοδίου). Η εξήγηση σε αυτό έχει δοθεί στην ανασκόπηση του Krucoff και των συνεργατών του (19), οι οποίοι χαρακτηριστικά αναφέρουν ότι για να κατανοήσουμε πλήρως πως μπορούμε να αντιστρέψουμε ή να αποκαταστήσουμε μία νευρολογική βλάβη, πρέπει πρώτα να καταλάβουμε τους μηχανισμούς της κυτταρικής ανάπτυξης και βλάβης. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, οι νέοι νευρώνες του κεντρικού νευρικού συστήματος χρειάζονται δραστηριοποίηση (όπου διεγείρεται από εκούσιες δράσεις όπως η όραση, το περπάτημα, οι κινήσεις της άκρας χείρας κ.α.) και τροφικούς παράγοντες για να επιζήσουν και να μπορέσουν να αναπτυχθούν (25). Παρόλα αυτά, όταν ωριμάσουν πλήρως, η ικανότητά τους για αξονική ανάπτυξη μειώνεται, λόγω των αλλαγών που υφίστανται οι ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες σήματος, όπως και λόγω της ανάπτυξης σταθερών συναπτικών πεδίων. Μετά τη βλάβη, η απώληση του νευράξονα εκφυλίζεται, καθώς το πλησιέστερο σημείο του "σφραγίζει" την τραυματισμένη μεμβράνη με στόχο να σχηματίσει ένα είδος βολβού (11). Ακολουθώντας, σχηματίζεται ένας όγκος και οι τραυματισμένοι φλοιονωτιαίοι νευράξονες κάνουν προσπάθεια ώστε να αναγεννηθούν. Όμως, παρουσιάζεται συνήθως απουσία των καθοδηγητικών σημάτων και καταλήγουν σε αποτυχία (7). Αυτή η αδυναμία αναγέννησης, εξηγεί όχι μόνο το γιατί οι τραυματισμοί του κεντρικού νευρικού συστήματος (CNS) είναι τόσο καταστροφικοί, αλλά και γιατί μένουν στάσιμοι εφόσον περάσει κάποιο χρονικό διάστημα και χαρακτηρίζονται ως χρόνιοι.

2.3 Συνήθεις παθήσεις και κατηγορίες

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (World Health Organization, WHO), μερικές από τις πιο συνήθεις νευρολογικές παθήσεις είναι οι επιληπτικές κρίσεις, η νόσος Alzheimer, τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια, οι ημικρανίες, η σκλήρυνση κατά πλάκας, η νόσος του Parkinson, οι εγκεφαλικοί όγκοι, όπως και πολλές λοιμώξεις βακτηριακής, ιογενούς, μυκητιασικής και παρασιτικής αιτιολογίας που μπορεί να επηρεάσουν και να οδηγήσουν σε εκφύλιση το νευρικό σύστημα. Οι νευρολογικές

παθήσεις, που είναι γνωστές τουλάχιστον έως σήμερα, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση διάφορα χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά, είναι το αίτιο που τις προκαλεί και όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, χωρίζονται κατ' αυτό τον τρόπο σε συγγενείς, επίκτητες και ιδιοπαθείς. Η κατηγοριοποίηση τους μπορεί γίνει επίσης με βάση την κύρια περιοχή που έχει επηρεαστεί αλλά και με βάση τον πρωτεύοντα τύπο δυσλειτουργίας. Ένας άλλος διαδεδομένος διαχωρισμός νευρολογικών παθήσεων, είναι ο διαχωρισμός μεταξύ παθήσεων που προσβάλλουν το κεντρικό νευρικό σύστημα και παθήσεων που προσβάλλουν το περιφερικό νευρικό σύστημα. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Khan και τους συνεργάτες του, ο πιο συνηθισμένος τρόπος κατηγοριοποίησης των νευρολογικών παθήσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 (15). Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μία μικτή κατηγοριοποίηση και περιλαμβάνει τις εξής επτά κατηγορίες:

- Όγκοι (π.χ. κακοήθεις ή καλοήθεις)
- Παθήσεις επιληπτικών κρίσεων (π.χ. απλές, πολύπλοκες κ.α.)
- Αγγειακά επεισόδια (π.χ. αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο)
- Παθήσεις ανάπτυξης (π.χ. τοξικές και μεταβολικές)
- Λοιμώξεις νευρικού συστήματος (π.χ. ιογενείς ή βακτηριακές)
- Εκφυλιστικές παθήσεις (π.χ. νόσος του Parkinson, νόσος Alzheimer)
- Κεφαλαλγίες και νευραλγίες (π.χ. ημικρανίες)



Σχήμα 1. Κατηγοριοποίηση νευρολογικών παθήσεων (15)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

3.1 Γενικά

Μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, πολλοί από τους στρατιώτες που είχαν καταφέρει να επιβιώσουν, υπέφεραν από τραυματισμούς στο κεφάλι και τον νωτιαίο μυελό, με τα αντιβιοτικά να είναι η πιο άμεση και σωτήρια θεραπεία για να κρατηθούν στην ζωή, όπως και τελικά αποδείχθηκε. Παρόλα αυτά, οι άνθρωποι αυτοί, στην συνέχεια χρειάστηκαν μεγάλη βοήθεια, ώστε να ανακτήσουν ένα μέρος του βαθμού ελευθερίας που είχαν χάσει από την καθημερινότητα τους. Έτσι, δημιουργήθηκε ένα μεγάλο ποσοστό ανθρώπων παγκοσμίως που ζούσε με σοβαρές αναπηρίες. Γι' αυτό το λόγο γεννήθηκε η άμεση ανάγκη για μία νέα θεραπεία που θα βοηθούσε αυτούς τους ανθρώπους να ξεπεράσουν τα προβλήματα τους και να ζήσουν μία, όσο το δυνατόν περισσότερο, καλύτερη ποιοτικά ζωή. Τότε, λοιπόν, έκανε την εμφάνισή του και αναπτύχθηκε ο τομέας της νευροαποκατάστασης. Η νευροαποκατάσταση είναι μία αρκετά σύνθετη ιατρική διαδικασία, η οποία στοχεύει στην υποβοήθηση της ανάρρωσης του ασθενούς μετά από τραυματισμό στο νευρικό σύστημα και στον περιορισμό ή/και στην επανόρθωση των λειτουργικών αλλαγών που προέκυψαν από αυτόν (19). Η αναπηρία που προκαλείται από μία νευρολογική ασθένεια είναι ο πιο συχνός λόγος που οι ασθενείς εισάγονται σε ένα κέντρο ή μία κλινική αποκατάστασης. Τα περιστατικά που συναντώνται πιο συχνά σε μία τέτοια κλινική είναι τα εγκεφαλικά επεισόδια, οι κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις, οι κακώσεις του νωτιαίου μυελού, η σκλήρυνση κατά πλάκας και η νόσος του Parkinson. Οι ασθενείς με αυτές τις παθήσεις αντιστοιχούν συνήθως στα δύο τρίτα των ασθενών που εισέρχονται σε μια τέτοιου είδους κλινική αποκατάστασης (30). Παρόλο που αυτά τα προβλήματα είναι νευρολογικής φύσεως, στο παρελθόν αντιμετωπιζόνταν κυρίως μόνο από φυσιάτρους. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της ιατρικής και της αποκατάστασης, ο τομέας της νευροαποκατάστασης έγινε πιο περίπλοκος, ο βαθμός φροντίδας που παρεχόταν στους ασθενείς αυξήθηκε σημαντικά και οι νευρολόγοι

άρχισαν να δίνουν μεγάλη βάση στην μακροχρόνια διαχείριση και στήριξη των ασθενών αυτών. Τώρα πια για την φροντίδα των ασθενών που χρειάζονται αποκατάσταση μετά από έναν τραυματισμό του νευρικού συστήματος, οργανώνεται μία ομάδα εξειδικευμένων επαγγελματιών που περιλαμβάνει ειδικότητες όπως είναι οι φυσικοθεραπευτές, οι εργοθεραπευτές, οι λογοθεραπευτές, οι νοσηλευτές, οι κοινωνικοί λειτουργοί, οι σύμβουλοι προσανατολισμού κ.α. Η συνολική διαχείριση όλων αυτών των δραστηριοτήτων είναι ευθύνη του ιατρού που έχει αναλάβει τον ασθενή. Παρά την πρόοδο που έχει γίνει, δεν υπάρχουν ακόμα ισχυρές αποδείξεις ότι τα προγράμματα αυτά έχουν επίδραση στην αποκατάσταση των κατεστραμμένων ιστών του νευρικού συστήματος. Αντ' αυτού όμως μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ικανότητα του ασθενή να εκτελέσει με επιτυχία τις καθημερινές του δραστηριότητες και κατ' επέκταση να πετύχει ένα μεγάλο ποσοστό λειτουργικής αυτονομίας και ανεξαρτησίας.

3.2 Χαρακτηριστικά

Μετά από έναν σοβαρό νευρολογικό τραυματισμό, που λαμβάνει μέρος συνήθως στον εγκέφαλο ή το νωτιαίο μυελό, οι ασθενείς έρχονται αντιμέτωποι με μία νέα πραγματικότητα, όχι μόνο για τους ίδιους, αλλά και για την οικογένεια τους, μιας και η καθημερινότητα και των δύο ξαφνικά αλλάζει. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση αποτελεσματικά, πρέπει όλοι να καθιερώσουν ένα νέο τρόπο ζωής, όχι μόνο σχετικά με τις ανάγκες που θα προκύψουν λόγω της αλλαγής στο σώμα του ασθενή, αλλά και με τη δυσκολία που θα προκύψει στην κοινωνική ενσωμάτωση του. Για το λόγο αυτό, η νευροαποκατάσταση πρέπει να εστιάζει τόσο στην άμεση αποκατάσταση και επανένταξη του ασθενή, όσο και στην εξάσκηση και εκπαίδευση της οικογένειας ώστε να ανταποκριθεί όσο το δυνατόν πιο εύκολα και γρήγορα γίνεται στο νέο ρόλο που θα αναλάβει. Έτσι, στόχος όλων είναι ο ασθενής να προσαρμοστεί στη νέα κατάσταση, να βελτιώσει την ανεξαρτησία του, να επανακτήσει την αυτοπεποίθησή του και να ενταχθεί ξανά με επιτυχία στο κοινωνικό σύνολο. Ένα επιτυχημένο πρόγραμμα νευροαποκατάστασης πρέπει να είναι (ii):

- **Ολιστικό**

Πρέπει να φροντίζει όλες τις διαστάσεις του ασθενή όπως η κινητική, νοητική, ψυχολογική και κοινωνική λειτουργία του.

- **Μακροχρόνιο**

Πρέπει να εστιάζει, όχι μόνο στην αποκατάσταση του ασθενή, αλλά και στην περαιτέρω βοήθεια που μπορεί να χρειαστεί για το υπόλοιπο της ζωής του.

- **Εστιασμένο στον ασθενή**

Το κάθε θεραπευτικό πρωτόκολλο πρέπει να σχεδιάζεται με βάση τα εκάστοτε χαρακτηριστικά του ασθενή και της οικογένειας του.

- **Αποκλειστικό**

Το κάθε πλάνο πρέπει να σχεδιάζεται με βάση τα στοιχεία από διάφορες επιστήμες και να εφαρμόζεται από μία ομάδα εμπειρών επαγγελματιών υψηλού επιπέδου, όπου ο καθένας θα αναλάβει ένα συγκεκριμένο έργο.

- **Συμμετοχικό**

Η συλλογική προσπάθεια και η συνεργασία μεταξύ ασθενή, οικογένειας και ιατρών είναι απαραίτητη.

- **Αποτελεσματικό**

Η θεραπεία πρέπει να περιλαμβάνει ικανό αριθμό ανθρώπινου και υλικού δυναμικού για την επιτυχημένη λύση των προβλημάτων που προκύπτουν στον ασθενή.

- **Εστιασμένο στην κοινωνία**

Το πρόγραμμα αποκατάστασης πρέπει να εστιάζει στις λύσεις που θα ενσωματώσουν καλύτερα τον ασθενή στην κοινωνία που ζει με βάση τα εκάστοτε χαρακτηριστικά αυτής.

3.3 Τεχνολογική ανάπτυξη

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και ακόμη περισσότερο τα τελευταία χρόνια, ο τομέας της νευροαποκατάστασης έχει αλλάξει δραματικά. Με την προοδευτική ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, γιατροί και επιστήμονες είναι πιο εξοικειωμένοι με το ανθρώπινο νευρικό σύστημα και τις λειτουργίες του όσο ποτέ άλλοτε. Οι συμβατικές μέθοδοι στη νευροαποκατάσταση ίσως να μην είναι τόσο αποδοτικές στο μεγαλύτερο μέρος των ασθενών με συνήθεις νευρολογικές παθήσεις όπως το εγκεφαλικό, η νόσος του Parkinson, το τραύμα στο νωτιαίο μυελό, οι κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις κ.α. Νέες τεχνολογίες όμως, έχουν δείξει ότι μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των μεθόδων της νευροαποκατάστασης σε πολλές από αυτές τις ασθένειες. Μερικές από αυτές περιλαμβάνουν εξάσκηση με την υποβοήθηση ρομπότ, εικονική πραγματικότητα, λειτουργική ηλεκτροδιέγερση, μη παρεμβατική εγκεφαλική διέγερση (Non-invasive brain stimulation, NIBS), με στόχο την βελτίωση

της έντασης και της ποιότητας της νευροαποκατάστασης, αλλά και με στόχο τον "χειρισμό" της πλαστικότητας και της διεγερσιμότητας του εγκεφάλου, όπως επίσης και νέες καινοτόμες προσεγγίσεις σαν τις βοηθητικές τεχνολογίες και τις τεχνολογίες τηλεαποκατάστασης από το σπίτι (45). Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στις μεθόδους αποκατάστασης με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας και των βιντεοπαιχνιδιών, έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο από κάθε άλλο στη νευροαποκατάσταση και συνεχίζουν να εξελίσσονται ραγδαία. Μπορεί να παρέχουν στους νευρολογικούς ασθενείς ένα διαδραστικό και ευχάριστο τρόπο να εξερευνήσουν και να εκπαιδευτούν σε διάφορες πλευρές του περιβάλλοντος και της καθημερινότητας τους μέσα από την ασφάλεια της φροντίδας και παρακολούθησης από τους θεραπευτές τους. Οι συσκευές και προσομοιώσεις αυτές, μαζί με άλλες ρομποτικές τεχνολογίες, σε σύγκριση με παραδοσιακές τεχνικές, δίνουν την επιλογή σε ασθενείς με αγγειακά επεισόδια και άλλες παθήσεις του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού να μειώσουν το χρόνο αποθεραπείας. (ii). Η μείωση αυτή στον χρόνο ανάρρωσης είναι πολύ σημαντική για αυτές τις ασθένειες. Σημαντικό επίσης είναι και το λεγόμενο 'timing' (συγχρονισμός) στη νευροαποκατάσταση που φαίνεται να έχει καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα της εκάστοτε μεθόδου που χρησιμοποιείται. Το χρονικό σημείο στο οποίο γίνεται η διάγνωση μιας ασθένειας και το χρονικό σημείο που εφαρμόζεται μία μέθοδος νευροαποκατάστασης, είναι πολύ σημαντικά για την επιδείνωση ή τη βελτίωση της νόσου και η πρώτη παράμετρος επηρεάζει σημαντικά και τη δεύτερη. Εάν μία ασθένεια καθυστερήσει να διαγνωστεί ή διαγνωστεί λανθασμένα, το αρνητικό αντίκτυπο θα είναι μεγάλο για τον ασθενή. Εάν αυτή η ασθένεια όμως διαγνωστεί έγκαιρα και σωστά, τα θετικά αντίκτυπα θα είναι πολλά. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί πολύ προσοχή στον τομέα της νευροαπεικόνισης ώστε να αναπτυχθούν τεχνολογίες που θα βοηθήσουν κυρίως στο στάδιο της διάγνωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΝΕΥΡΟΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

4.1 Γενικά – Ιστορία

Η Νευροαπεικόνιση ορίζεται ως η χρήση διαφόρων τεχνικών και τεχνολογικών μέσων για την άμεση ή έμμεση απεικόνιση της δομής, της λειτουργίας και της φαρμακολογίας του νευρικού συστήματος. Είναι σχετικά ένας νέος κλάδος που εμπίπτει στην ιατρική, στην νευροεπιστήμη αλλά και στην ψυχολογία (11). Οι επαγγελματίες υγείας που είναι

εξειδικευμένοι στην εκτέλεση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της νευροαπεικόνισης, ονομάζονται νευρορακτινολόγοι. Η νευροαπεικόνιση μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

- Τη δομική απεικόνιση, η οποία μελετά τη δομή του νευρικού συστήματος και τη διάγνωση των, ενδοκρανιακών παθήσεων και τραυμάτων, όπως για παράδειγμα οι χωροκατακτητικές εξεργασίες.
- Τη λειτουργική απεικόνιση, που χρησιμοποιείται για τη διάγνωση μεταβολικών παθήσεων και βλαβών μικρότερης κλίμακας, όπως είναι η νόσος του Alzheimer, αλλά και επίσης για ερευνητικές μελέτες στη νευρολογία και την ψυχιατρική.

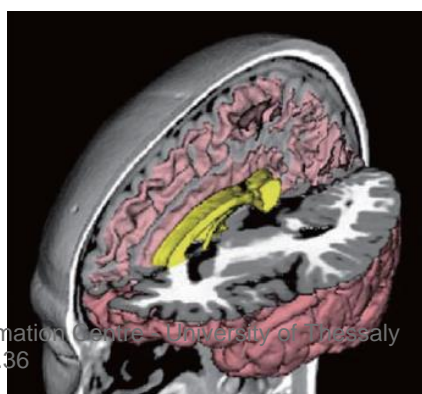
Η πρώτη ανακάλυψη αναφορικά με τη νευροαπεικόνιση έγινε από τον Ιταλό νευροεπιστήμονα Angelo Mosso στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο οποίος επινόησε τη μέθοδο της ισορροπίας της ανθρώπινης κυκλοφορίας (Human Circulation Balance), με την οποία μπορούσε μη παρεμβατικά να υπολογίσει την ανακατανομή του αίματος κατά τη διάρκεια συναισθηματικής και νοητικής δραστηριότητας (35). Το 1918 ο Αμερικανός νευροχειρουργός Walter Dandy εισήγαγε την τεχνική της κοιλιολογραφίας (Ventriculography). Κατά τη διάρκεια της τεχνικής αυτής, απεικονίζεται το κοιλιακό σύστημα του εγκεφάλου με τη βοήθεια των X-ray ακτίνων, εγχέοντας φιλτραρισμένο αέρα απευθείας στη μία ή και στις δύο πλάγιες κοιλίες του εγκεφάλου. Επίσης, παρατήρησε το γεγονός ότι ο αέρας που εισέρχεται στην υπαραχνοειδή περιοχή μέσω παρακέντησης της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, μπορούσε να εισχωρήσει στο κοιλιακό σύστημα και να απεικονίσει τα εγκεφαλονωτιαία διαμερίσματα γύρω από τη βάση του εγκεφάλου και της επιφάνειας αυτού. Η τεχνική αυτή ονομάστηκε πνευμοεγκεφαλογραφία (Pneumoencephalography). Μερικά χρόνια αργότερα, το 1927 ο Egas Moniz εφηύρε την εγκεφαλική αγγειογραφία (Cerebral Angiography), όπου τα φυσιολογικά αλλά και τα μη φυσιολογικά αγγεία μέσα και γύρω από τον εγκέφαλο μπορούσαν να απεικονιστούν με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Έπρεπε να φτάσουμε στις αρχές του 1970 για να γίνει το επόμενο μεγάλο βήμα που συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη των νευροεπιστημών. Οι Cormack και Hounsfield παρουσίασαν για πρώτη φορά την αξονική (υπολογιστική) τομογραφία (Computerized Axial Tomography – CAT or CT) και έδωσαν τη δυνατότητα για περισσότερες και πιο λεπτομερείς ανατομικές εικόνες του εγκεφάλου. Η ανακάλυψη αυτή βοήθησε σημαντικά τη διάγνωση ασθενειών και τη νευροεπιστήμη για περαιτέρω εξέλιξη και

έδωσε στους δύο αυτούς επιστήμονες το βραβείο Nobel για Φυσιολογία ή Ιατρική το 1979 (i).

Πριν την ανακάλυψη της αξονικής τομογραφίας, η νευροαπεικόνιση χρησίμευε κυρίως περιγραφικά ώστε να αναγνωριστεί η παρουσία ή απουσία κάποιας ανωμαλίας και η γενική της εντόπιση. Από τις αρχές όμως του 1970 και με την ανακάλυψη της, οι δυνατότητες της νευροαπεικόνισης να απαθανατίζει τη δομική και λειτουργική νευροπαθολογία, βελτιώθηκαν σημαντικά. Από εκείνο το σημείο και έπειτα, βελτιώθηκε η πρόωμη διάγνωση των αγγειακών επεισοδίων και των εγκεφαλικών κακώσεων, με συνέπεια μεγάλος αριθμός πασχόντων να επιβιώνει, αυξάνοντας ωστόσο, και τον αριθμό των ατόμων με ανάγκη για νευροαποκατάσταση (48). Παρόλα αυτά δεν άλλαξε ο τρόπος που εφαρμόζονταν οι θεραπείες νευροαποκατάστασης, διότι οι επιστήμονες εστίζαν κυρίως στην αναγνώριση της περιοχής της αλλοίωσης (14). Η πρακτική της νευροακτινολογίας ήταν κυρίως περιγραφική και παρότι ήταν πολύ χρήσιμο να γνωρίζουμε πόσο "μικρό" ή "μεγάλο" είναι ή που εντοπίζεται ένα αγγειακό επεισόδιο, η πληροφορία αυτή δεν ήταν απαραίτητα άμεσα εφαρμόσιμη στην αποκατάσταση που θα προτεινόταν για την συγκεκριμένη ασθένεια.

Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η χρήση ισχυρών υπολογιστών και λογισμικών έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να αρχίζουν να μελετούν τρισδιάστατα (3D) τα στοιχεία, όπως π.χ, ο όγκος μιας αλλοίωσης και να συσχετίζουν αυτές τις πληροφορίες με τα κλινικά αποτελέσματα π.χ. ένα έμφρακτο και τη σχέση του με την έκβαση ενός εγκεφαλικού επεισοδίου (3) ή το μέγεθος και το βάθος των τραυματικών αλλοιώσεων σε σχέση με τη βαρύτητα ή την έκβαση της κρανιοεγκεφαλικής κακώσεως (22).

Πριν το τέλος του 20^{ου} αιώνα, πλήθος βελτιώσεων σημειώθηκαν στις τεχνικές λήψης, στην ανάλυση τους, στην ευαισθησία αυτών στην παθολογία και στις μεθόδους ποσοτικοποίησης φυσιολογικής, αλλά και παθολογικής νευροανατομίας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για κατανόηση της υποκείμενης παθοφυσιολογίας. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1., οι σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης και απεικόνισης με τη χρήση λειτουργικού μαγνητικού τομογράφου, δίνουν τη δυνατότητα λήψης εξαιρετικά ανατομικών λεπτομερειών (49, 50).



Εικόνα 1. Απεικόνιση του εγκεφάλου με τη χρήση λειτουργικού μαγνητικού τομογράφου (50).

4.2 Μαγνητική τομογραφία (MRI)

4.2.1 Ιστορία και ανάπτυξη

Λίγο μετά την ανάπτυξη της αξονικής τομογραφίας, αναπτύχθηκε και η τεχνική της Μαγνητικής Τομογραφίας (Magnetic Resonance Imaging – MRI). Η τεχνική είναι αποτέλεσμα δουλειάς πολλών ερευνητών του παρελθόντος που συντέλεσαν στην ανακάλυψη του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (nuclear magnetic resonance – NMR), όπου περιγράφει τους νόμους της φυσικής όπου και βασίζεται η τεχνική της μαγνητικής τομογραφίας. Η θεωρία της τεχνικής αυτής δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το Μάρτιο του 1973 από τον Paul Lauterbur, ο οποίος ανέπτυξε ένα μηχανισμό κωδικοποίησης χωρικών πληροφοριών μέσα σε ένα σήμα πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, χρησιμοποιώντας μαγνητικά πεδία (21). Παρόλα αυτά οι παράγοντες που οδηγούν στην αντίθεση μιας εικόνας, όπως οι διαφορές στο χρόνο χαλάρωσης των ιστών, είχαν μελετηθεί και αναλυθεί πολύ νωρίτερα από τους Erik Odeblad και Gunnar Lindstrom (32,33). Μεταξύ άλλων ερευνητών στις δεκαετίες 1970 και 1980, ο Peter Mansfield βελτιστοποίησε τις τεχνικές λήψεις και ανάλυσης των εικόνων μαγνητικού τομογράφου και το 2003 μαζί με τον Lauterbur κέρδισαν το βραβείο Νόμπελ για τη Φυσιολογία ή την Ιατρική, λόγω της συνεισφορά τους στην ανάπτυξη της μαγνητικής τομογραφίας (i). Από την πρώτη χρήση μαγνητικού τομογράφου στις αρχές της δεκαετίας του 80 μέχρι και σήμερα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην ευρεία χρήση του στον κλινικό χώρο. Από την ανακάλυψη αυτή "επωφελήθηκε" περισσότερο η δομική νευροαπεικόνιση αρχικά και λιγότερο η λειτουργική, αφού η τεχνολογία δεν επέτρεπε ακόμη την απεικόνιση μεταβολικών ασθενειών και βλαβών μικρότερης κλίμακας. Παρόλα αυτά, κατά τη διάρκεια της

δεκαετίας του 1980 οι τεχνικές και εφαρμογές του μαγνητικού τομογράφου βελτιώθηκαν σημαντικά, επιτρέποντας τη διάγνωση εγκεφαλικών παθήσεων σε άτομα εν ζωή, κάτι το οποίο δεν ήταν εφικτό μερικά χρόνια πριν (i).

Οι ερευνητές σύντομα ανακάλυψαν ότι οι μεγάλες αλλαγές στη ροή του αίματος που μπορούσαν να μετρηθούν με τη μέθοδο H₂O-15 PET, μπορούσαν επίσης να απεικονιστούν και από το MRI. Έτσι προέκυψε η ανακάλυψη της Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας (Functional magnetic resonance imaging – fMRI). Η χαμηλή επεμβατικότητα, η απουσία της ακτινοβολίας και η ευρεία διαθεσιμότητά του, το κατέστησαν ως το κυρίαρχο εργαλείο στον τομέα της χαρτογράφησης του εγκεφάλου από τη δεκαετία του 1990 έως και σήμερα (i).

4.2.2 Μηχανισμός

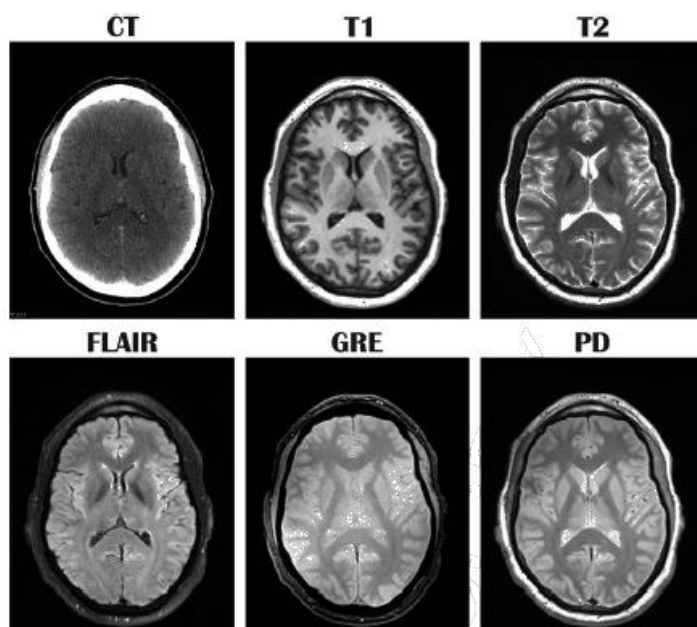
Η μαγνητική τομογραφία (MRI) είναι μία τεχνική απεικόνισης που χρησιμοποιείται στην ιατρική και πιο συγκεκριμένα στον τομέα της ακτινολογίας, για να ληφθούν εικόνες της ανατομίας αλλά και των φυσιολογικών διεργασιών του σώματος. Σε αντίθεση με τον αξονικό τομογράφο (CT) που χρησιμοποιεί ακτίνες X, ο μαγνητικός τομογράφος χρησιμοποιεί μαγνητικά πεδία υψηλής έντασης, διαβαθμίσεις μαγνητικών πεδίων και ραδιοκύματα για να δημιουργήσει τις εικόνες αυτές. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η MRI είναι η εφαρμογή του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού και παρόλο που στην αρχή αναφερόταν ως NMRI (nuclear magnetic resonance imaging), η ονομασία αυτή ύστερα απορρίφθηκε λόγω των αρνητικών συσχετισμών (nuclear – πυρηνικού) (50).

Γνωρίζουμε ότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται κυρίως από νερό. Τα μόρια του νερού (H₂O) περιέχουν πυρήνες υδρογόνου που ονομάζονται πρωτόνια, τα οποία ευθυγραμμίζονται σε ένα μαγνητικό πεδίο. Ο μαγνητικός τομογράφος μπορεί να εφαρμόσει ένα πολύ δυνατό μαγνητικό πεδίο, τέτοιο ώστε να ευθυγραμμίσει τις περιστροφές των πρωτονίων. Επιπλέον, μπορεί να παράξει ένα ρεύμα ραδιοσυχνότητας δημιουργώντας έτσι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Τα πρωτόνια απορροφούν την ενέργεια του μαγνητικού πεδίου και μεταβάλλουν συνεχώς την τροχιά κίνησής τους. Όταν το πεδίο απενεργοποιείται, τα πρωτόνια σταδιακά επιστρέφουν στις φυσιολογικές περιστροφές τους, μία διαδικασία που ονομάζεται μετάπτωση. Η διαδικασία αυτή παράγει ένα σήμα το οποίο μπορεί να μετρηθεί από τους αποδέκτες του τομογράφου, μετατρέποντας το σε εικόνα. Πρωτόνια διαφορετικών ιστών του σώματος, επιστρέφουν στην φυσιολογική τους κατάσταση με διαφορετικούς

ρυθμούς, οπότε ο τομογράφος μπορεί να διαχωρίσει τους διάφορους τύπους ιστών. Οι ρυθμίσεις του ενσωματωμένου σαρωτή μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να παράγουν αντιθέσεις μεταξύ των ιστών. Επιπρόσθετα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται για να παράξουν τρισδιάστατες (3D) εικόνες που μπορούν να προβληθούν από διαφορετικές γωνίες (50).

4.2.3 Εφαρμογές στη νευροαποκατάσταση

Η μέθοδος της μαγνητικής τομογραφίας είναι η πλέον κατάλληλη για την απεικόνιση των μαλακών ιστών του σώματος. Το νευρικό σύστημα (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός και νεύρα), όπως και οι μύες, τένοντες και σύνδεσμοι, μπορούν να απεικονιστούν πιο ξεκάθαρα με το μαγνητικό τομογράφο απ' ό,τι με τον αξονικό τομογράφο). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2., ανατομικά στοιχεία του εγκεφάλου και του κρανίου μπορούν να αναγνωριστούν με τη χρήση αξονικής τομογραφίας, αλλά σε σύγκριση με τη μαγνητική, η αξονική τομογραφία (CT) έχει μειωμένη δυνατότητα διαχωρισμού των δομών με διαφορετική σύσταση (49,50). Παρατηρούμε πως η κάθε λήψη της MRI απεικονίζει πιο καθαρά την ανατομία του εγκεφάλου σε σχέση με την CT. Επίσης, επειδή η MRI δεν χρησιμοποιεί ακτίνες X και άλλες βλαβερές ακτινοβολίες, είναι η βασική επιλογή όταν πρόκειται για συχνές απεικονίσεις και θεραπεία νευρολογικών παθήσεων, ειδικά στον εγκέφαλο. Παρόλα αυτά είναι πιο ακριβή στη χρήση του απ' ό,τι οι ακτίνες X και η αξονική τομογραφία. Στον εγκέφαλο, η MRI μπορεί εύκολα να διαχωρίσει τη λευκή από τη φαιά ουσία, λόγω της καλύτερης αντίθεσης των ιστών που προσφέρει συγκριτικά με τη CT και τις λιγότερες ατέλειες στην απεικόνιση του εγκεφαλικού στελέχους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να την καθιστά την καλύτερη δυνατή επιλογή για τη διάγνωση πολλών



Εικόνα 2. Σύγκριση μεταξύ CT και διαφορετικών ακολουθιών του MRI στο ίδιο άτομο. (50).

και βλαβών του κεντρικού νευρικού συστήματος όπως π.χ η άνοια, η νόσος Alzheimer, η επιληψία, οι απομυελινωτικές παθήσεις, τα αγγειακά επεισόδια και τις λοιμώξεις του εγκεφάλου.. Επίσης είναι πολύ χρήσιμη στην απεικόνιση του αδένου της υπόφυσης, ένα μέρος που εκκρίνει σημαντικές ορμόνες για διάφορες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού (49, 50) ,ενώ η CT είναι σημαντική βοήθεια στη μελέτη των οστικών δομών.

Δεδομένου των δυνατοτήτων της MRI, ο κλινικός ιατρός μπορεί άμεσα να αναγνωρίσει και να μελετήσει τις περισσότερες μορφές ανατομικής νευροπαθολογίας και να αξιολογήσει την εγκεφαλική ακεραιότητα με ένα πλήθος ποσοτικών και ποιοτικών μεθοδολογιών (37,38,44). Το πως θα χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες αυτές προς όφελος της νευροαποκατάστασης, είναι πολύ σημαντικό. Όσον αφορά στην έρευνα στον τομέα της νευροαπεικόνισης, σχετικά την προγνωστική της αξία στην νευροαποκατάσταση, έχει βασιστεί στις τεχνικές της CT και της MRI με τις οποίες δίνεται έμφαση στην απεικόνιση της ορατής υποκείμενης παθολογίας. (49). Η πλειοψηφία των ασθενών που υποβάλλονται σε θεραπείες νευροαποκατάστασης, έχουν προηγουμένως ελεγχθεί με κάποια τεχνική νευροαπεικόνισης κατά τη διάρκεια της θεραπείας τους, όχι μόνο στην οξεία φάση της βλάβης, αλλά και κατά τη διάρκεια των σταδίων της αποκατάστασης. Οι περισσότερες νευροαπεικονιστικές μελέτες ελέγχονται 'βιαστικά' από τους θεράποντες, κυρίως για να αναγνωρίσουν την εντόπιση της προφανούς παθολογίας και μία γενικότερη εικόνα της ακεραιότητας ή μη του εγκεφάλου, αλλά όχι για να προσεγγίσουν την πρόγνωση της έκβασης. (4).

Υπάρχουν σημαντικά βιβλιογραφικά δεδομένα όσον αφορά το τραύμα οξείας μορφής του νωτιαίου μυελού. Ο μαγνητικός τομογράφος είναι ένα μέσο που μπορεί αποτελεσματικά να απεικονίσει τη συγκεκριμένη ανατομική δομή, η οποία αποτελεί βασική μονάδα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, και επιπλέον, να εντοπίσει με μεγάλη ακρίβεια τυχόν ενδομυελικές ανωμαλίες, πράγμα που δεν μπορούσε να επιτευχθεί με παλαιότερες νευροαπεικονιστικές μεθόδους, όπως η μυελογραφία και η αξονική τομογραφία. Η MRI μπορεί να διακρίνει καθαρά ενδομυελικές αιμορραγίες

και οιδήματα και γι' αυτό έχει αποτελέσει την πρώτη επιλογή όσον αφορά την διάγνωση κακώσεων του νωτιαίου μυελού (29). Μελέτες που έγιναν στο παρελθόν έχουν δείξει ότι οι αρχικές παρατηρήσεις διαγνωστικής μορφής μέσω εικόνων MRI, συσχετίζονται άμεσα όχι μόνο με τα αρχικά νευρολογικά ευρήματα σε αυτούς τους τραυματισμούς (12,36), αλλά και με το βαθμό της κλινικής βελτίωσης και κατ'επέκταση της έκβασης που είχαν οι ασθενείς μακροχρόνια (20, 29, 51). Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, κατά την αρχική αξιολόγηση του τραύματος του νωτιαίου μυελού, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται, εκτός από την βασική νευρολογική αξιολόγηση και η απεικονιστική αξιολόγηση μέσω MRI (29).

Η μέθοδος αυτή αποτελεί επίσης την κύρια επιλογή, αναφορικά με την απεικόνιση πρωτοπαθών και δευτεροπαθών εξεργασιών του κεντρικού νευρικού συστήματος, με εξαιρετικά αποτελέσματα συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως η CT. Η MRI παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την εντόπιση, την κατηγοριοποίηση και το βαθμό της βλάβης, συμβάλλοντας στην λήψη βιοψίας, στο θεραπευτικό πρωτόκολλο και στην παρακολούθηση της εξέλιξης της βλάβης (9). Επιπλέον, θεωρείται βασική επιλογή για την απεικόνιση ασθενών με σκλήρυνση κατά πλάκας, με μεγαλύτερες δυνατότητες εντοπισμού της βλάβης στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό σε σχέση με την CT (16, 28, 52), δίνοντας έτσι χρήσιμες πληροφορίες για την παρακολούθηση της βλάβης, αλλά και για την αποτελεσματικότητα του θεραπευτικού πρωτοκόλλου που έχει επιλεγεί (1, 2).

Άλλες εφαρμογές της μαγνητικής τομογραφίας σε παθολογίες του κεντρικού νευρικού συστήματος αποτελούν η αξιολόγηση αγγειακών παθήσεων (εγκεφαλικά επεισόδια και δυσμορφίες), φλεγμονωδών, νευροεκφυλιστικών και μολυσματικών ασθενειών (27).

Οι ευρείες δυνατότητες του μαγνητικού τομογράφου αναφορικά με τους διαφορετικούς τρόπους λήψης σήματος το καθιστούν ένα σημαντικό εύχρηστο εργαλείο στα χέρια του κλινικού ιατρού. Η χρήση σύγχρονων μεθόδων μεταβλητότητας της έντασης των μαγνητικών πεδίων, της καθυστέρησης του χρονοδιαστήματος μεταξύ αποστολής και λήψης ραδιοκυμάτων, αλλά και της απεικόνισης της έντασης του σήματος, επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλου εύρους εικόνων, κάποιες από τις οποίες είναι χρήσιμες για τη μελέτη της ανατομίας, ενώ άλλες για τον εντοπισμό της παθολογίας. Για παράδειγμα, η μέθοδος T1 (βλέπε Εικόνα 2.) απεικονίζει περισσότερες ανατομικές λεπτομέρειες, αλλά δεν είναι τόσο ευαίσθητη στην αναγνώριση συγκεκριμένων παθολογικών καταστάσεων. Από την άλλη, η μέθοδος T2 απεικονίζει τις φυσιολογικές δομές με φαιό

χρώμα (μεσαία ένταση σήματος) και τα υγρά στοιχεία αλλά και πολλές παθολογικές ανωμαλίες με λευκό χρώμα (υψηλής έντασης σήμα), παρέχοντας έτσι την κατάλληλη αντίθεση μεταξύ φυσιολογικών και μη φυσιολογικών ιστών, με στόχο την αναγνώριση της παθολογίας (49, 50). Η απεικονιστική μέθοδος FLAIR είναι ευαίσθητη σε ανωμαλίες που εντοπίζονται στη λευκή ουσία, ενώ η μέθοδος GRE επιτρέπει εξαιρετικά λεπτομερείς εικόνες σε απεικονίσεις μικρού χρόνου, έχοντας επίσης το επιπρόσθετο πλεονέκτημα της ευαισθησίας στην αιμοσιδηρίνη, προϊόν αποδόμησης του αίματος που εμφανίζεται ύστερα από αιμορραγικές βλάβες και το οποίο αναπαράγεται ως μαύρο χρώμα (σήμα χαμηλής έντασης). Ο εντοπισμός της αιμοσιδηρίνης στο παρέγχυμα του εγκεφάλου όχι μόνο υποδηλώνει την παρουσία αιμορραγίας, αλλά και την παρουσία γλοίωσης στον περιβάλλοντα ιστό (50).

Γενικά, η MRI αποτελεί σημαντικό εργαλείο στον κλινικό χώρο για τη διάγνωση νευρολογικών νοσημάτων. Εν τούτοις, ο πρακτικός ρόλος της όσον αφορά την παρακολούθηση της πορείας μιας ασθένειας, αλλά και της αποτελεσματικότητας ενός θεραπευτικού πρωτοκόλλου που εφαρμόζεται, αποτελεί ακόμη σε αντικείμενο συζήτησης. Η συζήτηση αφορά τις στις οικονομικές και κλινικές επιπτώσεις που θα έχει η συχνή χρήση της. Με τα σημερινά δεδομένα, το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για μία απλή εξέταση MRI, περιορίζουν τη χρήση σε προγράμματα παρακολούθησης, μιας και σε αυτά απαιτείται μεγάλος αριθμός απεικονιστικών εξετάσεων. Ωστόσο, η εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου εξέτασης MRI που χρησιμοποιεί ελάχιστες ακολουθίες εικόνων, αλλά διατηρεί παράλληλα ικανοποιητική αποτελεσματικότητα για την παρακολούθηση μιας ασθένειας, θα μπορούσε να αλλάξει δραματικά τον ρόλο της MRI, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της κάθε εξέτασης (27).

Ένα άλλο σημαντικό θέμα συζήτησης για μελλοντική βελτίωση της μεθόδου είναι ο χρόνος λήψης και επεξεργασίας των εικόνων του τομογράφου. Η MRI γενικά απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα για αυτά. Με την ανακάλυψη νέων μεθόδων λήψης και επεξεργασίας του σήματος, θα μπορούσε να μειωθεί ο χρόνος εξέτασης, διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο τη βελτιστοποίηση των διαγνωστικών πρωτοκόλλων και κατ'επέκταση της θεραπείας.

4.2.4 Άλλες τεχνικές

4.2.4.1 fMRI

Με την εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών MRI που καλύπτουν δομή και λειτουργία, σε συνδυασμό με ηλεκτροφυσιολογικές και μαγνητοεγκεφαλογραφικές μετρήσεις, μπορεί να δοθούν σημαντικά στοιχεία στον κλινικό ιατρό για τη μελέτη της υποκείμενης εγκεφαλικής παθολογίας στον ασθενή με νευρολογικό νόσημα (41). Μία από τις πολλά υποσχόμενες νεότερες τεχνικές, που μπορεί να συμβάλει σημαντικά σε αυτό, είναι γενικότερα η λειτουργική νευροαπεικόνιση και πιο συγκεκριμένα η λειτουργική μαγνητική τομογραφία (functional Magnetic Resonance Imaging – fMRI). Η fMRI χαρακτηρίζεται ως ένα σημαντικό εργαλείο μη παρεμβατικής απεικόνισης της ενεργοποίησης του νευρικού ιστού σε ανθρώπους που εκτελούν πλήθος κινήσεων ή έχουν μη φυσιολογική νευρολογική λειτουργία λόγω ασθενειών, όπως η νόσος του Parkinson και τα εγκεφαλικά επεισόδια. Η fMRI μετράει την εγκεφαλική δραστηριότητα ανιχνεύοντας αλλαγές που σχετίζονται με την αιματική ροή (39). Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η εγκεφαλική αιματική ροή και εγκεφαλική δραστηριότητα συνδέονται άμεσα. Όταν μία περιοχή του εγκεφάλου παρουσιάζει αυξημένη δραστηριότητα, αυξάνεται και η αιματική ροή προς τη συγκεκριμένη περιοχή (26). Η κύρια μορφή του fMRI είναι η RS-fMRI (Resting State – fMRI, fMRI κατάστασης ηρεμίας) με χρήση αντίθεσης BOLD (Blood-Oxygen-Level Dependent), μία ειδική τεχνική σάρωσης του εγκεφάλου και του σώματος για την χαρτογράφηση του βαθμού ενεργοποίησης τόσο του εγκεφάλου όσο και του νωτιαίου μυελού σε ανθρώπους ή ζώα, απεικονίζοντας τις αλλαγές στην αιματική ροή (hemodynamic response - αιμοδυναμική αντίδραση) που σχετίζονται με την ενέργεια που χρησιμοποιούν τα εγκεφαλικά κύτταρα (39). Το αποτέλεσμα της εγκεφαλικής ενεργοποίησης απεικονίζεται γραφικά χρωματίζοντας το μέγεθος αυτής και συγκεκριμένα της λειτουργικής σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ περιοχών του εγκεφάλου, ενώ σε κατάσταση ηρεμίας όλες οι περιοχές βρίσκονται σε χρωματική αρμονία (54). Με τις κλασσικές μεθόδους νευροαπεικόνισης δεν ήταν εφικτό να απεικονιστούν μη παρεμβατικά και να χαρτογραφηθούν, οι "ζώνες" ή τα "δίκτυα" σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου. Οπότε η διάγνωση μιας βλάβης σε μία συγκεκριμένη περιοχή περιλάμβανε την περιγραφή της σε σχέση μόνο με την εντόπιση της και δεν επέτρεπε περαιτέρω παρατήρηση για το ποια δίκτυα του εγκεφάλου ίσως έχουν επηρεαστεί από τη συγκεκριμένη βλάβη και ποια θα είναι τα αποτελέσματα αυτής της διαταραχής σε άλλες περιοχές (49). Με την ενσωμάτωση όμως του RS-fMRI αυτό άλλαξε με αποτέλεσμα, μία εγκεφαλική βλάβη δεν περιγράφεται μόνο σε σχέση με την εντόπιση της, αλλά και με βάση του πως τα

συγκεκριμένα δίκτυα-συνδέσεις έχουν διαταραχθεί. Η βιβλιογραφία αναφορικά με τη συγκεκριμένη τεχνική μεγαλώνει εκθετικά τα τελευταία χρόνια. Δεδομένα έχουν δείξει ότι η χρήση της σε προεγχειρητικά, για τον σχεδιασμό και τη χαρτογράφηση της επέμβασης σε ασθενείς με εγκεφαλικούς όγκους, είναι πολύτιμη (17, 18, 53). Σε αυτό συντελούν η μικρή παρεμβατικότητα και απαιτητικότητα της τεχνικής, μιας και η δραστηριοποίηση μέσω των σημάτων BOLD μπορεί να φανεί κατά τη διάρκεια του ύπνου (13) και της αναισθησίας (34). Μία άλλη εφαρμογή της εμφανίζεται σε μελέτες για την αναγνώριση και διάγνωση ατόμων με νόσο Alzheimer. Μία από αυτές έδειξε ότι η τεχνική μπορούσε να ξεχωρίσει του ασθενείς με νόσο από την ομάδα ελέγχου, με 72% ευαισθησία και 78% ακρίβεια (43), ενώ σε παρόμοια μελέτη το ποσοστό ακρίβειας έφτασε το 89% (8). Άλλη μελέτη έδειξε ότι μέσω του RS-fMRI μπόρεσαν να αναγνωριστούν οι ασθενείς με νόσο Alzheimer, αλλά και να διαχωριστούν οι ασθενείς με ήπιες νοητικές βλάβες από τους υγιείς συμμετέχοντες (7).

Η τεχνική με χρήση αντίθεσης BOLD εντοπίζει την ενεργοποίηση εντός χιλιοστών (mm), αλλά συνήθως όχι περισσότερο από ένα χρονικό διάστημα μερικών δευτερολέπτων. Με την ανάπτυξη όμως της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα των εργαλείων επεξεργασίας των δεδομένων, είναι πιθανό να μετρηθούν οι αλλαγές στα σήματα BOLD και η νευρική δραστηριοποίηση ενός δικτύου νευρώνων που αφορούν συγκεκριμένη κίνηση όπως το πιάσιμο ενός αντικειμένου, σε πραγματικό χρόνο (5). Η αναπαράσταση αυτή πραγματικού χρόνου μπορεί να παρουσιαστεί στον παρατηρητή μέσω οπτικής απεικόνισης, για παράδειγμα με τη βοήθεια ενός βιντεοπροβολέα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η παρατήρηση των δεδομένων αυτών από την fMRI γίνεται από τον κλινικό ή τον ερευνητή για καλύτερο έλεγχο των πειραμάτων και της κίνησης του σώματος, κατά τη διάρκεια για παράδειγμα της απεικονιστικής εξέτασης (5, 48). Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν δεδομένα στη βιβλιογραφία που υποστηρίζουν την θετική επίδραση της οπτικής ανατροφοδότησης της νευρωνικής διέγερσης πραγματικού χρόνου στον ασθενή μέσω του rt-fMRI-NF (real-time-fMRI-based neurofeedback). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για να ενθαρρύνει τον αυτοέλεγχο της διέγερσης σε αρκετές εγκεφαλικές περιοχές και δίκτυα στους ίδιους τους ασθενείς. Επιπλέον, σε αντίθεση με άλλες μη παρεμβατικές τεχνικές, η rt-fMRI-NF μπορεί να αξιολογήσει συγκεκριμένες υποφλοιώδεις περιοχές και θεωρητικά κάθε περιοχή που μπορεί να απεικονισθεί από αυτή την εξέταση, συμπεριλαμβανομένης της παρεγκεφαλίδας, του εγκεφαλικού στελέχους και του νωτιαίου μυελού (24). Βιβλιογραφικά δεδομένα έχουν δείξει ότι στη νόσο του Parkinson (42) και στα

αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια (23, 40), οι ασθενείς μέσω της τεχνικής rt-fMRI-NF μπορούν να μεταβάλλουν τη νευρωνική διέγερση μετά από την ανάλογη εκπαίδευση αυτοελέγχου και συνεπώς να αλλάξουν συγκεκριμένες κινητικές συμπεριφορές. Η χρήση της real-time fMRI-neurofeedback ,βοηθά στη βελτίωση κινητικών διαταραχών μέσω της τεχνικής της 'νοερής κίνηση' (motor imagery) που αφορά τη νοητική εξάσκηση μιας δραστηριότητας χωρίς να αντιστοιχεί σε πραγματική κίνηση επάγοντας τους μηχανισμούς πλαστικότητας και προσαρμοστικότητας του εγκεφάλου. Ωστόσο, η χρήση της σε κλινικές μελέτες είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο και περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στην ανάπτυξη μηχανισμών νευροπλαστικότητας σε εγκεφαλικές περιοχές που σχετίζονται με συγκεκριμένες νευρολογικές παθήσεις (23).

Όσον αφορά τη RS-fMRI, παρά τις πολλά υποσχόμενες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί, χρειάζεται ακόμη χρόνο ώστε να ενσωματωθεί συστηματικά στον κλινικό χώρο. Περαιτέρω μελέτες απαιτούνται για τη σύγκριση διαφόρων μεθόδων ανάλυσης της RS-fMRI και την αποτελεσματικότητα αυτών στη διάγνωση και το διαχωρισμό διαφορετικών σταδίων μιας νόσου, αλλά και για το πως να χρησιμοποιηθεί καλύτερα αυτή η τεχνική για τον σχεδιασμό και την παρακολούθηση των θεραπευτικών πρωτοκόλλων.

Σύμφωνα με μία έρευνα των Tavazzi et.al (2018), σχετικά με τα αποτελέσματα που επιφέρει ένα πρόγραμμα κινητικής αποκατάστασης στην κίνηση και στην πλαστικότητα του εγκεφάλου σε άτομα με πολλαπλή σκλήρυνση, με την χρήση δομικής και λειτουργικής MRI, καταλήγουμε στα εξής :

- Γενικότερη βελτίωση της βάρδισης και της ισορροπίας
- βραχυπρόθεσμη ευεργετική επίδραση της κινητικής αποκατάστασης στις επιδόσεις βάρδισης στη ΣΚΠ
- λειτουργική αναδιοργάνωση του εγκεφάλου στο αισθητηριακο-κινητικό δίκτυο

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να καταλήξουν οι ερευνητές σε αυτά τα αποτελέσματα ήταν η MRI σε κατάσταση ηρεμίας, η δυναμική MRI και η μαγνητική τομογραφία διάχυσης (DTI) (46).

4.2.4.2 DTI

Μια ακόμη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είναι η μαγνητική τομογραφία διάχυσης (DTI). Μέσω αυτής της τεχνικής, διερευνάται η ακεραιότητα της λευκής

ουσίας του εγκεφάλου και έχει ως πλεονέκτημα την ανίχνευση σήματος μαγνητικού συντονισμού από ποικίλους πυρήνες, καθώς και από την διάσπασή τους, βασισμένο στις αρχές της διάχυσης του νερού (H₂O). Η στόχευση αποκλειστικά στα πρωτόνια των υδρογόνων (1H) του μορίου του νερού (H₂O), σχετίζεται με το γεγονός ότι το 90% των πρωτονίων που εντοπίζονται εντός του ανθρώπινου σώματος ,βρίσκονται σε μόρια νερού. Η πληροφορία μέσω αυτής της μεθόδου, προέρχεται από την ένταση του σήματος στα σημεία λήψης, με αποτέλεσμα, σε ένα ογκοστοιχείο όπου υπάρχει νερό, η ένταση του σήματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσής του (48).

Η συνολική βλάβη της λευκής ουσίας, όπως και καθορίζεται από την DTI, μπορεί τελικά να αποδειχθεί ένας από τους καλύτερους προγνωστικούς παράγοντες για την έκβαση της εγκεφαλικής βλάβης και παρόλο που η μέθοδος DTI, μπορεί να παρέχει τεράστιες γνώσεις, είναι πολύ νέα σαν τεχνική και μόνο λίγες μελέτες σχετικά με αυτήν έχουν δημοσιευτεί (48).

Παράδειγμα χρήσης της DTI αποτελεί μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2018 και έδειξε ότι άνθρωποι με χρόνια κάκωση του νωτιαίου μυελού εμφάνισαν διαταραχή της ακεραιότητας στη λευκή ουσία σε πολλαπλά σημεία του αισθητικοκινητικού δικτύου, περιλαμβάνοντας τη λευκή ουσία της πρόσθιας και οπίσθιας κεντρικής έλικας. Υπάρχουν ενδείξεις μακροπρόθεσμης μετατραυματικής αποκατάστασης μετρούμενης με DTI και βλτίωση της ακεραιότητας σε σχέση με το χρόνο από την κάκωση (56)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στη συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση έγινε θεωρητική εισαγωγή στη νευρολογία και τις νευρολογικές παθήσεις και στη συνέχεια αναλύθηκαν βασικά στοιχεία της νευροαποκατάστασης. Η διάγνωση μιας νευρολογικής πάθησης είναι πολύ σημαντική και μέσω της νευροαπεικόνισης, ο κλινικός ιατρός μπορεί να βγάλει σημαντικά συμπεράσματα για την ανατομία και φυσιολογία του νευρικού συστήματος του ασθενή. Μέσω της MRI και των διαφόρων τεχνικών της, μπορεί να διαγνωσθεί πλήθος νευρολογικών παθήσεων και αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τους επαγγελματίες της υγείας και όχι μόνο. Η έρευνα για νέες τεχνικές και μεθόδους, κυρίως στη λειτουργική νευροαπεικόνιση, που θα δώσει επιπλέον πολύτιμες πληροφορίες για τις υποκείμενες βλάβες, είναι σε μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Μολαταύτα, η εφαρμογή νέων μεθόδων είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο.

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barkhof, F., Hommes, O. R., Scheltens, P., & Valk, J. (1991). Quantitative MRI changes in gadolinium-DTPA enhancement after high-dose intravenous methylprednisolone in multiple sclerosis. *Neurology*, *41*(8), 1219-1222. doi:10.1212/wnl.41.8.1219
2. Barkhof, F., Rocca, M., Francis, G., van Waesberghe, J.-H. T. M., Uitdehaag, B. M. J., Hommes, O. R., . . . Group, f. t. E. T. o. M. S. S. (2003). Validation of diagnostic magnetic resonance imaging criteria for multiple sclerosis and response to interferon β 1a. *53*(6), 718-724. doi:https://doi.org/10.1002/ana.10551
3. Beloosesky, Y., Streifler, J. Y., Burstin, A., & Grinblat, J. (1995). The importance of brain infarct size and location in predicting outcome after stroke. *Age Ageing*, *24*(6), 515-518. doi:10.1093/ageing/24.6.515
4. Bigler, E. D. (2000). Neuroimaging and outcome. In *Handbook of rehabilitation psychology*. (pp. 441-474). Washington, DC, US: American Psychological Association.
5. Brühl, A. B. (2015). Making sense of real-time functional magnetic resonance imaging (rtfMRI) and rtfMRI neurofeedback. *The international journal of neuropsychopharmacology*, *18*(6), pyv020. doi:10.1093/ijnp/pyv020
6. Bulinski, J. C., Ohm, T., Roder, H., Spruston, N., Turner, D. A., & Wheal, H. V. (1998). Changes in Dendritic structure and function following Hippocampal Lesions: correlations with developmental events? *Progress in Neurobiology*, *55*(6), 641-650. doi:https://doi.org/10.1016/S0301-0082(98)00023-9
7. Chen, G., Ward, B. D., Xie, C., Li, W., Wu, Z., Jones, J. L., . . . Li, S. J. (2011). Classification of Alzheimer disease, mild cognitive impairment, and normal cognitive status with large-scale network analysis based on resting-state functional MR imaging. *Radiology*, *259*(1), 213-221. doi:10.1148/radiol.10100734
8. Dai, Z., Yan, C., Wang, Z., Wang, J., Xia, M., Li, K., & He, Y. (2012). Discriminative analysis of early Alzheimer's disease using multi-modal imaging and multi-level characterization with multi-classifier (M3). *Neuroimage*, *59*(3), 2187-2195. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.10.003

9. Essig, M., Anzalone, N., Combs, S. E., Dörfler, À., Lee, S. K., Picozzi, P., . . . Law, M. (2012). MR imaging of neoplastic central nervous system lesions: review and recommendations for current practice. *AJNR Am J Neuroradiol*, *33*(5), 803-817. doi:10.3174/ajnr.A2640
10. Filler, A. G. (2009)
11. Fishman, H. M., & Bittner, G. D. (2003). Vesicle-Mediated Restoration of a Plasmalemmal Barrier in Severed Axons. *Physiology*, *18*(3), 115-118. doi:10.1152/nips.01429.2002
12. Flanders, A. E., Schaefer, D. M., Doan, H. T., Mishkin, M. M., Gonzalez, C. F., & Northrup, B. E. (1990). Acute cervical spine trauma: correlation of MR imaging findings with degree of neurologic deficit. *Radiology*, *177*(1), 25-33. doi:10.1148/radiology.177.1.2399326
13. Fukunaga, M., Horovitz, S. G., van Gelderen, P., de Zwart, J. A., Jansma, J. M., Ikonomidou, V. N., . . . Duyn, J. H. (2006). Large-amplitude, spatially correlated fluctuations in BOLD fMRI signals during extended rest and early sleep stages. *Magn Reson Imaging*, *24*(8), 979-992. doi:10.1016/j.mri.2006.04.018
14. Kertesz, A. (1994). *Localization and neuroimaging in neuropsychology*. San Diego, CA, US: Academic Press.
15. Khan, R. S., Ahmed, M. R., Khalid, B., Mahmood, A., & Hassan, R. (2018). *Biomarker Detection of Neurological Disorders through Spectroscopy Analysis*.
16. Kirshner, H. S., Tsai, S. I., Runge, V. M., & Price, A. C. (1985). Magnetic resonance imaging and other techniques in the diagnosis of multiple sclerosis. *Arch Neurol*, *42*(9), 859-863. doi:10.1001/archneur.1985.04060080037013
17. Kokkonen, S. M., Kiviniemi, V., Mäkiranta, M., Yrjänä, S., Koivukangas, J., & Tervonen, O. (2005). Effect of brain surgery on auditory and motor cortex activation: a preliminary functional magnetic resonance imaging study. *Neurosurgery*, *57*(2), 249-256; discussion 249-256. doi:10.1227/01.neu.0000166541.57840.01
18. Kokkonen, S. M., Nikkinen, J., Remes, J., Kantola, J., Starck, T., Haapea, M., . . . Kiviniemi, V. (2009). Preoperative localization of the sensorimotor area using independent component analysis of resting-state fMRI. *Magn Reson Imaging*, *27*(6), 733-740. doi:10.1016/j.mri.2008.11.002
19. Krucoff, M. O., Rahimpour, S., Slutzky, M. W., Edgerton, V. R., & Turner, D. A. (2016). Enhancing Nervous System Recovery through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation. *Frontiers in neuroscience*, *10*, 584-584. doi:10.3389/fnins.2016.00584
20. Kulkarni, M. V., McArdle, C. B., Kopanicky, D., Miner, M., Cotler, H. B., Lee, K. F., & Harris, J. H. (1987). Acute spinal cord injury: MR imaging at 1.5 T. *Radiology*, *164*(3), 837-843. doi:10.1148/radiology.164.3.3615885
21. Lauterbur, P. C. (1973). Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance. *Nature*, *242*(5394), 190-191. doi:10.1038/242190a0
22. Levin, H. S., Mendelsohn, D., Lilly, M. A., Yeakley, J., Song, J., Scheibel, R. S., . . . Bruce, D. (1997). Magnetic resonance imaging in relation to functional outcome of pediatric closed head injury: a test of the Ommaya-Gennarelli model. *Neurosurgery*, *40*(3), 432-440; discussion 440-431. doi:10.1097/00006123-199703000-00002
23. Liew, S. L., Rana, M., Cornelsen, S., Fortunato de Barros Filho, M., Birbaumer, N., Sitaram, R., . . . Soekadar, S. R. (2016). Improving Motor Corticothalamic Communication After Stroke Using Real-Time fMRI Connectivity-Based Neurofeedback. *Neurorehabil Neural Repair*, *30*(7), 671-675. doi:10.1177/1545968315619699

24. Linden, D. E., & Turner, D. L. (2016). Real-time functional magnetic resonance imaging neurofeedback in motor neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol*, 29(4), 412-418. doi:10.1097/wco.0000000000000340
25. Liu, K., Tedeschi, A., Park, K. K., & He, Z. (2011). Neuronal Intrinsic Mechanisms of Axon Regeneration. *Annual Review of Neuroscience*, 34(1), 131-152. doi:10.1146/annurev-neuro-061010-113723
26. Logothetis, N. K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T., & Oeltermann, A. (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 412(6843), 150-157. doi:10.1038/35084005
27. Lohrke, J., Frenzel, T., Endrikat, J., Alves, F. C., Grist, T. M., Law, M., . . . Pietsch, H. (2016). 25 Years of Contrast-Enhanced MRI: Developments, Current Challenges and Future Perspectives. *Adv Ther*, 33(1), 1-28. doi:10.1007/s12325-015-0275-4
28. Maravilla, K. R., Weinreb, J. C., Suss, R., & Nunnally, R. L. (1985). Magnetic resonance demonstration of multiple sclerosis plaques in the cervical cord. *AJR Am J Roentgenol*, 144(2), 381-385. doi:10.2214/ajr.144.2.381
29. Marciello, M. A., Flanders, A. E., Herbison, G. J., Schaefer, D. M., Friedman, D. P., & Lane, J. I. (1993). Magnetic resonance imaging related to neurologic outcome in cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 74(9), 940-946.
30. McDowell, F. H. (1994). Neurorehabilitation. *The Western journal of medicine*, 161(3), 323-327.
31. Murray, C. J., Vos, T., Lozano, R., Naghavi, M., Flaxman, A. D., Michaud, C., . . . Memish, Z. A. (2012). Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 380(9859), 2197-2223. doi:10.1016/s0140-6736(12)61689-4
32. Odeblad, E., Bhar, B. N., & Lindström, G. (1956). Proton magnetic resonance of human red blood cells in heavy-water exchange experiments. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 63(1), 221-225. doi:https://doi.org/10.1016/0003-9861(56)90025-X
33. Odeblad, E., & Lindstrom, G. (1955). Some Preliminary Observations on the Proton Magnetic Resonance in Biologic Samples. *Acta Radiologica*, 43(6), 469-476. doi:10.3109/00016925509172514
34. Peltier, S. J., Kerssens, C., Hamann, S. B., Sebel, P. S., Byas-Smith, M., & Hu, X. (2005). Functional connectivity changes with concentration of sevoflurane anesthesia. *Neuroreport*, 16(3), 285-288. doi:10.1097/00001756-200502280-00017
35. Sandrone, S., Bacigaluppi, M., Galloni, M. R., & Martino, G. (2012). Angelo Mosso (1846–1910). *J Neurol*, 259(11), 2513-2514. doi:10.1007/s00415-012-6632-1
36. Schaefer, D. M., Flanders, A., Northrup, B. E., Doan, H. T., & Osterholm, J. L. (1989). Magnetic resonance imaging of acute cervical spine trauma. Correlation with severity of neurologic injury. *Spine (Phila Pa 1976)*, 14(10), 1090-1095. doi:10.1097/00007632-198910000-00011
37. Schiff, N. D. (2006). Multimodal neuroimaging approaches to disorders of consciousness. *J Head Trauma Rehabil*, 21(5), 388-397. doi:10.1097/00001199-200609000-00003
38. Seitz, R. J., & Donnan, G. A. (2010). Role of neuroimaging in promoting long-term recovery from ischemic stroke. 32(4), 756-772. doi:https://doi.org/10.1002/jmri.22315
39. Singleton, M. J. (2009). Functional Magnetic Resonance Imaging. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 82(4), 233-233.
40. Sitaram, R., Veit, R., Stevens, B., Caria, A., Gerloff, C., Birbaumer, N., & Hummel, F. (2012). Acquired control of ventral premotor cortex activity by feedback training: an exploratory real-time FMRI and TMS study. *Neurorehabil Neural Repair*, 26(3), 256-265. doi:10.1177/1545968311418345

41. Stroman, P. W., Bosma, R. L., Kornelsen, J., Lawrence-Dewar, J., Wheeler-Kingshott, C., Cadotte, D., & Fehlings, M. G. (2012). Advanced MR imaging techniques and characterization of residual anatomy. *Clin Neurol Neurosurg*, *114*(5), 460-470. doi:10.1016/j.clineuro.2012.01.003
42. Subramanian, L., Hindle, J. V., Johnston, S., Roberts, M. V., Husain, M., Goebel, R., & Linden, D. (2011). Real-time functional magnetic resonance imaging neurofeedback for treatment of Parkinson's disease. *J Neurosci*, *31*(45), 16309-16317. doi:10.1523/jneurosci.3498-11.2011
43. Supekar, K., Menon, V., Rubin, D., Musen, M., & Greicius, M. D. (2008). Network Analysis of Intrinsic Functional Brain Connectivity in Alzheimer's Disease. *PLOS Computational Biology*, *4*(6), e1000100. doi:10.1371/journal.pcbi.1000100
44. Suskauer, S. J., & Huisman, T. A. (2009). Neuroimaging in pediatric traumatic brain injury: current and future predictors of functional outcome. *Dev Disabil Res Rev*, *15*(2), 117-123. doi:10.1002/drr.62
45. Tamburin, S., Smania, N., Saltuari, L., Hoemberg, V., & Sandrini, G. (2019). Editorial: New Advances in Neurorehabilitation. *10*(1090). doi:10.3389/fneur.2019.01090
46. Eleonora Tavazzi¹ · Niels Bergsland^{1,2} · Davide Cattaneo¹ · Elisa Gervasoni · Maria Marcella Laganà¹ · Ottavia Dipasquale^{1,3} · Cristina Grosso¹ · Francesca Lea Saibene¹ · Francesca Baglio¹ · Marco Rovaris¹
47. Turkheimer, E., Yeo, R. A., & Bigler, E. D. (1990). Basic relations among lesion laterality, lesion volume and neuropsychological performance. *Neuropsychologia*, *28*(10), 1011-1019. doi:10.1016/0028-3932(90)90136-c
48. Weiskopf, N. (2012). Real-time fMRI and its application to neurofeedback. *Neuroimage*, *62*(2), 682-692. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.10.009
49. Wilde, E. A., Hunter, J. V., & Bigler, E. D. (2012). Neuroimaging in Neurorehabilitation. *NeuroRehabilitation*, *31*, 223-226. doi:10.3233/NRE-2012-0792
50. Wilde, E. A., Hunter, J. V., & Bigler, E. D. (2012). A primer of neuroimaging analysis in neurorehabilitation outcome research. *NeuroRehabilitation*, *31*(3), 227-242. doi:10.3233/nre-2012-0793
51. Yamashita, Y., Takahashi, M., Matsuno, Y., Sakamoto, Y., Oguni, T., Sakae, T., . . . Kim, E. E. (1990). Chronic injuries of the spinal cord: assessment with MR imaging. *Radiology*, *175*(3), 849-854. doi:10.1148/radiology.175.3.2343135
52. Young, I. R., Hall, A. S., Pallis, C. A., Legg, N. J., Bydder, G. M., & Steiner, R. E. (1981). Nuclear magnetic resonance imaging of the brain in multiple sclerosis. *Lancet*, *2*(8255), 1063-1066. doi:10.1016/s0140-6736(81)91273-3
53. Zhang, D., Johnston, J. M., Fox, M. D., Leuthardt, E. C., Grubb, R. L., Chicoine, M. R., . . . Shimony, J. S. (2009). Preoperative sensorimotor mapping in brain tumor patients using spontaneous fluctuations in neuronal activity imaged with functional magnetic resonance imaging: initial experience. *Neurosurgery*, *65*(6 Suppl), 226-236. doi:10.1227/01.Neu.0000350868.95634.Ca
54. Zhang, S., & Li, C. S. (2012). Functional connectivity mapping of the human precuneus by resting state fMRI. *Neuroimage*, *59*(4), 3548-3562. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.11.023
55. Zis, P., & Hadjivassiliou, M. (2019). Treatment of Neurological Manifestations of Gluten Sensitivity and Coeliac Disease. *Curr Treat Options Neurol*, *21*(3), 10. doi:10.1007/s11940-019-0552-7
56. Αθανασίου Α. Μελέτη των Νευρωνικών Κυκλωμάτων του Εγκεφάλου σε Ασθενείς με Κάκωση Νωτιαίου Μυελού ΔΔ Θεσσαλονίκη 2018

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- i. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_neuroimaging
- ii. <https://en.wikipedia.org/wiki/Neurorehabilitation>
- iii. <https://en.wikipedia.org/wiki/Neurology>