

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ**

**Τμήμα Φυσικοθεραπείας**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« Αθλητικοί τραυματισμοί και νευροπλαστικότητα.  
Μελέτη Περίπτωσης »**

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τριας : Λαμπροπούλου Μελίνα Α.Μ. 18683036

Όνοματεπώνυμο εισηγητή/τριας : Μαρία Γ. Παπανδρέου, PhD, MSc, Dipl.

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσικοθεραπείας

**ΑΙΓΑΛΕΩ 2022**

**University of West Attica**  
**FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCE**  
**Department of Physiotherapy**



**DISSERTATION**

**« Neuroplasticity and sports injuries. Case study »**

Student's Name : Lampropoulou Melina A.M. 18683036

Supervisor's Name : Maria G. Papandreou, PhD, MSc, Dipl.

Associate Professor of Physiotherapy

**EGALAIΟ 2022**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Maria  
Papandre  
ou** Digitally signed  
by Maria  
Papandreou  
Date: 2022.09.28  
17:03:15 +03'00'

**ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ**

**Eirini  
Patsaki** Digitally signed  
by Eirini Patsaki  
Date: 2022.09.28  
17:08:11 +03'00'

**ΕΙΡΗΝΗ ΠΑΤΣΑΚΗ**

**ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΕΤΤΑ**

### Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια που προσφέρθηκε στην εκπόνησή της αναγνωρίζεται και αναφέρεται στο κείμενο. Από τις όποιες πηγές έγινε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, ακριβώς ή 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. Η παρούσα εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας μου, όσο και του Ιδρύματος.

Η Δηλούσα



Μελίνα Δ. Λαμπροπούλου

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύει την έννοια της νευροπλαστικότητας, μια ιδιότητα των δομών του κεντρικού νευρικού συστήματος που εμφανίζεται φυσιολογικά και σε επώδυνες καταστάσεις, όπως αυτές των τραυματισμών και του χρόνιου πόνου, στον τομέα του αθλητισμού. Γνωρίζοντας τις ιδιότητές της, μέσα από τις 10 βασικές αρχές με τις οποίες αναπτύσσεται η νευροπλαστικότητα, μπορούμε να ερμηνεύσουμε τις δράσεις που συμβαίνουν μέσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα σε επώδυνες καταστάσεις, τραυματισμούς, τη συσχέτιση και την επίδρασή που έχει στα περιφερικά συστήματα. Με τη βοήθεια διαφόρων μεθόδων και τεχνολογικών μέσων, είναι δυνατή η αξιολόγηση και οπτικοποίηση των εσωτερικών συστημάτων και λειτουργιών. Τέτοιες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη βιοανάδραση για το περιφερικό νευρικό σύστημα και τη νευροβιοανάδραση για τον εγκέφαλο. Με την αξιοποίησή τους και την κατάλληλη προσέγγιση (ανάδρομη ή και ορθόδρομη) διασφαλίζεται ότι παρέχονται τα απαραίτητα ευεργετικά ερεθίσματα σε διάφορες φάσεις τραυματισμού για την επίτευξη των αναγκαίων θεραπευτικών στόχων. Έχοντας γνωστά όλα τα παραπάνω, παρουσιάζεται και αναλύεται μια Μελέτη Περίπτωσης στην οποία εφαρμόζεται ένα πιλοτικό πρωτόκολλο θεραπείας. Με βάση τα συστήματα και τις νέες μεθόδους νευροανάδρασης στον τομέα της υγείας, και εφαρμόζοντας τις πιο σύγχρονες πληροφορίες και στρατηγικές, θα μπορούσαν να παράχθουν ιδέες και κίνητρα για περαιτέρω έρευνα και ενσωμάτωση των συγκεκριμένων μεθόδων στα θεραπευτικά πρωτόκολλα μελλοντικά.

Λέξεις Κλειδιά : νευροπλαστικότητα ,βιοαναδραση , νευροβιοανάδραση ,  
Ηλεκτοεγκεφαλογράφημα , Πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος

## Abstract

This dissertation analyzes the concept of neuroplasticity, a property of the structures of the central nervous system occurring naturally, in painful situations of injuries and chronic pain in the field of sports. Knowing its properties, through its 10 basic principles by which neuroplasticity develops, we can interpret the actions happening within the central nervous system in painful situations, injuries, its correlation and effect on peripheral systems. With the aid of various methods and technological means, it is possible to evaluate and visualize the internal systems and functions. Such methods include biofeedback, for the peripheral nervous system and neurofeedback for the brain. With their use and the appropriate approach (up-down or bottom-up) it is ensured that the necessary beneficial stimuli are provided in various phases of injury in order to achieve the necessary therapeutic goals. Having all the above mentioned known, a Case Study is presented and analyzed on which a treatment protocol is piloted. Based on the systems and new methods of neurofeedback in the health field, by applying the most up-to-date information and strategies, could provide ideas and motivations for further research and incorporation of the specific methods to therapeutic protocols in the future.

Keywords: neuroplasticity, biofeedback, neurobiofeedback, EEG, Anterior Cruciate Ligament

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου , την οικογένεια μου και όλους αυτούς τους ανθρώπους που στάθηκαν να δίπλα μου όλη αυτή τη περίοδο. Σε όλους όσους με υποστήριξαν σιωπηλά και με ενθάρρυναν θυμίζοντας μου στις δυσκολίες της ζωής να μην τα παρατάω , να παλεύω για ότι αξίζει πραγματικά και για αυτό που αγαπώ ,τη φυσικοθεραπεία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Τριμελής Επιτροπή	.....	II
Υπεύθυνη Δήλωση	.....	III
Περίληψη στα Ελληνικά	.....	IV
Περίληψη στα Αγγλικά	.....	V
Ευχαριστίες	.....	VI
Πίνακας Περιεχομένων	.....	VII
Κατάλογος /Εικόνων	.....	X
Κατάλογος Πινάκων	.....	XII
Κατάλογος Σχημάτων - Γραφημάτων	.....	XIII

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή	.....	Σελίδα 1
Κεφάλαιο 1 Το νευρικό σύστημα	.....	1
1.1. Ανατομική & Λειτουργική Οργάνωση	.....	2
1.2. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (Κ.Ν.Σ.)	.....	2
1.2.1 Ανατομία Εγκεφάλου	.....	2
Τελικός Εγκέφαλος		
Νήσος Reil & Βασικά Γάγγλια		
Ιππόκαμπος & Αμυγδαλή		
1.2.2 Εγκεφαλικό Στέλεχος : Μέσος εγκέφαλος –	.....	6
Γέφυρα - Προμήκη μυελό & Νωτιαίος Μυελός (Ν.Μ.)		
1.3. Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (Π.Ν.Σ.)	.....	8
Κεφάλαιο 2 Νευροπλαστικότητα	.....	10
2		
2.1. Βασικές Αρχές Νευροπλαστικότητας	.....	11



2.1.1	Νευροπλαστικότητα και ΚΝΣ	.....	..17
2.2.	Νευροπλαστικότητα και Επώδυνη Εμπειρία	.....	....19
2.2.1	Τραυματισμοί, ΠΝΣ και Νευροπλαστικότητα	.....	19
2.3.	Εφαρμογές και Απεικονιστικές Μέθοδοι στη Νευροπλαστικότητα	.....	21
	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ		
2.3.1	Βιοανάδραση (Biofeedback BF)	.....	23
2.3.2	Νευροβιοανάδραση (Neurobiofeedback NBF)	.....	26
2.3.3	Μέθοδοι Θεραπευτικής Προσέγγισης	.....	30
	Up-down /Ανάδρομη παρέμβαση		
	Bottom-up/ Ορθόδρομη παρέμβαση		
2.3.4	Παρεμβάσεις σε φάσεις Τραυματισμού & Θεραπευτικοί Στόχοι	.....	33
	Κεφάλαιο 3		
	Νευροπλαστικότητα και αθλητικοί τραυματισμοί	.....	36
	Κεφάλαιο 4		
	Αθλητικοί τραυματισμοί και μέθοδοι θεραπευτικής προσέγγισης νευροπλαστικότητας	.....	39
	ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
	Κεφάλαιο 5		
	Μελέτη Περίπτωσης: Η Επίδραση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality -VR ) στην Νευροπλαστικότητα του ΚΝΣ διαμέσου		

## ΗΕΓ μετά την χειρουργική ανακατασκευή του Πρόσθιου Χιαστού Σύνδεσμου σε Έφηβο Αθλητή Ποδοσφαίρου.

5.1 Εισαγωγή	41
5.2 Στόχος της Μελέτης Περίπτωσης	44
5.3 Κλινική σημαντικότητα Μελέτης	44
5.4 Μέθοδος	45
5.4.1 Δείγμα	45
5.4.2 Μέσα έκβασης	46
5.4.3 Παρέμβαση: Πρωτόκολλο Θεραπείας και Στάδια Αποκατάστασης	48
5.5 Προσδοκώμενα αποτελέσματα:	55
Βιβλιογραφία	56

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Συνοπτικός Πίνακας Ερευνών « Νευροπλαστικότητα, Αθλητικοί Τραυματισμοί και Μέσα αξιολόγησης -Παρέμβαση -Αποκατάσταση» .....60

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

		Σελίδες
Εικόνα 1	Νευρικό Σύστημα ΚΝΣ & ΠΝΣ Nervous System Autoregulation and VBT - Perch.fit	2
Εικόνα 2	Οδηγία ανατομικά σημεία, λοβοί ,σχισμές κι έλικες των περιοχών του εγκεφάλου - Encyclopedia Britannica human nervous system - The central nervous system view-hemisphere-lobes-human-brain-skull-convolutions	3
Εικόνα 3	Εγκεφαλικοί Λοβοί-Σωματοαισθητικές- Σωματικοκινητικές περιοχές Παρεγκεφαλίδα -Προμηκής μυελός	4
Εικόνα 4	Εγκεφαλικοί Λοβοί και Νησιδιακός φλοιός	5
Εικόνα 5	Ανατομία Βασικών γαγγλίων - Basic-brain-anatomyCentral Nervous System brain and spinal cord University of Queensland	5
Εικόνα 6	Μεταχιακό Σύστημα- Blausen_0614_LimbicSystem Wikimedia Commons	6
Εικόνα 7	Εγκεφαλικό Στέλεχος - Μέσος εγκέφαλος, Γέφυρα , Προμήκη μυελό- The midbrain - Queensland Brain Institute - University of Queensland	7
Εικόνα 8	Νωτιαίος Μυελός	8
Εικόνα 9	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα ΠΝΣ	8
Εικόνα 10	Νευρομυϊκό Σύστημα - Neuromuscular system Healthdirect	15
Εικόνα 11	Εν σειρά ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λοβών κατά τη σύλληψη μιας μπάλας Your Therapy Source Brain Activation and Ball Skills Brain-Activation-and-Coordination-1-τροποποιημένη	15

Εικόνα 12	Διαχείριση Επιπέδων Πόνου σε κεντρικό επίπεδο και τη συμμετοχή τους (π.Αμυγδαλής θάλαμος Νησίδα Πρόσθιος Κυκλικός Φλοιός/ACC)Wiley Online Library Neuromodulation Management of Chronic Neuropathic Pain in the Central Nervous System - Yu - 2020 - Advanced Functional Materials	18
Εικόνα 13	The Behavioral Medicine Research and Training Foundation Introductory Information About Biofeedback and Psychophysiology and Biofeedback / Neurofeedback Equipment - The Behavioral Medicine Research and Training Foundation	23
Εικόνα 14	Απλουστευμένο μοντέλο βιοανάδρασης (Ανάλυση- Επεξεργασίας – Απεικόνιση Βιολογικών Παραμέτρων)  Frontiers Frontiers Breathing Biofeedback for Police Officers in a Stressful Virtual Environment Challenges and Opportunities Psychology	25
Εικόνα 15	Συστήματα Επίδρασης τα Βιοανάδρασης Εγκέφαλος – Καρδιο-Αναπνευστικό Σύστημα  Biofeedback & Neurofeedback Therapy Therapeutic Biofeedback, Modalities and Sphere of Use Biofeedback-modules-relationship-1	26
Εικόνα 16	Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων στο κρανίο και αντιστοίχιση σε περιοχές εγκεφάλου- The 10–20 electrode placement system and the name of the skull regions. <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/figure/F1/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/figure/F1/</a>	27
Εικόνα 17	Αισθητικότητα μελών Σώματος- <a href="https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg">https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg</a>	41
Εικόνα 18	Κεντρα Κινητικότητας Μελών Σωματος- <a href="https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg">https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg</a>	42
Εικόνα 19	Αισθητικά επώδυνα ερεθίσματα που άγονται στο ΚΝΣ απο τα Θυλακοσυνδεσμικά-στοιχεία <a href="https://www.researchgate.net/publication/12537548_Proposed_Practice_Guidelines_for_Nonoperative_Anterior_Cruciate_Ligament_Rehabilitation_of_Physically_Active_Individuals">https://www.researchgate.net/publication/12537548_Proposed_Practice_Guidelines_for_Nonoperative_Anterior_Cruciate_Ligament_Rehabilitation_of_Physically_Active_Individuals</a>	42
Εικόνα 20	Εντοπισμός των περιοχών ενεργοποίησης στον κινητικό φλοιό, ποδοκνημικής και γόνατος σε αρθρωση με Οστεοαρθρίτιδα με fMRI. Location of peak motor cortex activation for knee and ankle task peak activations with fMRI <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494800/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494800/</a>	43
Εικόνα 21	A,B Ηλεκτρόδιο Semi-wet και τοποθετηση του με τη βοηθεια ενός κράνους C. μέ υμάντες στα D. χαρτογραφμένα σημεία του εγκεφάλου(Wang, F.et al ,2016 ).E. Σύγκριση κυμάτων HEG με ανοιχτά-κλειστά μάτια <a href="https://www.researchgate.net/publication/304860955_Novel_semi-dry_electrodes_for_brain-computer_interface_applications">https://www.researchgate.net/publication/304860955_Novel_semi-dry_electrodes_for_brain-computer_interface_applications</a>	46

Εικόνα 22	A,B Ηλεκτρόδιο Semi-wet και τοποθέτηση του με τη βοήθεια ενός κράνους C. μέ υμάντες στα D. χαρτογραφμένα σημεία του εγκεφαλου(Wang, F.et al ,2016 ).E. Συγκριση κυμάτων ΗΕΓ με ανοιχτά-κλειστά_μάτια_ <a href="https://www.researchgate.net/publication/304860955_Novel_semidry_electrodes_for_brain-computer_interface_applications">https://www.researchgate.net/publication/304860955_Novel_semidry_electrodes_for_brain-computer_interface_applications</a>	48
Εικόνα 23	Περιβάλλον χώρος και μέσα που θα πραγματοποιείται η συνεδρία παρουσία θεραπευτή <a href="https://62e528761d0685343e1cf3d1b99a743ffa4142d9d7f1978d9686.ssl.cf2.rackcdn.com/files/52712/area14mp/jj7p2r3s-1404188168.jpg">https://62e528761d0685343e1cf3d1b99a743ffa4142d9d7f1978d9686.ssl.cf2.rackcdn.com/files/52712/area14mp/jj7p2r3s-1404188168.jpg</a>	49
Εικόνα24	Πραγματοποίηση προγράμματος Εικονικής πραγματικότητας σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο , από όρθια θέση με επικουρική χρήση Περιπατητήρα για την εκμάθηση βάδισης <a href="https://www.rehabalternatives.com/2017/05/03/physical-therapy-through-virtual-reality/">https://www.rehabalternatives.com/2017/05/03/physical-therapy-through-virtual-reality/</a>	50
Εικόνα25	<u>Ενδεικτικό</u> πρόγραμμα προθέρμανσης για όλο το σώμα. Ο ασθενής μπορεί να χρησιμοποιεί την βοήθεια μιας καρέκλας για στήριξη , ενώ οι κινήσεις τροποποιούνται στο κατάλληλο εύρος και διάρκεια <a href="https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUXW_pHmbQK0dERHle_59HE2I6beLn6HnYPpT18y_iFDk9or6t_64vW6WsWNtCrcBLKοAQ&amp;usqp=CAU">https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUXW_pHmbQK0dERHle_59HE2I6beLn6HnYPpT18y_iFDk9or6t_64vW6WsWNtCrcBLKοAQ&amp;usqp=CAU</a>	50
Εικόνα26	<u>Δυναμικές</u> Διατάσεις Χειρουργημένου Κάτω Άκρου ύστερα από επέμβαση ανακατασκευής ΠΧΣ. <a href="https://www.sportandspinalphysio.com.au/wp-content/uploads/2017/05/Calf-Stretch.jpg">https://www.sportandspinalphysio.com.au/wp-content/uploads/2017/05/Calf-Stretch.jpg</a>	50
Εικόνα 27	<u>Πραγματοποίηση</u> βάδισης με αλλαγές κατεύθυνσης (εφαρμογή λαβύρινθου που απεικονίζεται) και στροφές με ηχητικά παραγγέλματα με ανοιχτά-κλειστά μάτια <a href="https://scx2.b-cdn.net/gfx/news/2016/1-usingvirtual.jpg">https://scx2.b-cdn.net/gfx/news/2016/1-usingvirtual.jpg</a>	52
Εικόνα 28	<u>Ασκήσεις</u> ισορροπίας σε σανίδα με πλάγιες παρεκλήσεις <a href="https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-56558-2_23/MediaObjects/273272_2_En_23_Fig15_HTML.jpg">https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-56558-2_23/MediaObjects/273272_2_En_23_Fig15_HTML.jpg</a>	53
Εικόνα 29	<u>Ασκήσεις</u> σε VR περιβάλλον <a href="https://ijspt.scholasticahq.com/article/21251-visual-perturbation-to-enhance-return-to-sport-rehabilitation-after-anterior-cruciate-ligament-injury-a-clinical-commentary/attachment/54054.jpg">https://ijspt.scholasticahq.com/article/21251-visual-perturbation-to-enhance-return-to-sport-rehabilitation-after-anterior-cruciate-ligament-injury-a-clinical-commentary/attachment/54054.jpg</a>	54
Εικόνα 30	<u>Βάδιση</u> με οπτικά ερεθίσματα- κινούμενοι στόχοι σε περιβάλλον VR <a href="https://nortonhealthcareprovider.com/news/norton-mobility-lab-utilizes-grail-for-gait-analysis-and-training/">https://nortonhealthcareprovider.com/news/norton-mobility-lab-utilizes-grail-for-gait-analysis-and-training/</a>	55

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Αρχές Πλαστικότητα (με βάση την εμπειρία (Kleim & Jones, et al,2008)	12
Πίνακας 2	Εγκεφαλικοί Λοβοί - λειτουργίες και περιοχές , από Demos 2005 , Marzbani H. Et al. ,2016 <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/table/T2/?report=objectonly">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/table/T2/?report=objectonly</a>	28
Πίνακας 3	Συνήθειες τραυματισμοί και Ηλικιακές Κατηγορίες (Prieto-González, P et al,2021) <a href="https://www.mdpi.com/1096014">https://www.mdpi.com/1096014</a>	37
Πίνακας 4	Ενδεικτικοί Ελάχιστοι Στόχοι ανά άσκηση Ισορροπίας-Ιδιοδεκτικότητας	50

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Αρχές Νευροπλαστικότητα (Kleim & Jones, et al,2008)	17
Σχήμα 2	Βιοψυχοκοινωνικό Μοντέλο Πόνου του Engel(Ballesteros et al. 2018)	21

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1	Συχνότητα τραυματισμών στον αθλητισμό - Η πιο συχνή και κοινή κάκωση στις αθλητικές δραστηριότητες αφορά τις θλάσεις στην Οσφυϊκή Μοίρα της Σπονδυλικής Στήλης και στη συνέχεια των Διαστρεμμάτων και Καταγμάτων που είναι σε σχετικά μεγάλο ποσοστό δεδομένου της σοβαρότητας τους και τις μεγάλης επίδρασής τους στην υγεία. (Prieto-González, P et al,2021) <a href="https://www.mdpi.com/1096014">https://www.mdpi.com/1096014</a>	37
Γράφημα 2	Ποσοστά Τραυματισμών και Αθλημάτων Σε Εφήβους(Prieto-González, P et al,2021) <a href="https://www.mdpi.com/1096014">https://www.mdpi.com/1096014</a>	38
Γράφημα 3	Ποσοστά Τραυματισμών :Η πλειονότητα των τραυματισμών περιοχικά συμβαίνει στα Κάτω κι Άνω άκρα ,τον κορμό ,το κεφάλι και τον αυχένα(Prieto-González, P et al,2021) <a href="https://www.mdpi.com/1096014">https://www.mdpi.com/1096014</a>	39

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρωπος συνιστά έναν πολυκύτταρο οργανισμό, αποτελούμενο από πολλαπλά αλληλεπικαλυπτόμενα συστήματα τα οποία οργανώνονται, επικοινωνούν και δρουν σε συνεργασία μεταξύ τους ,ώστε να εκπληρώσουν τις ζωτικές, λειτουργικές, γνωσιακές και ψυχοκοινωνικές ανάγκες του ανθρώπου. Κάθε σύστημα διαδραματίζει το δικό του σκοπό ενώ συνολικά μεταξύ τους εξυπηρετούν σημαντικές για τη ζωή λειτουργίες, τόσο για τις ανώτερες όσο και τις κατώτερες. Σε αντίθεση με τα κατώτερα έμβια όντα και θηλαστικά, ο άνθρωπος διαθέτει την ικανότητα της συνείδησης, συναίσθησης και της σκέψης. Αυτό διαφοροποιεί τη λειτουργία του , εφόσον δε δρα με βάση τα αρχέγονα αντανακλαστικά και ένστικτα, αλλά με τη δική του βουλή και συναίσθηση.

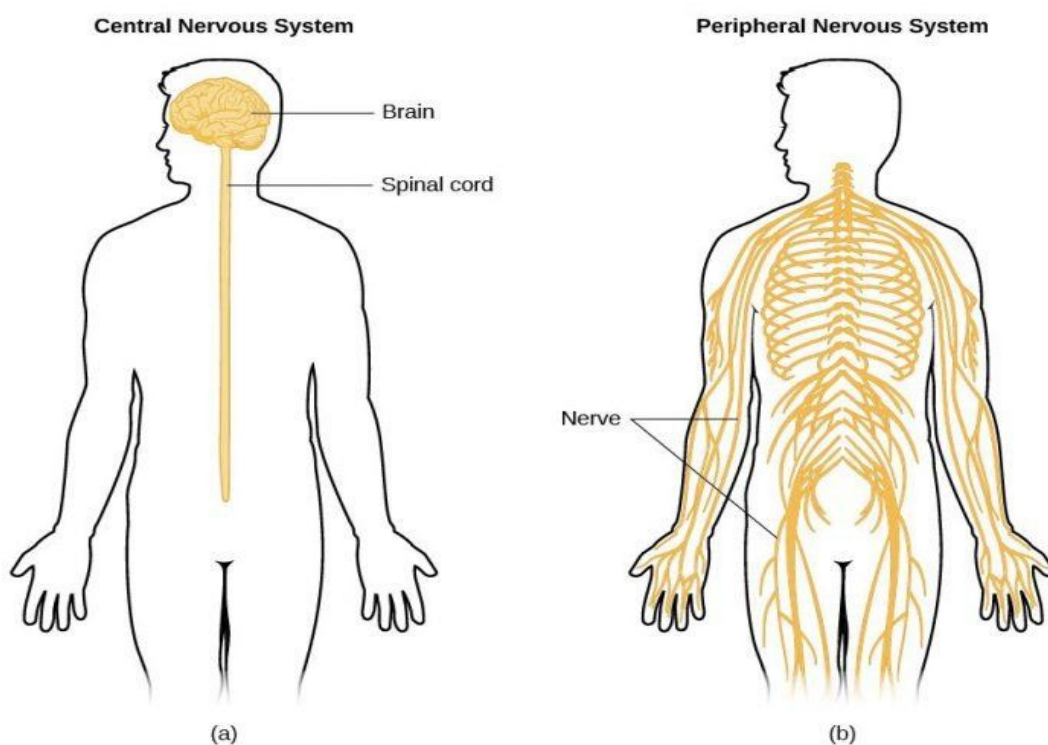
Αυτό αποτυπώνεται πλέον και ανατομικά στη μεγαλύτερη και πιο σύνθετη ανάπτυξη του Νευρικού Συστήματος και όλα τα συστήματα υπόκεινται στον έλεγχο του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το νευρικό σύστημα αποτελεί το κυριότερο σύστημα για την επιβίωση καθώς επιτρέπει την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το εξωτερικό περιβάλλον. Δομική μονάδα του είναι τα νευρικά κύτταρα τα οποία χωρίζονται σε 2 κατηγορίες : 1) τα νευρογλοιακά κύτταρα & 2) τους νευρώνες. Οι νευρώνες παρέχουν την δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικών ώσεων από το κυτταρικό σώμα στις νευρικές απολήξεις (κινητικοί νευρώνες) ή το αντίστροφο (αισθητικοί νευρώνες) , ενώ τα κύτταρα της γλοίας έχουν ρόλο υποστηρικτικό, προστατευτικό και επιταχύνουν την αγωγή της νευρικής ώσης ,από και προς τον φλοιό. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού, οι νευρώνες δεν έχουν την ικανότητα αναδιπλασιασμού, καθώς βλάβη ενός νευρώνα δεν μπορεί να αποκατασταθεί (NIH-Nerve Tissue-SEER Training) .

Τα νευρικά κύτταρα δημιουργούν συμπλέγματα νευρικών δικτύων, ευδοκώνοντας την πραγματοποίηση νοητικών, γνωστικών ,αισθητικών, κινητικών λειτουργιών και προσαρμοστικών διεργασιών καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής. Οργανώνεται συνολικά σε 2 συστήματα : το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα(ΚΝΣ) -και- το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ).(Εικόνα1)



Εικόνα 1 Νευρικό Σύστημα ΚΝΣ & ΠΝΣ Nervous System Autoregulation and VBT - Perch.fit



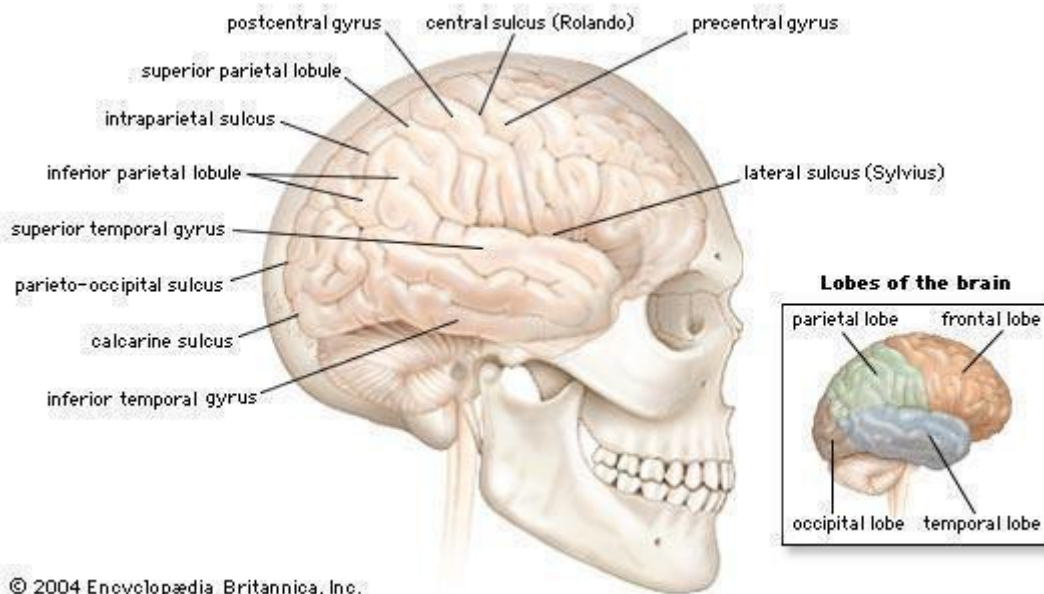
## 1.1 ANATOMΙΚΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ

### 1.2 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ)

Το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) περιλαμβάνει τον Εγκέφαλο και τον Νωτιαίο Μυελό (Ν.Μ.) .

#### 1.2.1 Ανατομία Εγκεφάλου

Ο Εγκέφαλος εντοπίζεται προστατευμένος στο κρανίο, όπου διατίθενται τα διάφορα κέντρα λειτουργιών. Εξωτερικά, καλύπτεται από τον εγκεφαλικό φλοιό, μια στιβάδα φαιάς ουσίας η οποία έχει τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων, ενώ εσωτερικά εμπεριέχει τους νευράξονες περίβλημα λευκής ουσίας , τη γλοία .



Εικόνα 2: Οδηγά ανατομικά σημεία, λοβοί ,σχισμές κι έλικες των περιοχών του εγκεφάλου - Encyclopædia Britannica human nervous system - The central nervous system view-hemisphere-lobes-human-brain-skull-convolutions

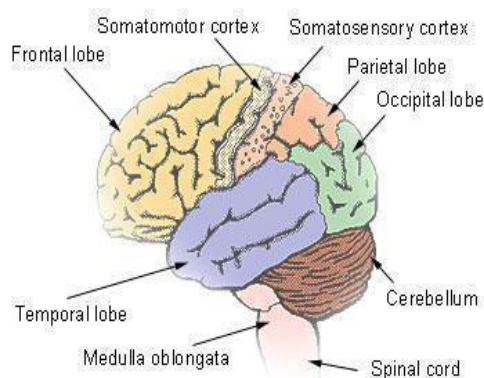
Οδηγά ανατομικά σημεία (σχισμές κι έλικες και φυσιολογικές λειτουργίες χρησιμοποιούνται για τη τοπογραφική και λειτουργική διαφοροποίηση των περιοχών του εγκεφάλου (Thau et al, 2022). (Εικόνα 2)

Συνίσταται από : 1) τα εγκεφαλικά ημισφαίρια (τελικό εγκέφαλο), 2) τον διεγκέφαλο, 3)το εγκεφαλικό στέλεχος, 4) την παρεγκεφαλίδα (Εικόνα3)

## Τελικός Εγκέφαλος

Ο τελικός εγκέφαλος, αποτελεί τα 2 εγκεφαλικά ημισφαίρια, που εμπεριέχουν τον εγκεφαλικό φλοιό, τα βασικά γάγγλια, τη λευκή ουσία, τον ιππόκαμπο και τις αμυγδαλές (Ludwig et al, 2021). Ο εγκεφαλικός φλοιός χωρίζεται αδρά σε 4 λοβούς, εκατέρωθεν:

- ❖ στο Βρεγματικό,
- ❖ στο Κροταφικό,
- ❖ στον Ινιακό λοβό όπου σε αυτά εδράζουν τα αντίστοιχα αισθητικά κέντρα αποθήκευσης ερεθισμάτων κι πληροφοριών της αίσθησης - ακοής - όρασης (Marzbani H. Et al. , 2016).
- ❖ κι στο Μετωπιαίο λοβό , ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση και τον προγραμματισμό της κίνησης, ενώ ταυτόχρονα εμπεριέχει τα κέντρα διαμόρφωσης προσωπικότητας, ιδιοσυγκρασίας, πνευματικής δραστηριότητας - σκέψης, εκούσιας ρύθμισης συναισθημάτων μαζί με κέντρα κινητικού (Thau et al, 2022) προγραμματισμού και κινητικής απάντησης (Marzbani H. Et al. ,2016).



### Lobes of the cerebrum

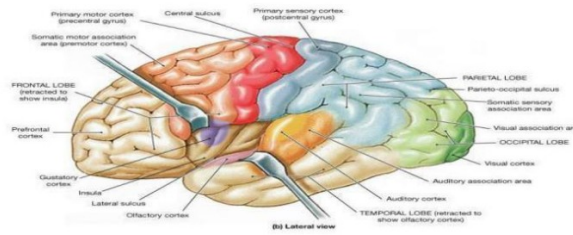
Εικόνα 3 : Εγκεφαλικοί Λοβοί-Σωματοαισθητικές- Σωματικοκινητικές περιοχές  
Παρεγκεφαλίδα -Προμηκης μυελός ,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illu\\_cerebrum\\_lobes.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illu_cerebrum_lobes.jpg)

## Νησιδιακός φλοιός (Νήσος του Reil) και Βασικά Γάγγλια

Στο κατώτερο όριο κι εσωτερικά της πλάγιας σχισμής, που οριοθετεί την κροταφική περιοχή από τη μετωπιαία και την βρεγματική , εσωτερικά του εγκεφάλου εδράζεται ο Κεντρικός φλοιός, ή αλλιώς Νησιδιακός φλοιός (Νήσος του Reil) (Εικόνα 4). Από κάτω εντοπίζονται τα Βασικά Γάγγλια. Οι βασικοί πυρήνες (η αμυγδαλή, το κέλυφος, η ωχρά σφαίρα, το προτείχισμα και ο κερκοφόρος πυρήνας) δέχονται πληροφορίες από τον φλοιό και στη συνέχεια προβάλλουν ,μέσω των βασικών γαγγλίων-θαλαμοκορτικοειδών κυκλωμάτων, σε ένα σχετικά μικρό τμήμα του μετωπιαίου λοβού για τη ρύθμιση της κίνησης και στάσης (Ludwig et al, 2021).(Εικόνα 5)

## Five Lobes of the Cerebrum

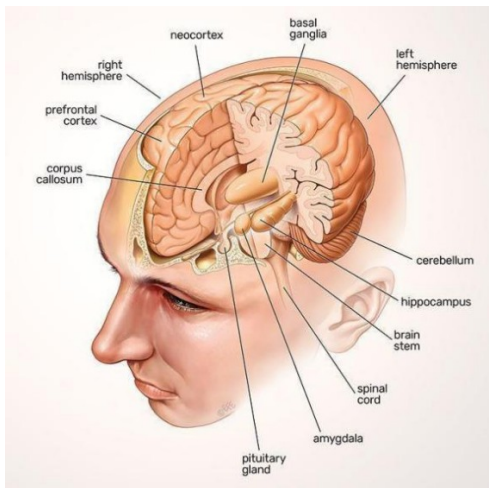
- Frontal
- Parietal
- Temporal
- Occipital
- Insula



Εικόνα 4: Εγκεφαλικοί Λοβοί και Νησιδιακός φλοιός <https://www.slideserve.com/dympna/the-brain>

### Ιππόκαμπος και Αμυγδαλή

Η λειτουργία του ιππόκαμπος σχετίζεται κυρίως με τη μνήμη, ενώ η αμυγδαλή επεξεργάζεται, μέσω του υποθαλάμου και της έκκρισης ορμονών, τις συναισθηματικές πληροφορίες που επιδρούν στο αυτόνομο σύστημα (Ludwig et al, 2021).



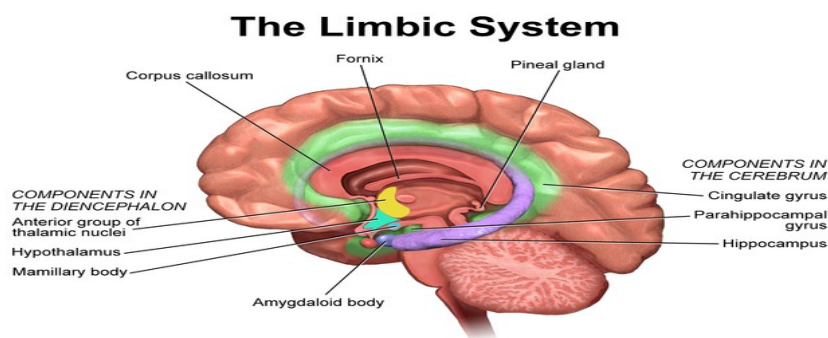
Εικόνα 5 : Ανατομία Βασικών γαγγλίων - Basic-brain-anatomy Central Nervous System brain and spinal cord, University of Queensland

### Μεταχαιμακό Σύστημα

Το Μεταχαιμακό, ή αλλιώς ρινικό σύστημα (limbic system), αποτελείται από ένα σύνολο στενά συνδεδεμένων ανατομικών δομών, στο όριο του φλοιού των ημισφαιρίων και του Διεγκεφάλου -υποθαλάμου. Το Μεταχαιμακό Σύστημα συμμετέχει στη λειτουργία των δομών του διεγκεφάλου, του στελέχους και του τελικού εγκεφάλου. Επιπλέον, αποτελεί γέφυρα με τον θάλαμο, τα κέντρα όσφρησης, τον μέσο εγκέφαλο και τον προμήκη μυελό ώστε οι ζωτικές λειτουργίες, η πρόσφατη μνήμη και μάθηση, ο έλεγχος των συναισθημάτων και

συμπεριφορών( σύστημα του στρες μέσω του αμυγδαλοειδούς σώματος και το πρόσθιο πυρήνα του θαλάμου) να υπόκεινται στον έλεγχο του (Thau et al, 2022).

Ο Συνειρμικός φλοιός (Εικόνα 6), δεν έχει σαφή όρια, βρίσκεται εσωτερικά του εγκεφάλου και αποτελεί το μεταίχιμο των λοβών. Αναγνωρίζονται 3 συνειρμικές χώρες: η προμετωπιαία , η πρόσθιο-κροταφική, η οπίσθιο-βρεγματική παρέχοντας πολλαπλές προσαγωγές και απαγωγές συνδέσεις και έχουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς και την ερμηνεία αισθητικών ερεθισμάτων.



Εικόνα 6 : Μεταιχμιακό Σύστημα- Wikimedia Commons Blausen\_0614\_LimbicSystem

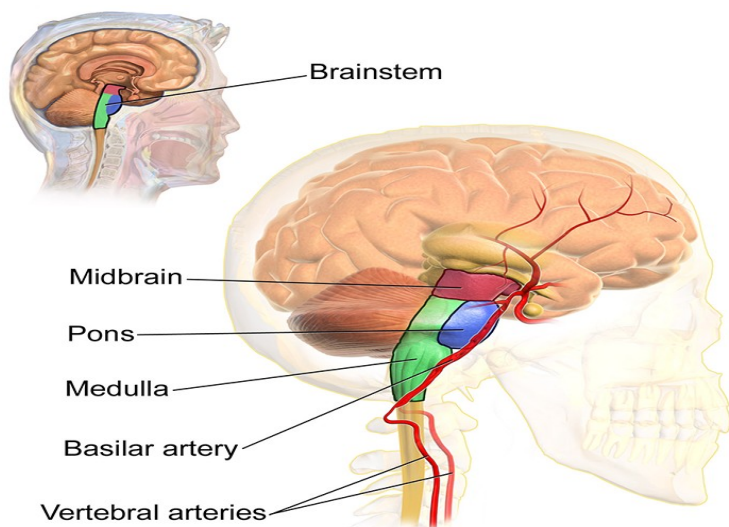
Μεταξύ των εγκεφαλικών ημισφαιρίων και του εγκεφαλικού στελέχους, βρίσκεται ο διάμεσος εγκέφαλος ,ο οποίος διαθέτει την Τρίτη Κοιλία κι περιλαμβάνει τις δομές της επίφυσης, του υποθαλάμου, της υπόφυσης, μεταθαλάμου και θαλάμου. Ο θάλαμος κυρίως, είναι υπεύθυνος για την συγκέντρωση των αισθητικών πληροφοριών και την αποστολή τους στα απαραίτητα κέντρα αισθητικών ερεθισμάτων (στους εγκεφαλικούς λοβούς ), ενώ οι υπόλοιπες δομές συμβάλλουν στις ορμονολογικές , αυτόνομες και ενδοκρινικές απαντήσεις του οργανισμού (Thau et al, 2022) .

### 1.2.2 Εγκεφαλικό Στέλεχος : Μέσος εγκέφαλος, Γέφυρα , Προμήκη μυελό & Νωτιαίος Μυελός

Το Εγκεφαλικό Στέλεχος απαρτίζεται από τον μέσο εγκέφαλο, τη γέφυρα και τον προμήκη μυελό (Εικόνα 7). Ο Μέσος Εγκέφαλος εμπλέκεται στην οφθαλμική κίνηση καθώς και στις οπτικές και ακουστικές οδούς αναμετάδοσης (Κρ.Ν. I –II). Στο ύψος του δικτυωτού σχηματισμού, εδράζουν οι εγκεφαλικές συζυγίες (Κρ.Ν. III- XII) του εγκεφάλου παρέχοντας αισθητική κι κινητική νεύρωση της κεφαλής ,του λαιμού, με κάποια επέκταση της λειτουργίας σε άλλες πλησιέστερες περιοχές και όργανα (Thau et al, 2022) (Ludwig et al,2021) . Η γέφυρα μεταφέρει πληροφορίες στον εγκέφαλο και επικοινωνία με τους πυρήνες της

παρεγκεφαλίδας για την ρύθμιση της στάσης και της ισορροπίας και σωστή ακρίβεια των κινήσεων (Ludwig et al,2021).

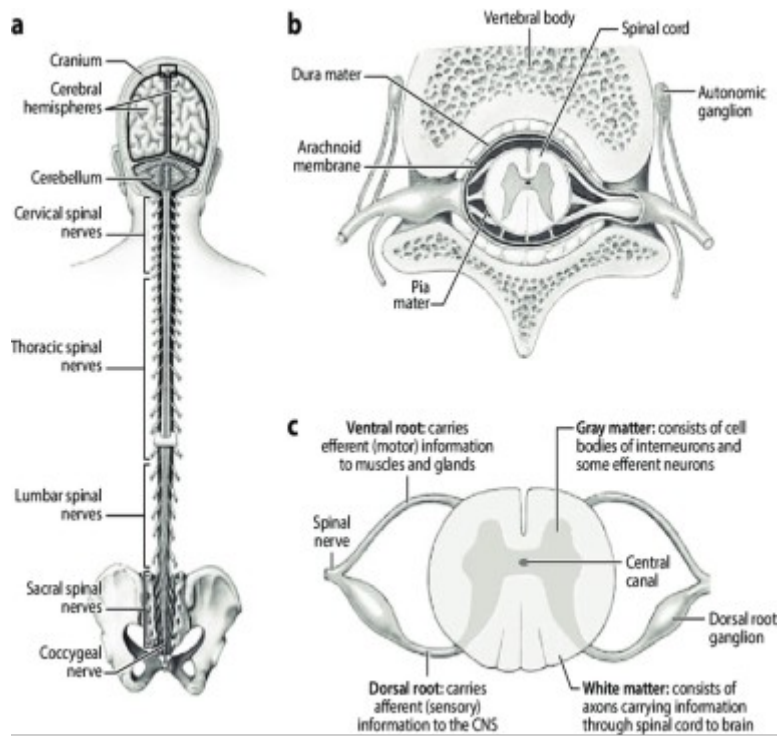
Ο προμήκης μυελός αποτελεί περιοχή ένωσης του εγκεφάλου με τον νωτιαίο μυελό και σημείο χiasμού των κινητικών και αισθητικών-ιδιοδεκτικών ιών των περιφερικών νεύρων και περιέχει κέντρα ελέγχου αυτόνομων ζωτικών λειτουργιών!



Εικόνα 7: Εγκεφαλικό Στέλεχος - Μέσος εγκέφαλος, Γέφυρα , Προμήκη μυελό-The midbrain - Queensland Brain Institute - University of Queensland

Οι πληροφορίες που οδεύουν προς και από το κεντρικό σύστημα, περνάνε με τη σειρά τους σε μια άλλη δομή του κεντρικού νευρικού συστήματος , τον νωτιαίο μυελό (N.M.) Ο νωτιαίος μυελός έχει εξωτερικά τη λευκή ουσία ,ενώ στο κέντρο έχει τη φαιά ουσία (Εικόνα 8) . Βρίσκεται προστατευμένος εντός του σπονδυλικού σωλήνα, εκτός του κρανίου, μεταφέρει και τροποποιεί αισθητηριακές πληροφορίες, από τα αισθητήρια όργανα των διαφόρων δομών , στους νευρικούς υποδοχείς της περιφέρειας στα νεύρα που εισέρχονται σε αυτόν. Από εκεί η αισθητική πληροφορία μέσω των νωτιοθαλαμικών δεματίων κατευθύνεται προς τον Θάλαμο (Ludwig et al,2021) .

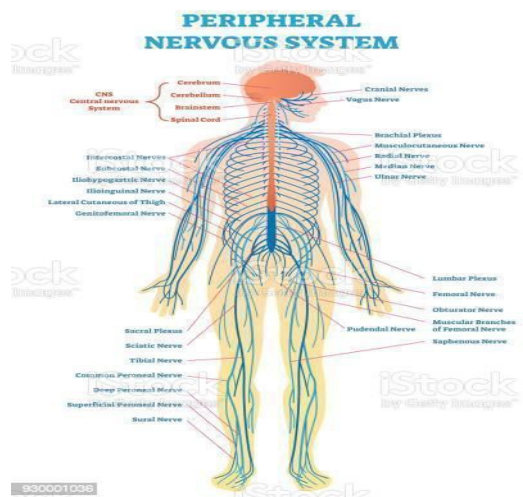




Εικόνα 8: Νωτιαίος Μυελός [https://www.researchgate.net/figure/Anatomy-of-the-central-nervous-system-CNS-a-The-spinal-region-is-housed-within-the\\_fig3\\_263862619](https://www.researchgate.net/figure/Anatomy-of-the-central-nervous-system-CNS-a-The-spinal-region-is-housed-within-the_fig3_263862619)

### 1.3 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα - ΠΝΣ

Το περιφερικό νευρικό σύστημα (Εικόνα 9)απαρτίζεται από τη συνένωση των προσθίων και οπισθίων κεράτων του Νωτιαίου Μυελού, δημιουργώντας νεύρα της περιφέρειας που διακλαδίζονται και σχηματίζουν δίκτυο νεύρων και πλεγμάτων ,έξω από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό (NIH-The Peripheral Nervous System-SEER Training). Τα νεύρα ,που εξέρχονται του Σπονδυλικού σωλήνα, διαιρούνται σε 2 υποκατηγορίες, σε ίνες του σωματικού νευρικού (για εκούσιες – συνειδητές λειτουργίες) και αυτόνομου νευρικού συστήματος (για ακούσιες λειτουργίες – μη συνειδητές) (Waxenbaum et al, 2021) .



Εικόνα 9 :Περιφερικό Νευρικό Σύστημα ΠΝΣ <https://www.istockphoto.com/vector/peripheral-nervous-system-medical-vector-illustration-diagram-with-full-body-nerve-gm930001036-254998634>

Συγκεντρωτικά, ο εγκέφαλος διαδραματίζει τον ρόλο του οργανωτή και συντονιστή των εκούσιων και μη λειτουργιών, μέσα από το σωματικό και αυτόνομο νευρικό σύστημα. Με τη διαδικασία της αποδοχής- επεξεργασίας-διερμηνείας, κατάλληλης ταξινόμησης και αποθήκευσης των εισερχόμενων αισθητικών ερεθισμάτων, είναι εφικτή η βέλτιστη οργάνωση και αποστολή κινητικής απάντησης από τον προμετωπιαίο φλοιό, στην προκινητική και στην τελική κινητική έλικα (NIH-The Peripheral Nervous System-SEER Training) .

Η απάντηση του εγκεφάλου στα εξωτερικά ερεθίσματα άγεται ως Κινητική απάντηση του ΚΝΣ προς τα όργανα στόχους (μύες, αδένες, σπλάχνα) και συμπεριφοράς (Waxenbaum et al, 2021) . Η συμμετοχή του Νευρικού συστήματος είναι παρούσα σε όλες τις λειτουργίες και λαμβάνει μέρος στις διαφορές καταστάσεις του ανθρώπου, παθολογικές και μη. Το νευρικό σύστημα, είναι ένα σύστημα το οποίο δεν διαθέτει την ικανότητα πλήρους αυτοθεραπείας, αλλά διαθέτει την ιδιότητα της νευροπλαστικότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΝΕΥΡΟΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Το νευρικό σύστημα διαθέτει την ικανότητα αλλαγής των συνάψεων μέσω της αυξομείωσης των νευρικών απολήξεων και αποφυάδων των κεντρικών σωμάτων ,στο ΠΝΣ κι ΚΝΣ αντίστοιχα. Η ικανότητα αυτή, λόγω της διαφορετικής τοποθεσίας των μεταβολών ,διαφοροποιείται ως πλαστικότητα στη περιφέρεια και ως νευροπλαστικότητα στο ΚΝΣ. Η πλαστική ικανότητα του νευρικού συστήματος αποτυπώνεται κατα την αναπτυξη και επούλωση των περιφερικών ιστών , τόσο σε σκληρές δομές (οστά) όσο και στα μαλακά μόρια (αγγεία ,μύες , τένοντες , νεύρα) .Σε τραυματισμό των νευραξόνων της περιφέρειας , παρατηρείται μία συνεχή διαδικασία αναδιοργάνωσης των νεύρων. Εν τάχει , παράγονται πρωτεΐνες για την επανανεύρωση των πληγέντων ιστών και την αλληλεπίδραση του νεοαναπτυσσόμενου νευράξονα με τα κύτταρα Schwann για την σωστή επαναμυελίνωση του νεύρου (Βαλεριανή εκφύλιση). Ένα άλλο φαινόμενο πλαστικότητας του νευρικού ιστού ,όπως σε τραυματισμούς ή ακόμη και σε ρήξη συνδέσμων, περιφερικά προκαλεί παραγωγή νευροτροφικών παραγόντων οδηγώντας σε συναπτική μετάσταση . Κατά βάση αυτού , οι συνάψεις των νεύρων μετατίθενται και σε άλλες περιοχές πέριξ του ιστού στόχου (synaptic plasticity mechanism) σε ένα χρονικό διάστημα αρκετών εβδομάδων, μηνών , ή χρόνου, επιτυγχάνοντας την μερική λειτουργική επανεύρωση του ιστού.

Ως νευροπλαστικότητα ορίζεται η ικανότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος να μεταβάλλει τη λειτουργία, τη δομή και την οργάνωση του, συνεχώς κατά τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου ως απάντηση σε ενδογενείς (π.χ. σπλαχνικά ερεθίσματα) και εξωγενείς παράγοντες (κινητική μάθηση και περιφερειακές αισθήσεις). Αποτελεί τη σμίλευση και την αυτό-διαμόρφωση του νευρικού συστήματος στις ατομικές ανάγκες και περιβαλλοντικές προσαρμογές (Loriette et al ,2021). Η νευροπλαστικότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία μέθοδος κωδικοποίησης νέων εμπειριών μάθησης και ανάπτυξης νέων συμπεριφορών (Kleim & Jones,2008). Σε αντίθεση με την πλαστικότητα, η νευροπλαστικότητα απαρτίζει μεταβολές των συνάψεων των αποφυάδων των νευρικών σωμάτων στο ΚΝΣ. Η κεντρική πλαστικότητα του νευρικού συστήματος συνεπάγεται με την αναδιοργάνωση των λειτουργιών του εγκεφάλου μέσω :



- δημιουργίας συνάψεων και συνδέσεων στον εγκέφαλο ή ενίσχυσης/αποδυνάμωσης νευρικών συνάψεων
- αλλαγών στη μυελίνωση των νευραξόνων και στη παραγωγή της Λευκής ουσίας
- όγκο της φαιάς ουσίας του εγκεφάλου.

Αρκετοί παράγοντες εξωγενών και ενδογενών ερεθισμάτων επιδρούν στην ευμεταβλητότητα των συνάψεων του εγκεφάλου και την αυξομείωση της σε κάθε άνθρωπο ξεχωριστά . Η νευροπλαστικότητα δεν πραγματοποιείται με τον ίδιο ρυθμό και ευκολία σε όλα τα στάδια της ζωής .Φτάνει την κορυφαία τιμή ανάπτυξής της (peak) στην εμβρυική και ολίγον στην μεταγεννητική ζωή ,ενώ λίγο πιο πριν το στάδιο της εφηβείας σταθεροποιείται και συνεχίζει να υφίσταται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής (Loriette et al ,2021) .Ο εγκέφαλος συνεχώς αναδιαμορφώνει τα νευρικά του δίκτυα , προκειμένου να κωδικοποιήσει νέες εμπειρίες και να κάνει δυνατή τη συμπεριφορική μεταβολή (Loriette et al ,2021) .Σχηματίζοντας νευρικά δίκτυα, ο ανθρώπινος οργανισμός μαθαίνει να προσαρμόζεται στις περιβαλλοντικές αλλαγές (Loriette et al ,2021). Η προσαρμοστικότητα και η λειτουργικότητά του στηρίζεται σε 10 βασικές αρχές που επιδρούν στην αυξομείωση των επιπέδων της Νευροπλαστικότητας ( Πίνακας 1 )( Kleim & Jones, et al,2008)

## 2.1 Βασικές Αρχές Νευροπλαστικότητας

**Αρχή 1:** Χρήσης- Αχρησίας (“Use it Or Loose it”): Η μη εκτέλεση διαφόρων κινητικών, λεκτικών, γνωσιακών λειτουργιών ή απουσία αισθητηριακών ερεθισμάτων, ή και υποδοχέων ,έχει ως αποτέλεσμα την μη ενεργοποίηση των αντίστοιχων εγκεφαλικών κέντρων. Εξαιτίας αυτού, δεν επάγονται διεγερτικά σήματα στα νευρικά δίκτυα,για παρατεταμένη χρονική περίοδο, εξασθενεί τα νευρικά δίκτυα και τις συνάψεις τους (Loriette et al ,2021) . Όσο μακρόχρονη είναι η μη ενεργοποίηση των νευρικών δικτύων , τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια του αριθμού των νευρικών συνάψεων και δικτύων.

Παρόλα αυτά, η αρχή αυτή δεν είναι καθολική σε νευρικά αλληλοσυνδεδεμένα δίκτυα. Η σύνδεση των αισθητικών νευρικών δικτύων με συμπεριφορικές εμπειρίες ,δεν οδηγεί σε πλήρη νευρική αδρανοποίηση. Οπότε απώλεια 1 αίσθησης λόγω μη ενεργοποίησης 1 νευρικού δικτύου έχει ως αντίκτυπο τη μερική απώλεια της . Συνεπώς καθίσταται πιο

δύσκολη η κατάργηση μιας συμπεριφορικής αντίδρασης και πιο εύκολη η απώλεια μη συμπεριφορικά συνδεδεμένων λειτουργιών (Kleim & Jones,2008).

Πίνακας 1: Αρχές Πλαστικότητας με βάση την εμπειρία (Kleim & Jones, et al,2008)

Table 1. Principles of experience-dependent plasticity.

Principle	Description
1. Use It or Lose It	Failure to drive specific brain functions can lead to functional degradation.
2. Use It and Improve It	Training that drives a specific brain function can lead to an enhancement of that function.
3. Specificity	The nature of the training experience dictates the nature of the plasticity.
4. Repetition Matters	Induction of plasticity requires sufficient repetition.
5. Intensity Matters	Induction of plasticity requires sufficient training intensity.
6. Time Matters	Different forms of plasticity occur at different times during training.
7. Salience Matters	The training experience must be sufficiently salient to induce plasticity.
8. Age Matters	Training-induced plasticity occurs more readily in younger brains.
9. Transference	Plasticity in response to one training experience can enhance the acquisition of similar behaviors.
10. Interference	Plasticity in response to one experience can interfere with the acquisition of other behaviors.

**Αρχή 2 :** Χρήσης & Βελτίωσης (“Use it AND Improve it”) : Σε αντίθεση με την πρώτη αρχή ,η αρχή της χρήσης και της βελτίωσης αναφέρεται στην ανάπτυξη της νευροπλαστικότητας ,μέσω της βελτίωσης ενεργοποίησης των νευρικών δικτύων. Όσο περισσότερο ενεργοποιούνται τα νευρικά δίκτυα, τόσο μεγαλύτερη είναι η συναπτογένεση στους νευρώνες του εγκεφάλου (Loriette et al ,2021). Η συναπτογένεση συνοδεύεται από αύξηση των δενδριτών, αυξάνοντας την επιφάνεια επαφής με άλλους νευρώνες τόσο αντίπλευρα όσο κι μονόπλευρα στα ημισφαίρια του εγκεφάλου. Έτσι αυξάνεται το σήμα και η ενεργοποίηση των νευρώνων βελτιώνοντας την εκπόλωσή τους (Kleim & Jones,2008) .

**Αρχή 3:** Εξειδίκευση (“ Specificity”) : Η αρχή της εξειδίκευσης αφορά στην αυξημένη δημιουργία συνάψεων σε νευρικά δίκτυα που εξυπηρετούν μία εξειδικευμένη κίνηση ή λειτουργία . Συνεπώς ενεργοποιούν και βελτιώνουν ένα συγκεκριμένο μοτίβο ενεργοποίησης νευρικών δικτύων (Loriette et al ,2021).

Η απόκτηση μιας κινητικής δεξιότητας σχετίζεται με γενετικούς αναπτυξιακούς παράγοντες ( όπως η γονιδιακή έκφραση ,που αφορά γονίδια ανάπτυξης των δενδριτών και συνάψεων στους εγκεφαλικούς νευρώνες ), καθώς και στην νευρική δραστηριότητα τόσο του κινητικού φλοιού και της παρεγκεφαλίδας .Όμως κατά την εξειδίκευση μιας λειτουργικής κίνησης ,η επαναλαμβανόμενη ενεργοποίηση ενός μεμονωμένου νευρικού δικτύου ,δίχως διαφοροποίηση της έντασης ή της αίσθησης ,δεν έχει κάποια σημαντική μεταβολή. .Η επανάληψη ενός ήδη κατακτημένου κινητικού μοτίβου δεν έχει περεταίρω θετική επίδραση .

Η εκπαίδευση με μία μορφή αλλάζει μόνο ένα μικρό υποσύνολο νευρικών κυκλωμάτων, ενώ επηρεάζουν την ικανότητα απάντησης, συμπεριφορών και των ικανοτήτων. Μέσω της μάθησης πραγματοποιούνται αλλαγές στο επίπεδο του εγκεφάλου. Με προσθήκη ενός διαφορετικού ερεθίσματος, όπως ήχοι, παρουσιάζεται μεγαλύτερη νευροπλαστική μεταβολή. Η ανάπτυξη των δενδριτών πραγματοποιείται αντίπλευρα και ομόπλευρα του κινητικού φλοιού. Συγκεκριμένες μορφές νευροπλαστικότητας και συνακόλουθες αλλαγές συμπεριφοράς εξαρτώνται από τα είδη εμπειρίας. Παράδειγμα συνιστά η συμπεριφορική εμπειρία, η οποία παίζει προστατευτικό ρόλο τους νευρώνες, καθώς συνδέει περισσότερες από μία περιοχές του εγκεφάλου με μια συγκεκριμένη αίσθηση ενισχύοντας την εγκατάσταση των αποκτηθέντων νευρικών δικτύων (Kleim & Jones, 2008).

Ως εκ τούτου, δεν πρέπει να περιορίζεται η εκπαίδευσης μιας εξειδικευμένης κινητικής συμπεριφοράς ή δεξιότητας σε έναν τρόπο, αλλά να ενισχύονται οι δράσεις σε περισσότερα νευρικά κυκλώματα με τη προσθήκη και άλλων ερεθισμάτων για τη βέλτιστη απόδοση και καλύτερο αποτέλεσμα.

**Αρχή 4 :** Αριθμός των Επαναλήψεων (“Repetitions Matters”) : Για την ανάπτυξη της νευροπλαστικότητας σε μια δεξιότητα, ή μιας αντίστοιχης εγκεφαλικής περιοχής, απαιτείται συνεχής επαναλαμβανόμενη ενεργοποίηση των συγκεκριμένων συνόλου των νευρικών κυκλωμάτων. Αυτά τα μοτίβα συναπτικής δραστηριότητας, οδηγούν μακροχρόνια σε αύξηση της μετάδοσης σήματος μεταξύ δύο νευρώνων, διευκολύνοντας την ενεργοποίησή τους.

Ως αποτέλεσμα αυτού αναπτύσσεται μια μη-εκφυλιστική συμπεριφορά των νευρικών σωμάτων, που συμμετέχουν στο συγκεκριμένο πρότυπο ενεργοποίησης. Ο αριθμός των επαναλήψεων έχει ανάλογη επίδραση στην ενεργοποίηση των νευρώνων στον Εγκέφαλο. Πλέον η ενεργοποίηση των εγκεφαλικών ημισφαιρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω παροχής ηλεκτρονικών συστημάτων ερεθισμού, δίχως απαραίτητα την ενεργητική συμμετοχή του ασθενούς. Παράδειγμα, μέσω του ηλεκτρικού ερεθισμού εστιασμένων λοβών του εγκεφάλου (TNS ή TMS) αυξάνεται η συναπτογένεση, συνεπώς και η δύναμη των συνάψεων στον κιναισθητικό φλοιό (Kleim & Jones, 2008). Μια άλλη μέθοδος είναι η μακροπρόθεσμη ενίσχυση (LTP), στην οποία επιτυγχάνεται η επίμονη ενίσχυση των συνάψεων, βασισμένη στα πρόσφατα πρότυπα δραστηριότητας.

**Αρχή 5 :** Παράμετρος Ένταση (“Intensity Matters”) : Η πέμπτη αρχή βασίζεται στην ένταση της άσκησης και της δραστηριότητας. Όσο πιο πολλές επαναλήψεις έχουμε, με βάση και την

Τετάρτη αρχή, τόσες περισσότερες συνάψεις δημιουργούνται στον κινητικό φλοιό . Ωστόσο, χαμηλής έντασης ηλεκτρικής διέγερσης στον εγκέφαλο ,διαφέρουν από τα πιο ισχυρά σήματα. Όταν οι περισσότερες επαναλήψεις έχουν χαμηλές εντάσεις , οι νευρικές συνάψεις αποδυναμώνονται. Αντιθέτως, ένα πιο ισχυρό ερέθισμα επαναλήψεων υψηλής έντασης , θα παρέχει μία μακροπρόθεσμη ενίσχυση των νευρικών αυτών δικτύων. Η μεγαλύτερη ή μικρότερη ένταση αφορά ενεργητικά τις περισσότερες ή λιγότερες ενεργοποιήσεις μυϊκών ομάδων στον κινητικό φλοιό (βλ. Αρχή 9).

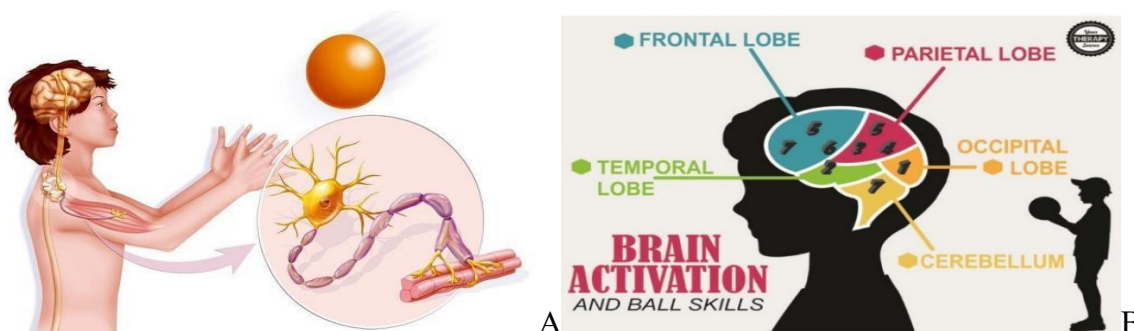
Στο συγκεκριμένο σημείο απαιτείται μεγάλη προσοχή , καθότι το μεγάλο φορτίο μπορεί να υπερβεί το όριο ανοχής των τραυματισμένων ιστών και να αποβεί και μοιραίο δημιουργώντας έτσι συμπτώματα υπέρμετρης τάσης ,υπερφόρτωσης και τραυματισμού των δομών. Ομοίως συμβαίνει και σε ενδοκράνιους τραυματισμούς. Λόγω της αύξησης τοξικών παραγόντων που υπάρχουν στους ευάλωτους ιστούς γύρω από την περιοχή του τραυματισμού , επακόλουθα μειώνεται η νευροπλαστική ικανότητα στου ιππόκαμπου. Για αυτό η θεραπευτική παρέμβαση, σε βαριά περιστατικά ,να γίνει μετά τις 7 μετατραυματικές μέρες ,ώστε να έχουν εκφραστεί γονίδια και να εκφράζονται γονίδια της χωροταξικής μνήμης και λειτουργικότητας (Kleim & Jones,2008).

**Αρχή 6 :** Νευροπλαστικότητα και Χρονική Εξάρτηση (“Time Matters”) :Η νευροπλαστικότητα απαιτεί μία διαδικασία που συμβαίνει τόσο σε μοριακό επίπεδο , κυτταρικό , δομικό και σε επίπεδο φυσιολογίας. Η ανάπτυξη της πλαστικότητας πού παρατηρείται και συμπεριφορική εγκατάσταση της νευροπλαστικότητας γίνεται μεταγενέστερα και όχι ενεργά κατά την άσκηση (Iuamoto L et al,2022).

Σχετικά με μια τραυματική εμπειρία, η καλύτερη χρονική περίοδος για την εξάσκηση της νευροπλαστικότητας είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομα τους τραυματισμούς, έτσι ώστε να μην εγκατασταθούν τα παθολογικά συμπεριφορικά και αντιροποιστικά πρότυπα κίνησης και συμπεριφοράς (Kleim & Jones,2008).

**Αρχή 7:** Έμφαση-Στόχος (“ Sillience Matter”) : Η αρχή της δημιουργίας ενός στόχου ,εστιάζει στην καλύτερη λειτουργία του οργανισμού ,απαιτώντας τη δημιουργία ενός εσωτερικού συστήματος στάθμευσης .Ένα σύστημα στάθμευσης παρέχει μία εμπειρία, η οποία μπορεί να κωδικοποιηθεί από τον ασθενή, δίνοντας έμφαση σε ένα σκοπό κι μετατοπίζοντας το βάρος της προσοχής σε έναν στόχο (Εικόνα10). Παράδειγμα αποτελούν τα ακουστικά ερεθίσματα και κλασικοί τόνοι παράγουν μία πλαστική δραστηριότητα ,ανταμοιβής – προσοχής –ή προειδοποίησης, στο φλοιό. Η πλαστικότητα του

φλοιού αναγνωρίζει τον τόνο και τη συχνότητα και το συνδυάζει με τον πυρήνα της ανταμοιβής. Το συναίσθημα της ανταμοιβής και παράγοντες ενεργοποίησης του (όπως ήχοι, τόνοι ,συναισθήματα,) ,συνδυάζεται με τη διέγερση του βασικού προμετωπιαίου χοληνεργικού συστήματος (Εικόνα 11) . Οι δομές οι οποίες μεσολαβούν διαδραματίζουν απαραίτητο ρόλο στην προσοχή και την αναδιοργάνωση της στον Φλοιό του Εγκεφάλου. Δεν είναι τυχαίο που βλάβη των αναφερθέντων δομών εμποδίζουν την μάθηση και αποδιοργανώνουν τον ακουστικό φλοιό . Επίσης σημαντική παράμετρος για την επιτυχία ενός στόχου και της τελικής απόδοσης, αποτελεί το συναίσθημα το οποίο ενισχύει τις εγκεφαλικές διεργασίες μνήμης.



Εικόνα 10 :Νευρομυϊκό Σύστημα και στόχος-μπάλα - Neuromuscular system Healthdirect -A

Εικόνα 11: Εν σειρά ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λοβών κατά τη σύλληψη μιας μπάλας Your Therapy Source Brain Activation and Ball Skills Brain-Activation-and-Coordination-1-τροποποιημένη Νευρομυϊκό Σύστημα και στόχος-μπάλα - Neuromuscular system Healthdirect-B

**Αρχή 8:** Ηλικία (“ Age Matters”) :Η ηλικία αποτελεί θεμέλιο παράγοντα στον ρυθμό ανάπτυξης νευροπλαστικών μεταβολών (Loriette et al ,2021). Με τη μεγαλύτερη ηλικία έχουμε μικρότερη νευροπλαστική ικανότητα και η αναδιοργάνωση του εγκεφάλου η οποία ποικίλλει από οργανισμό σε οργανισμό .

Η απώλεια συνδέσεων σε υποφλοιώδεις περιοχές λόγω της αυξανόμενης ηλικίας , δημιουργεί ερέθισμα για νέες επανασυνδέσεις οι οποίες παίρνουν δύο μήνες για να ολοκληρωθούν (Iuamoto L et al,2022) . Κατά μέσο όρο μειωμένη έκφραση των γονιδίων πλαστικότητας έχει σαν απάντηση αυξημένες νευρικές εκφράσεις παραγόντων, οι οποίοι καταστέλλουν τη δράση της νευροπλαστικότητας (Kleim & Jones,2008).

**Αρχή 9:** Μεταβατικότητα (“Transference”) :Η μεταβατικότητα αναφέρεται στην μεταφορά της πλαστικής ικανότητας των νευρικών κυκλωμάτων σε περισσότερες περιοχές και νευρικές συνάψεις, για την προώθηση της ταυτόχρονης ή επακόλουθης πλαστικότητας. Αυτό το φαινόμενο αποτυπώνεται με την απεικόνιση του ανθρώπινου κινητικού φλοιού κατά την εκμάθηση δεξιοτήτων με διακρανιακή μαγνητική διέγερση (TMS) . Κατά την άσκηση σε εργασία λεπτής κινητικότητας του άνω άκρου προκαλεί αύξηση της διεγερσιμότητας του φλοιού και επέκταση της αναπαράστασης των μυών του χεριού στον πρωτοταγή κινητικό

φλοιού. Δηλαδή, σε ένα πιο απλουστευμένο μοντέλο, ενεργοποιούνται, κατά τη πραγματοποίηση μιας κίνησης, μαζί με τους πρωταγωνιστές μύες και οι συναγωνιστές μύες, που δρουν επικουρικά ή και σταθεροποιητικά αυξάνοντας και μεταφέροντας το πεδίο ενεργοποίησης του κινητικού φλοιού σε μεγαλύτερη έκταση από ότι θα είχε. Συνδυάζοντας τη κίνηση με συμπεριφορικά και αισθητικά ερεθίσματα, η ενεργοποίηση μεταφέρεται σε μεγαλύτερη περιοχή, από ότι εάν ενεργοποιούνταν μονάχα η πρωταγωνιστική περιοχή . Μια παρόμοια αύξηση στη διεγερσιμότητα μπορεί να προκληθεί μέσω της εφαρμογής επαναλαμβανόμενης διακρανιακής μαγνητικής διέγερσης (rTMS) στον κινητικό φλοιό . Στον κινητικό φλοιό , το TMS συγχρονισμένα με άσκηση φαίνεται να ενισχύει την απόκτηση κινητικότητας , κινητικών δεξιοτήτων ενώ ενισχύει τις συναπτικές αποκρίσεις στον εγκέφαλο και παροδικά βελτιώσεις στην κινητική λειτουργία (Kleim & Jones,2008).

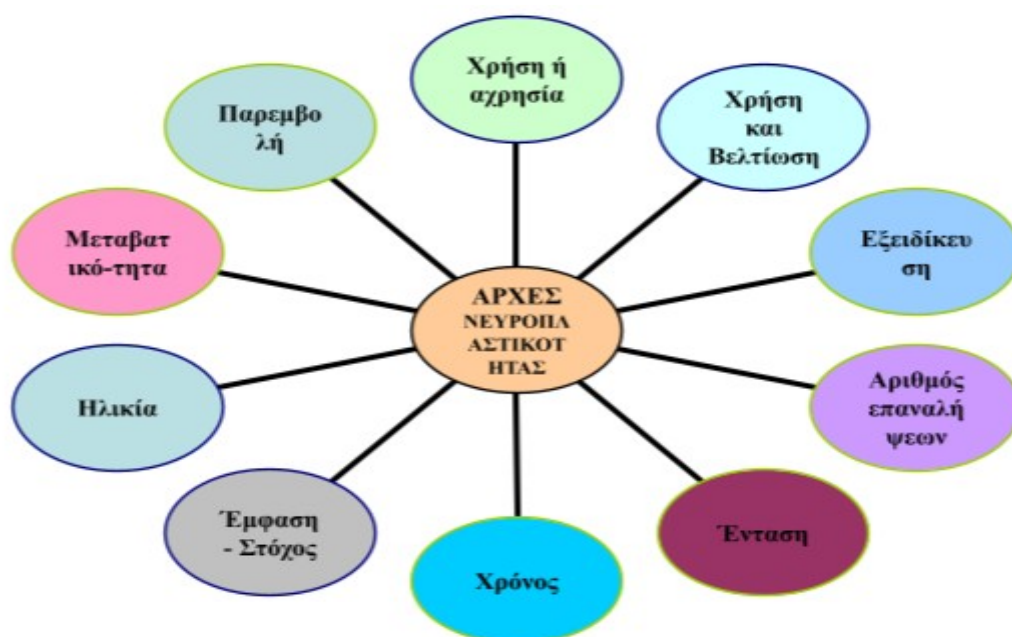
Η άσκηση ευεργετικά διαμορφώνει ένα γόνιμο έδαφος προκειμένου ο εγκέφαλος να δεχτεί τις νευροπλαστικές αλλαγές της μάθησης και της λειτουργικότητας κάνοντας έτσι ένα κατάλληλο περιβάλλον για δημιουργία σημαντικών συνδέσεων και αύξηση της μετάβασης των ηλεκτρικών σημάτων των νευρώνων σε μεγαλύτερη έκταση! Η άσκηση προωθεί την αγγειογένεση στον κινητικό φλοιό και στην παρεγκεφαλίδα, συνοδευόμενη με παράγοντες έκφρασης και προώθησης της νευρικής ανάπτυξης στο νωτιαίο μυελό, στον ιππόκαμπο και σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου . Η διαδικασία αυτή μπορεί να υποβοηθηθεί μέσω συνδυαστικής προπόνησης (με περιφερική ή κεντρική διέγερση) άγωντας τα φαινόμενα μετάβασης προς λειτουργικά ωφέλιμη κατεύθυνση.

**Αρχή 10:** Παρεμβολή ( “Interference”) Εν τέλει, η αρχή της παρεμβολής περιγράφει την άλλη όψη της δράσης της νευροπλαστικότητας. Η νευροαναπτυξιακή διαδικασία (που εμπερικλείει την δημιουργία νευρικών δικτύων, συνάψεων) στον ορισμό της , είναι ευνοϊκή όταν χρησιμοποιείται για την ανάκτηση μιας λειτουργίας .Παρόλα αυτά η νευροπλαστικότητα μπορεί να έχει και αρνητική δράση . Εμποδίζοντας την αλλαγή της παθολογικής συμπεριφοράς ή ακόμα ενισχύοντας παθολογικά πατέντα κινήσεων ή και συμπεριφορών .

Ως παρεμβολή ορίζουμε την ικανότητα της πλαστικότητας σε ένα δεδομένο νευρικό κύκλωμα, το οποίο εμποδίζει την επαγωγή νέου ή έκφραση ενός υπάρχοντος νευρικού δικτύου. Η παρεμβολή χαρακτηρίζει την αρνητική επίδραση της νευροπλαστικότητας ,διαταράσσοντας τη φυσιολογική διαδικασία της (επανεκπαίδευσης) μάθησης (Kleim & Jones,2008).

Η διαδικασία της εκμάθησης μπορεί να διευκολύνει ή καταστείλει νευρολογικά δίκτυα, με παροχή ή μη επεμβατικής διέγερσης στο φλοιό. Συγχρονίζοντας τις προπονήσεις με τη

διέγερση, αυξάνονται αποτελεσματικά η κινητική και η συμπεριφορική απόδοση, ενισχύοντας την πλαστικότητα κατά την προπόνηση, λόγω των επιπλέον ερεθισμάτων. Οι εμπειρίες που αποκτούνται έχουν αντίκτυπο στη αυξημένη πλαστικότητα του εγκεφάλου προς μία κατεύθυνση, επειδή γίνεται η σύνδεση της κινητικής εμπειρίας με συμπεριφορικά πρότυπα. Η διέγερση παρέχει επικουρική δράση κατά την προπόνηση και την απόκτηση νέας εμπειρίας. Πέραν την θεραπευτικής συνεδρίας, η διέγερση δεν βοηθά, διαταράσσοντας τη μάθηση και την συνολική απόδοση. Η νευροπλαστικότητα δεν διαμορφώνεται λειτουργικά μέσω εξωγενών ηλεκτρικών διεγέρσεων και δίχως τη συμπεριφορική εμπειρία.



Σχήμα 1: Συγκεντρωτικά Αρχές Νευροπλαστικότητας (Kleim & Jones, et al,2008)

### 2.1.1 Νευροπλαστικότητα και ΚΝΣ

Στο εγκεφαλικό στέλεχος συμπεριλαμβάνονται δομές της περιυδραγωγίσιμης φαιάς ουσίας, περιοχές του στελέχους και του προμήκη μυελού που συμμετέχουν στο κατιόν σύστημα του πόνου. Οι περιοχές αυτές είναι υπεύθυνες για την έκκριση ενδογενών οπιοειδών μέσω του Μεσολόβιου για τη ρύθμιση της μετάδοσης επιβλαβών ερεθισμάτων στο ραχιαίο κέρασ του νωτιαίου μυελού (Pelletier et al,2015). Τα συστήματα αυτά, επηρεάζονται σε χρόνιες παθολογίες. Η απορρύθμιση τους μπορεί να πυροδοτήσει μια επώδυνη κατάσταση, και σε άλλο επίπεδο του νωτιαίου μυελού (Arkarian et al, 2011). Οι νευρικές συνάψεις που αλλοιώνονται, επάγουν επώδυνα ερεθίσματα, δίχως παρουσία τραυματισμού στις δομές που έχουν πια ιαθεί (Arkarian et al, 2011). Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται σε όλες τις χρόνιες



μυοσκελετικές παθήσεις όπου μεταβάλλεται εκπτωτικά η ποσότητα της φαιάς ουσίας ,στο Μεσολόβιο και στον προμετωπιαίο φλοιό (Arkarian et al ,2011).

Στον εγκέφαλο ,οι νευροπλαστικές αλλαγές συμβαίνουν στις αισθητικοκινητικές περιοχές περιλαμβάνοντας τη μετάβαση και την προώθηση επώδυνων ερεθισμάτων στην κύρια κι δευτερεύουσα σωματοαισθητική φλοιώδη περιοχή καθώς και στη νησίδα (Iuamoto L et al,2022). Η νησίδα αποτελεί το σταυροδρόμι μεταξύ αισθητηριακής διάκρισης του νωτιαίου μυελού και συναισθημάτων (Εικόνα 12) που σχετίζονται με τον πόνο που αντιλαμβάνεται ο εγκέφαλος από τα οπίσθια κέρατα και επηρεάζει τα πρόσθια κινητικά τμήματα (Arkarian et al ,2011) . Κατ'αυτό τον τρόπο υφίστανται αλλαγές στην Κυρία Σωματοαισθητική περιοχή S1,S2 και στην Πρωτογενή Κινητική περιοχή .Επώδυνα Χρονιά αισθητηριακά ή κινητικά σύνδρομα οδηγούν σε συμπεριφορικές προσαρμογές που τροποποιούν τις φυσιολογικές διεργασίες ,επιδρώντας στην υποκειμενική αίσθηση του πόνου (Iuamoto L et al,2022) . Η νευρική δραστηριότητα αυξάνεται σε διαφορετικές περιοχές , κατόπιν τα σήματα προς τα φυσιολογικά δίκτυα αδρανοποιούνται και καταστέλλουν την συνδεσμική δράση των νεύρων που αφορούν στη μυϊκή απόδοση ,επαυξάνοντας έτσι την επικινδυνότητα του τραυματισμού (Hamed et al, 2022).



Εικόνα 12: Διαχείριση Επιπέδων Πόνου σε κεντρικό επίπεδο και τη συμμετοχή τους (π.Αμυγδαλής θάλαμος Νησίδα Πρόσθιος Κυκλικός Φλοιός/ACC)Wiley Online Library Neuromodulation Management of Chronic Neuropathic Pain in the Central Nervous System - Yu - 2020 - Advanced Functional Materials

Ο τραυματισμός δεν περιλαμβάνει μόνο αλλαγές στα βιολογικά συστήματα (Lucas K et al, 2021) (δηλαδή το μυοσκελετικό, το καρδιοαναπνευστικό ,το ενδοκρινικό ,το καλυπτήριο και το νευρικό σύστημα). Με βάση το ψυχοκοινωνικό μοντέλο του Engel ,ψυχολογικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες (όπως τα συναισθήματα , το περιβάλλον και κοινωνικά κριτήρια



που σχετίζονται με την κοινωνική αλληλεπίδραση ή την κουλτούρα), αλληλεπικαλύπτονται και την επιδρούν στην ψυχοσύνθεσή και βιολογία ενός τραυματία (Ballesteros et al. 2018). Γνωσιακές , Συναισθηματικές και Κινητικές περιοχές λαμβάνουν μέρος στην άνοδο και ρύθμιση του ερεθίσματος του πόνου μέσω του Εγκεφαλικού στελέχους και του Θαλάμου (Pelletier et al,2015). Συνάμα , συντελούν καταλυτικό ρόλο στην νευροπλαστικότητα και την ικανότητα μεταβολής των νευρικών συνάψεων, όπως εξίσου στον σωματικό φλοιό σε μακροπρόθεσμη βλάβη , ενεργοποιώντας μονοπάτια πόνου (Hamed et al, 2022 ),( Pelletier et al,2015) .

## **2.2 Νευροπλαστικότητα και Επώδυνη Εμπειρία**

Έχοντας ως βάση τις θεμελιώδεις αρχές της Νευροπλαστικότητας ,γίνεται αντιληπτή η κατανόηση της πολυπλοκότητας και της πολυδιάστατης φύσης της πλαστικότητας του εγκεφάλου. Εξαιτίας της αλληλεπίδρασης με διάφορα ερεθίσματα (αισθητικά, γνωστικά, συμπεριφορικά, κινητικά ), τα νευρικά δίκτυα τροποποιούνται λειτουργικά ,αλλάζοντας την ομοιότητα , επικοινωνία και την απάντηση του νευρικού συστήματος . Μεταβολές συμβαίνουν τόσο στις απαγωγές νευρικές ίνες (μυϊκές ίνες), έπειτα στα αντανακλαστικά, στις ακούσεις και εκούσιες κινήσεις οδηγώντας σε μία τροποποιημένη μηχανική των αρθρώσεων ,όταν συνυπάρχουν επώδυνα ερεθίσματα (Lucas K et al,2021) . Μία αλλοιωμένη επώδυνη πληροφορία ανάλογα με τη διάρκεια και την ένταση της οδηγεί σε αλλοιωμένη αισθητικοκινητική επεξεργασία και μεταβολές στον φλοιό του εγκεφάλου (Hamed et al, 2022) .

Περιοχές ρύθμισης αντιλαμβανόμενης έντασης του πόνου, και συνάμα νευροπλαστικών αλλαγών υπάρχουν : σε επίπεδο ΠΝΣ, στο νωτιαίο μυελό , στο εγκεφαλικό στέλεχος ,στη Περιωδραγωγίμη φαιά ουσία, στις αισθητικοκινητικές - συνειρμικές περιοχές και στη προμετωπιαία περιοχή φλοιού του εγκεφάλου (Arkarian et al ,2011) .

### **2.2.1 Τραυματισμοί , ΠΝΣ και Νευροπλαστικότητα**

Οποιοσδήποτε τραυματισμός της περιφέρειας έχει σαν αποτέλεσμα την αγωγή ερεθισμάτων πόνου στο κεντρικό νευρικό σύστημα ,για την κατάλληλη αναχαίτιση των κινήσεων και έναρξη επούλωσης της περιοχής της περιφέρειας (Pelletier et al,2015) .Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιούνται νευροφυσιολογικές αλλαγές στους υποδοχείς της περιφέρειας και στο οπίσθιο κέρασ του νωτιαίου μυελού. Σε επίπεδο νωτιαίου μυελού και περιφερικού νευρικού συστήματος ,παθολογικά υπάρχουν μεγάλα ελλείμματα στα φυσιολογικά τενόντια

αντανακλαστικά (αντανακλαστικά Hoffman) , τροποποιώντας τον ουδό ερεθισμού πόνου (Lucas K et al,2021), αναστέλλοντας ,με τη μειωμένη κίνηση, τα ιδιοδεκτικά ερεθίσματα και τον έλεγχο της ισορροπίας (Hamed et al, 2022).

Κατά αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ευαισθησία στα άλγο-ερεθίσματα λόγω των προσβεβλημένων δομών και την αλλαγή του εύρους ευαισθησίας του πόνου στην περιοχή (Pelletier et al,2015),(Hamed et al, 2022) .Σε αυτό το σημείο αναφερόμαστε σε μία νευροφυσιολογική απάντηση του νευρικού συστήματος σε επικίνδυνα ερεθίσματα: **στο φαινόμενο της Περιφερειακής και της Κεντρικής Ευαισθητοποίησης** (Pelletier et al,2015) .

Η Περιφερική ευαισθητοποίηση σχετίζεται με την αύξηση της ευαισθητοποίησης και την αυξημένη ανταπόκριση των περιφερικών υποδοχέων σε επώδυνα ερεθίσματα μέσω της μείωσης του ουδού ερεθισμού τους (Pelletier et al,2015). Η Κεντρική ευαισθητοποίηση έπεται της περιφερικής ευαισθητοποίησης και αφορά αλλαγές στο επίπεδο νωτιαίου μυελού καθώς αυξάνει τη μεταβίβαση άλγους προς το κεντρικό νευρικό σύστημα ως μία φυσιολογική διαδικασία προς αποφυγή επάνω τραυματισμού των ήδη πληγέντων δομών (Pelletier et al,2015) .Η νευροπλαστικότητα σε έναν τραυματισμό δρά για τη προστασία των ευάλωτων-τραυματισμένων δομών επάγοντας επώδυνα ερεθίσματα ,τα οποία εμποδίζουν την κίνηση έως το όριο του πόνου .Έχοντας μικρότερο εύρος κινήσεων ,οι τραυματισμένες δομές μπορούν να επουλωθούν ταχύτερα, χωρίς να παράγουν τοξικές ουσίες οι οποίες θα είχαν βλαπτική δράση στους γύρω ιστούς , παράγοντας επιπλέον φλεγμονώδεις παράγοντες.

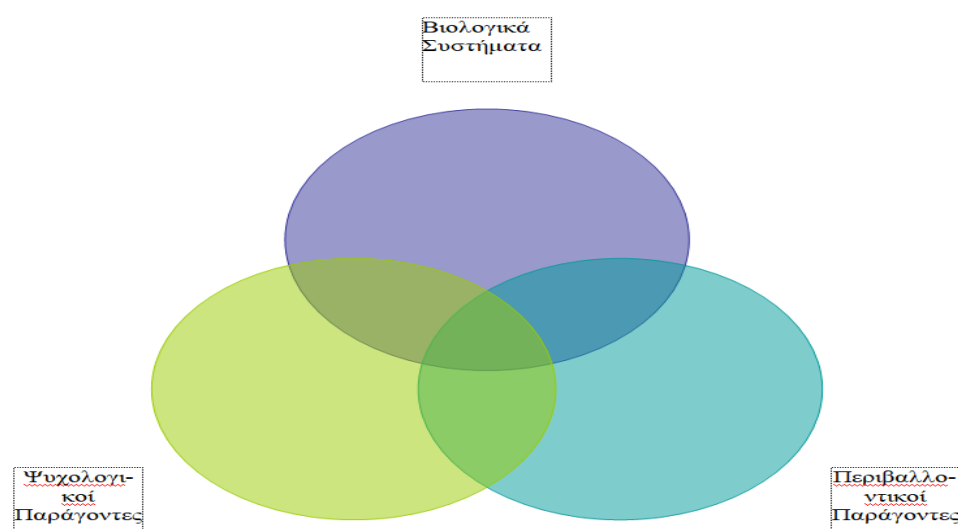
Η παροδική τροποποίηση των ερεθισμάτων γίνεται φυσιολογικά ,διαμέσου της διαδικασίας της νευροπλαστικότητας των αλγουποδοχέων και των οπισθίων κεράτων. Όμως η μη επιστροφή στα προηγούμενα επίπεδα αντίληψης , εκδηλώνει προβλήματα στη ρύθμιση του πόνου (υπεραλγησία, αλλοδυνία) (Arkarian et al ,2011) . Η επιμονή των επώδυνων ερεθισμάτων της περιφέρειας προάγει μεταβολές των συνάψεων σε δομές του μεσεγκεφάλου (Μεσολόβιο ,τον πρόσθιο φλοιό του περιβλήματος,την αμυγδαλή ) και του προμετωπιαίου φλοιό (Pelletier et al,2015). Συνοπτικά ,μια αισθητική διαταραχή που συμβαίνει σε επίπεδο νωτιαίου μυελού , επιδρά στα αιθουσαία ή και κινητικά ερεθίσματα που δέχεται ο φλοιός, έχοντας σαν συνέπεια σωματοαισθητικές ελλείψεις ,ελλείψεις στην ιδιοδεκτικότητα και την ισορροπία (Hamed et al, 2022) . Διαγνωστικά και θεραπευτικά μέσα παρέμβασης έχουν δημιουργηθεί για την υποβοήθηση της θεραπευτικής δράσης του οργανισμού. Έτσι μπορεί να γίνει εφικτή η κατάλληλη παρέμβαση του θεραπευτή τόσο σε επίπεδο πόνου όσο και νευροπλαστικών ελλειμμάτων με την χρήση των κατάλληλων φυσικοθεραπευτικών μέσων και εστίαση στο επιθυμητό σημείο επιτυγχάνοντας τα μέγιστα θεραπευτικά αποτελέσματα.

## 2.3 Εφαρμογές και Απεικονιστικές Μέθοδοι στη Νευροπλαστικότητα

Όλες οι αλλαγές που υφίστανται στο νευρικό σύστημα σε μια επώδυνη κατάσταση τροποποιούν την οργάνωση των νευρικών δικτύων κεντρικά και των κινητικών απαντήσεων. Η νευροπλαστικότητα είναι μια ιδιότητα μη ποσοτικά μετρήσιμη, αλλά η ύπαρξη και η διαφοροποίηση της μπορεί να αποτυπωθεί. Με την αρωγή σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης της δραστηριότητας του εγκεφάλου, των ηλεκτρικών σημάτων που δημιουργούνται από τους νευρώνες ή ακόμη και αιμοδυναμικών μεταβολών, αποτυπώνεται η λειτουργία του εγκεφάλου σε μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων (υπολογιστή) κάνοντας εφικτή τη θεραπευτική παρέμβαση (Marzbani H. Et al. ,2016). Η ανατροφοδότηση των λειτουργιών συμβαίνει χάρις τη Βιοανάδραση (Loriette et al ,2021), μια μέθοδος ανίχνευσης απαντήσεων του ΚΝΣ από τον ίδιο τον άνθρωπο μέσω τεχνολογικών μέσων.

### Μέθοδοι Αξιολόγησης

Σε οποιοδήποτε είδος τραυματισμού, βάση του μοντέλου του Engel (Ballesteros et al. 2018), το κεντρικό νευρικό σύστημα επηρεάζεται με αλλαγές στο σωματοαισθητικό, ψυχοκινητικό, στο γνωσιακό και στο νεύρο-ψυχολογικό συστημα, εφόσον οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι τόσο εξωγενείς όσο και ενδογενείς. Άρα, συνδυάζοντας μία γνωσιακή λειτουργία μαζί με κινητική εκμάθηση και οπτικοποίηση της γνώσης και της κίνησης επιτυγχάνουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα μέσω των αλληλεπικαλυπτόμενων εννοιών και της συνολικής αντιμετώπισης ενός τραυματισμού.



Σχήμα 2: Βιοψυχοκοινωνικό Μοντέλο Πόνου του Engel (Ballesteros et al. 2018)

Ποικίλα εργαλεία βοηθούν στην συνολική εκτίμηση της κατάστασης ενός ασθενή. Η λήψη ενός ιστορικού συνολικά θα πρέπει να καλύπτει απαραίτητα μέρη που αφαιρούν που

επιδρούν στη συμπεριφορική και συναισθηματική κατάσταση ενός ασθενή .Εκτίμηση των παραμέτρων, όπως είναι η ψυχική διάθεση, η ποιότητα των σκέψεων, η ποιότητα του ύπνου , πονοκέφαλοι , μυοσκελετικός πόνος (αίσθηση, υποκειμενική μέτρηση ποσότητας και ποιότητα πόνου), η φαρμακευτική αγωγή ,οι παράγοντες κινδύνου επανατραυματισμού ,προηγούμενο ατομικό κι οικογενειακό ιστορικό ,εμπλουτίζουν τη φαρέτρα των θεραπειών και συνυπολογιστικά δημιουργούν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του ατομικού προφίλ του ασθενή .Λαμβάνοντας έτσι καλύτερα την ιδιοσυγκρασία και την ιδιαιτερότητα του κάθε αθλούμενου υπόψη ,είναι δυνατόν να δημιουργήσει ένα κλίμα εμπιστοσύνης μεταξύ θεραπευτή και ασθενή , εξασφαλίζοντας έτσι μια καλύτερη συνεργασία και οργάνωση πλάνου θεραπείας και ένα μικρότερο ποσοστό αποτυχίας.

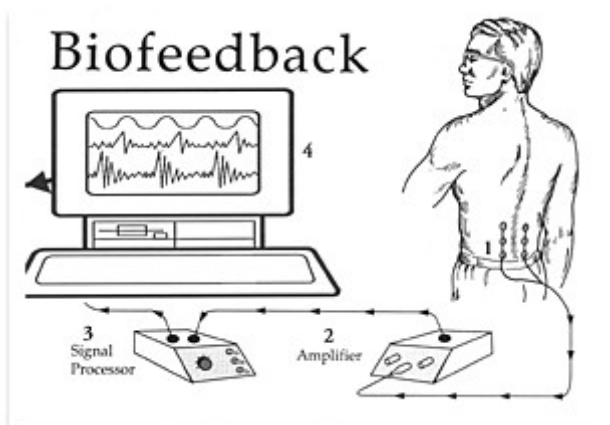
Υπάρχουν πάρα πολλές κλίμακες υποκειμενικής και αντικειμενικής αξιολόγησης οι οποίες μας βοηθούν καταλάβουμε τον ασθενή πολυπτυχα, και όχι μόνο την παθολογία εστιασμένα . Διάφορα τεστ ,απλουστευμένα εως και πιο σύνθετα , αξιολογούν την επίδραση του πόνου (VAS , WOMAC, Algometry, Κλίμακα Πόνου Wong-Baker ), την ποιότητα του ύπνου ( Chang et al, 2021)(Pittsburgh Sleep Quality Scale- PSQS) ,την ψυχική ευημερία (Health Related Quality of Life- HRQoL (Aliza K. Nedimyer et al, 2021) , Mindful Athletes Awareness Scale , Satisfaction with life scale- SWLS) ,την αυτοϊκανοποίηση-αυτοεκτίμηση (SESC- Self-efficacy for Self Control ) ( Kira L. et al, 2021), την ικανότητά να ανταπεξέλθει σε στρεσογόνες καταστάσεις (Stress & Adversity Inventory -STRAIN, State-Trait Anxiety Inventory -STAI ). Η αντικειμενική αξιολόγηση , τόσο της κακωσης όσο και της επίδρασης της στην υγεία του εκάστοτε ασθενή , παρέχονται από κλίμακες που σχετίζονται με παράγοντες της φυσικής κατάστασης, όπως είναι η κινητικότητα (BOT-2 (Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency-2) or MABC-2 (Movement Assessment Battery for Children-2)), η ισορροπίας (Berg Balance Test ) ,κλίμακες ευελιξίας (Agility Drill test, Shuttle Walk Test ),κλίμακες δύναμης (Grip Force) κλίμακες λειτουργικής ικανότητας (Functional Movement Screen -FMS , Mini BEST ). Συνδυαστικά με τα υποκειμενικά ευρήματα ,μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κλίμακες ψυχικής υγείας , (όπως η ACSI και Sport Inventory For Pain- SIFP-15 ), που σχετίζονται με την ψυχολογική κατάσταση του ασθενή και την και τον τρόπο που ανταπεξέρχεται στην ψυχολογική πίεση και εστιάζει στις ικανότητες διαχείρισης των επιπέδων του πόνου (Conder R et al ,2014).

Προς αποφυγή όλων των μελλοντικών τραυματισμών ,ή έστω τον περιορισμό τους, πρωταρχικό μέλημα περιλαμβάνει τη κατανόηση του προβλήματος και την σωστή αντιμετώπιση του. Η κατάλληλη εκπαίδευση μέσω ειδικών ενημερωτικών φυλλαδίων προς τον ασθενή και το πλησίον περιβάλλον του (την οικογένειά του ,τον προπονητή του ,τον

γιατρό-θεραπευτή )για την εστίαση και την πιθανή εντόπιση σημαντικών κλινικών συμπτωμάτων που δηλώνουν επιδείνωση της κατάστασης του (red flags) . Μέσω της ενημέρωσης μπορεί ακόμη να διευκρινιστούν τυχόν απορίες , να τεθούν οι κατάλληλες αυτο-παρεμβάσεις και όρια ασφαλείας που χαρακτηρίζουν τη φύση του κάθε τραυματισμού (Conder R et al ,2014). Έτσι εξασφαλίζεται η έμμεση άντληση πληροφοριών του ασθενή που συνδέονται με την αντίληψη του ως προς το πρόβλημα του πολύπτυχα, δίνοντας μας μια υποκειμενική άποψη της κατάστασης του. Διαγνωστικά και αντικειμενικά, η χρήση μέσων βιοανάδρασης είναι πλέον απαραίτητη για την αξιολόγηση του ασθενή, ακόμη και για θεραπευτικούς σκοπούς.

### 2.3.1 ΒΙΟΑΝΑΔΡΑΣΗ (Biofeedback , Bf)

Ως Βιοανάδραση ονομάζεται η ενισχυμένη παροχή ερεθισμάτων στον εγκέφαλο συνοδευόμενη από την απάντηση του εγκεφάλου. Πλέον έχουμε τη δυνατότητα παρατήρησης του τρόπου αποτύπωσης ενός ή πολλαπλών ερεθισμάτων στον εγκέφαλο και την μελέτη των επιμέρους στοιχείων, χάρις την ύπαρξη των ηλεκτρικών συστημάτων ανάλυσης.



Εικόνα 13: Βιοανάδραση The Behavioral Medicine Research and Training Foundation Introductory Information About Biofeedback and Psychophysiology and Biofeedback / Neurofeedback Equipment - The Behavioral Medicine Research and Training Foundation

Η ύπαρξη διαφορετικών τύπων συστημάτων βιοανάδρασης στις επιστήμες υγείας έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω εμβάθυνση και ανάλυση των φυσιολογικών αντιδράσεων του ανθρώπου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται πάνω από 50 έτη στον χώρο της αποκατάστασης για τη βελτίωση των κινητικών πατεντών και προτύπων κίνησης μετατραυματικά (Giggins et al , 2013) . Αρχικά χρησιμοποιούνταν σε νευρολογικά και νευροψυχιατρικά περιστατικά (με στατική χρήση στους μύες για τον στατικό έλεγχο ) , ενώ αργότερα αξιοποιήθηκε και στην αποκατάσταση μυοσκελετικών κακώσεων και παθήσεων στο κλάδο της φυσικοθεραπείας (Frank, Dana L et al. , 2010). Η κλινική χρήση της

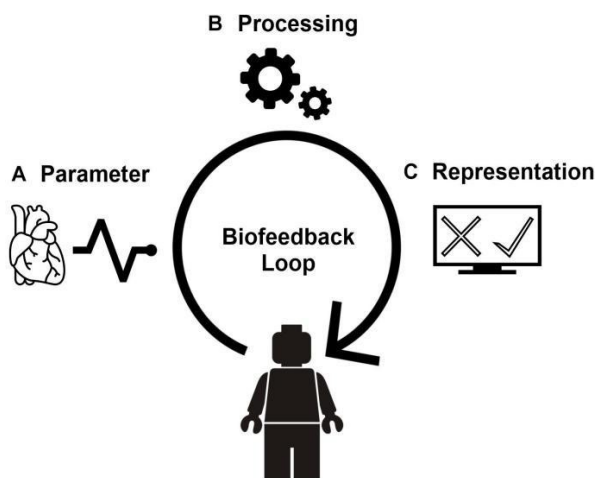
βιοανάδρασης λαμβάνει μέρος ως τεχνική αυτορρύθμισης των ακούσιων συστημάτων με εκούσιο έλεγχο (Frank, Dana L et al. , 2010). Η τεχνική αυτή συνδέει το σώμα και το νου με σκοπό την εξατομικευμένη εκμάθηση τροποποίησης των φυσιολογικών απαντήσεων στα εσωτερικά ή εξωτερικά ερεθίσματα (Εικόνα 13) . Απώτερος στόχος είναι η σωματική, νοητική ,συναισθηματική, πνευματική υγεία με τη διαχείριση των συμπτωμάτων του Αυτονόμου Νευρικού Συστήματος (Α.Ν.Σ.) και την Αυτογνωσία του Σώματος (Malik K. Et al, 2021). Συνδυαστικά, μειώνοντας τη συμπαθητική διέγερση σε αυτόνομες λειτουργίες , όπως η καρδιακή ή αναπνευστική συχνότητα είτε η θερμοκρασία του σώματος , υποβοηθούνται οι μηχανισμοί αυτορρύθμισης τους κι εκμάθησης νέων συμπεριφορών ,μέχρι και ρύθμιση του πόνου (Malik K. Et al, 2021). (Εικόνα14)

### **Κατηγορίες Συστημάτων Βιοανάδρασης**

Όλοι οι τύποι βιοανάδρασης παρέχουν έμμεσα πληροφορίες , από τα περιφερικά και τα κεντρικά όργανα του σώματος, τα οποία διαφοροποιούνται, επεξεργάζονται , κωδικοποιούνται και επιδρούν στην απάντηση του οργανισμού (κινητική , συμπεριφορική ,αυτόνομη) (Huang et al, 2006). Τα συστήματα Βιοανάδρασης κατηγοριοποιούνται σχετικά με το τύπο σήματος που χρησιμοποιούν ( υπέρηχοι , ηλεκτρικά - ηλεκτρομαγνητικά σήματα κλπ) ή με το σύστημα που παρακολουθούν. Δηλαδή χωρίζονται για μέτρηση παραμέτρων των Φυσιολογικών συστημάτων ή των Βιομηχανικών Συστημάτων (Malik K. et al, 2021). Στα Φυσιολογικά συστήματα ανήκουν το Νευρομυϊκό , το Αναπνευστικό και το Καρδιαγγειακό Σύστημα , ενώ στις μετρήσιμες παραμέτρους του Βιομηχανικού συστήματος ανήκουν ο έλεγχος της στάσης ,η μέτρηση των κινήσεων κι η Δύναμη (Giggins et al , 2013) .Οι πιο γνωστές συσκευές Θεραπευτικής παρέμβασης που χρησιμοποιούνται για τη Βιοανάδραση του Νευρομυϊκού Συστήματος αποτελούν :

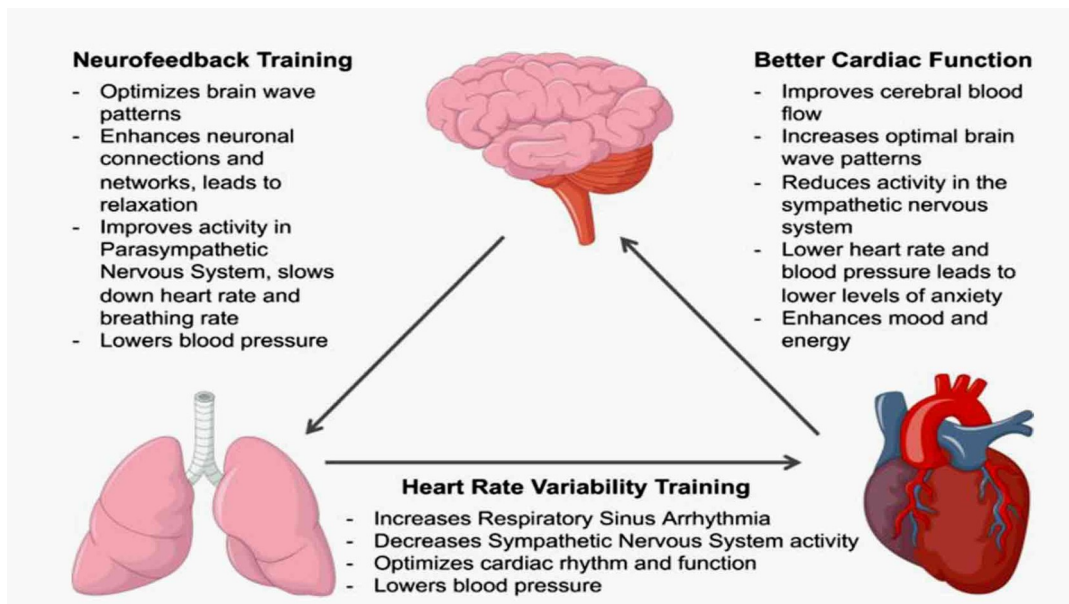
- Το ηλεκτρομυογράφημα (EMG): ανιχνεύει την μυϊκή τάση και δραστηριότητα με τη πάροδο του χρόνου
- Ο υπέρηχος (Real-Time UltraSound Imaging) δίνει ,σε πραγματικό χρόνο, τη δυνατότητα οπτικής ανάδρασης του μήκους κι σχήματος των μυών.
- Το Ηλεκτροκαρδιογράφημα (Heart Rate -variability Biofeedback ή το RSA-Respiratory Sinus Arrant) : το οποίο σχετίζεται με την διαφοροποίηση της καρδιακής συχνότητας , και επιπρόσθετα δίνει πληροφορίες όπως η αναπνευστική συχνότητα , η

αρτηριακή πίεση κι ο κορεσμός του οξυγόνου και χρησιμοποιείται για τη βιοανάδραση του Καρδιαγγειακού και Αναπνευστικού Συστήματος . (Εικόνα 15)



Εικόνα 14 :Απλουστευμένο μοντέλο βιοανάδρασης (Ανάλυση- Επεξεργασίας –Απεικόνισης Βιολογικών Παραμέτρων)| Frontiers Frontiers Breathing Biofeedback for Police Officers in a Stressful Virtual Environment Challenges and Opportunities Psychology

- Για τη μελέτη του Βιομηχανικού Συστήματος εφαρμόζονται : ειδικοί αισθητήρες , Δυναμικές πλάκες, ηλεκτρογωνιόμετρα , βιοαντιδραστήρες πίεσης ,συστήματα με κάμερες τα οποία συνολικά παρέχουν διαφορετικά βιομηχανικά ερεθίσματα από μια συσκευή (Giggins et al , 2013).  
Άλλες συμπληρωματικές μορφές Βιοανάδρασης αποτελούν:
- Η Θερμό-ανάδραση (Termo-biofeedback): αλλαγές θερμοκρασίας με τη πάροδο του χρόνου
- το Εγκεφαλογράφημα (EEG): το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για την μελέτη δραστηριότητας του Εγκεφάλου και της Νευροπλαστικότητας .
- Ηλεκτροδερμικό -feedback: Το οποίο δείχνει τις μεταβολές των αισθητικών πληροφοριών που δέχεται μια περιοχή της περιφέρειας, σε πραγματικό χρόνο.

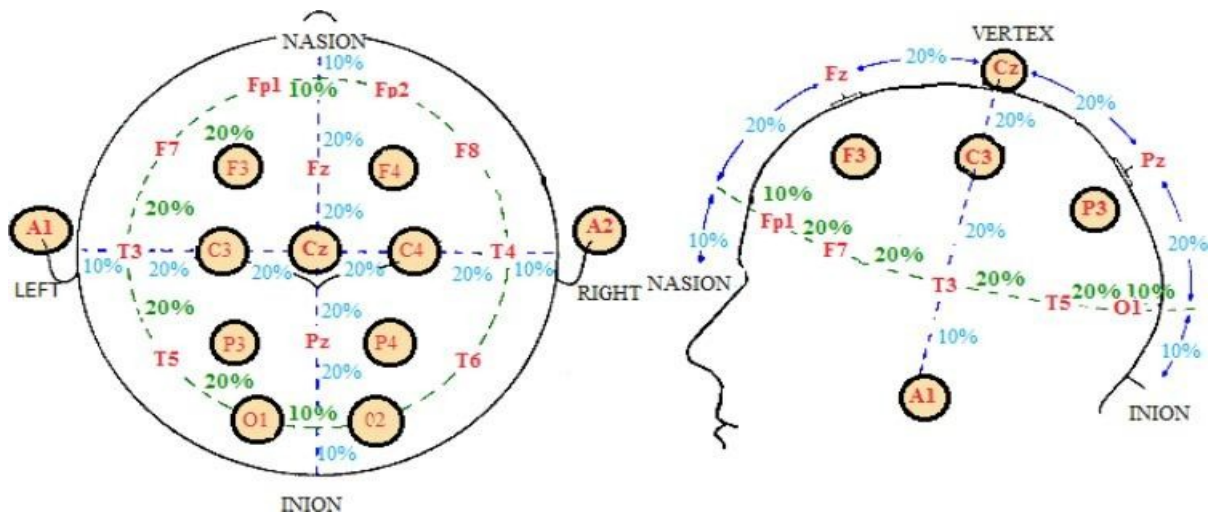


Εικόνα 15: Συστήματα Επίδρασης τα Βιοανάδρασης Εγκέφαλος – Καρδιο-Αναπνευστικό Σύστημα | Biofeedback & Neurofeedback Therapy Therapeutic Biofeedback, Modalities and Sphere of Use Biofeedback-modules-relationship-1

### 2.3.2 ΝΕΥΡΟΒΙΟΑΝΑΔΡΑΣΗ (Neurobiofeedback)

Η νευροπλαστικότητα αποκλειστικά του εγκεφάλου έχει μελετηθεί με εξειδικευμένες μεθόδους βιοανάδρασης, γνωστή ως νευροβιοανάδραση (neurofeedback / NFB). Το βασικότερο εργαλείο μελέτης της εγκεφαλικής δραστηριότητας αποτελεί το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG). Η διαδικασία της νευροβιοανάδρασης, είχε αρχικά διαγνωστική διάσταση στην νευροπλαστική ιδιότητα του ΚΝΣ, ενώ αργότερα αξιοποιήθηκε και ως θεραπευτικό μέσο. Όπως στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, τοποθετούνται 2 ή περισσότερα ηλεκτρόδια στην περιοχή του κρανίου επιδερμικά, πάνω από τους Εγκεφαλικούς λοβούς που αντιστοιχούν (Εικόνα 16). Μπορεί να είναι σε μορφή αυτοκόλλητων ηλεκτροδίων ή ενσωματωμένα σε συσκευή που περικλείει το κρανίο (κράνος). Ο εγκέφαλος ανάλογα με το επίπεδο εγρήγορσης το οποίο βρίσκεται και τη δραστηριότητα που επιτελεί, λειτουργεί με μία συγκεκριμένη συχνότητα ή έναν συνδυασμό αυτών. Τα ηλεκτρόδια παρέχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης των διαφορετικών συχνοτήτων του εγκεφάλου (Marzbani H. Et al., 2016).





Εικόνα 16 : Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων στο κρανίο και αντιστοίχιση σε περιοχές εγκεφάλου- The 10–20 electrode placement system and the name of the skull regions. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/figure/F1/>

Συνολικά ,οι συχνότητες λειτουργίας του εγκεφάλου είναι 5 (*delta* , *theta* , *alpha* , *beta* ,*gamma*) (Marzbani H. Et al. ,2016):

- Delta frequency (< 4Hz) : συναντάται σε χαλαρή κατάσταση όπου επάγονται διαδικασίες επιδιόρθωσης και επούλωσης(κατάσταση ύπνου) ενώ συμμετέχει μερικώς στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων παράλληλα με άλλες συχνότητες.
- Theta frequency (4-8 Hz): χαρακτηρίζει μια κατάσταση μερικής αυτή επαγρύπνησης ,μεταξύ φάσης ύπνου –ξύπνιου, χαρακτηριζόμενη από μεγάλη φαντασία , δημιουργικότητα ή καταστάσεις υπερβολικού άγχους κατάθλιψης και διάσπαση προσοχής.
- Alpha frequency: χαρακτηρίζεται η κατάσταση την οποία κάποιος είναι σε μερική εγρήγορση (νοητική λειτουργία) ενώ βρίσκεται χαλαρός ( χωρίς τάση σε κινητικές λειτουργίες) βρίσκεται σε εγρήγορση

Lower A (8-10 Hz): στη φάση αυτή μπορεί να ανακαλέσει πληροφορίες στη μνήμη του

Upper A (10-13 Hz): μπορεί να συγκρίνει ,να οπτικοποιεί πληροφορίες και να έχει τη βέλτιστη γνωσιακή απόδοση.

- Beta frequency (13-30 Hz): σωματικά και νοητικά τότε να βρίσκεται σε εγρήγορση
- Lower B (13-15 με 20 Hz) :σε αυτή την κατάσταση ο εγκέφαλος έχει τη δυνατότητα να σκεφτεί ,να συγκεντρωθεί και να διατηρήσει την προσοχή του ενώ οι μύες του βρίσκονται σε τάση. Η συχνότητα αυτή χαρακτηρίζει τον αισθητικοκινητικό ρυθμό ,και τη ρύθμισή του.
- Upper B (20-30 Hz): περιγράφει μία κατάσταση με μεγαλύτερη ένταση ,αυξημένης εγρήγορσης ή και άγχους .

- **Gamma frequency (30-100 Hz)** : παρατηρούνται υψηλότερες συχνότητες για την επίλυση προβλημάτων ,όπου ο μετωπιαίος λοβός εργάζεται κυρίαρχα.

Table 2.

Brain lobes with their functions and areas (Demos, 2005).

	Sites	Functions	Considerations
Parietal lobes	$P_2, P_3, P_4$	LH: Problem solving, math, complex grammar, attention, association RH: Spatial awareness, Geometry	Dyscalculia sense of direction learning disorders
Frontal lobes	$F_{P1}, F_{P2}, F_{P3}, F_{P4}, F_7, F_8$	LH: Working memory, concentration, Executive planning, positive emotions. RH: Episodic memory, social awareness Frontal poles: attention judgment	LH: Depression RH: Anxiety, fear, executive planning, poor executive functioning
Temporal lobes	$T_3, T_4, T_5, T_6$	LH: Word recognition, reading, language, memory RH: Object recognition, music, social cues Facial recognition	Anger, rage, dyslexia, long-term memory, closed head injury
Occipital lobes	$O_2, O_1, O_2$	Visual learning, reading, parietal- temporal-occipital functions	Learning disorders
Sensorimotor cortex	$C_2, C_3, C_4$	LH: Attention, mental processing, RH: Calmness, emotion, Empathy Combined: Fine motor skills, manual dexterity, sensory and motor integration and processing	Paralysis (stroke), seizure disorder, poor handwriting, ADHD symptoms
Cingulate gyrus	$F_{P2}, F_2, C_2, P_2, O_2$	Mental flexibility, cooperation, attention, motivation, morals	Obsessions, compulsions, tics, perfectionism, worry, ADHD symptoms, OCD & OCD spectrum
Broca's area	$F_7, T_3$	Verbal expression	Dyslexia, poor spelling, poor reading
Left hemisphere	All odd numbered sites	Logical sequencing, detail oriented, language abilities, word retrieval, fluency, reading, math, science, problem solving, verbal memory	Depression (underactivation)
Right hemisphere	All even numbered sites	Episodic memory encoding, social awareness, eye contact, music, humor, empathy, spatial awareness, art, insight, intuition, non-verbal memory, seeing the whole picture	Anxiety (overactivation)

Abbreviations: LH, Left hemisphere, RH: Right hemisphere, AHHD: Attention deficit hyperactivity disorder, OCD: Obsessive compulsive disorder.

Πίνακας 2 : Εγκεφαλικοί Λοβοί - λειτουργίες και περιοχές , από Demos 2005 , Marzbani H. Et al. ,2016 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892319/table/T2/?report=objectonly>

Συμπεριληπτικά, όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα τόσο πιο χαμηλό είναι το επίπεδο συνείδησης και πιο χαλαροί είναι οι ρυθμοί στους οποίους δουλεύει ο άνθρωπος, ενώ οι αυξημένες συχνότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του εγκεφάλου τόσο πιο περίπλοκες είναι οι νοητικές λειτουργίες τις οποίες εκτελεί ο εγκέφαλος (βλέπε Πίνακα2).

Στη σύγχρονη εποχή, με τα νέα επιστημονικά και τεχνολογικά δεδομένα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που αποσκοπούν στην εν τω βάθει μελέτη της δραστηριότητας του Εγκεφάλου . Οι μέθοδοι αυτές διαθέτουν διπλό ρόλο, διαγνωστικό ή και θεραπευτικό ,δίχως απαραίτητα να συμμετέχουν σε επεμβατικές χειρουργικές διαδικασίες. Ως μη επεμβατικές μέθοδοι ,για αυτό το σκοπό ,αναγνωρίζονται οι εξής :

- **Live Z-score NFB**: παρέχει συνεχή σύγκριση μεταβλητών ηλεκτρικής δραστηριότητας του Εγκεφάλου ενώ παράλληλα δίνει συστηματική βάση δεδομένων για συνεχή ανάδραση.
- **Ηλεκτρομαγνητική τομογραφία χαμηλής ανάλυσης (Low-resolution Electromagnetic tomography)**: Παρακολούθηση φάσης- ισχύος - συνοχής των ηλεκτρικών σημάτων με την χρήση 19 ηλεκτροδίων( ως προς τη θεραπεία ιδεοψυχαναγκασμών , εθισμών , κατάθλιψης).

- Λειτουργική μαγνητική Τομογραφία (fMRI): Απεικόνιση των εγκεφαλικών δομών με υψηλή ακρίβεια, σε ζωντανό χρόνο. Θεραπευτικά μπορεί να συμβάλει στη ρύθμιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας, από εν τω βάθει περιοχές του εγκεφάλου, με βάση τη βιοανάδραση (Loriette et al ,2021).

- Αιματοεγκεφαλογράφημα (HEG): Παρέχει πληροφορίες για την Εγκεφαλική Κυκλοφορία του αίματος (Loriette et al ,2021).

Κατ' αυτόν τον τρόπο ,μπορούν να συμβούν αλλαγές μέσω ηλεκτρικών εξωγενών ή ενδογενών σημάτων στον εγκέφαλο , που απεικονίζονται στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Από κάθε συχνότητα έχουν δημιουργηθεί πρωτόκολλα άσκησης θεραπείας , με χρήση εξωγενών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων , ενός μήκους συχνοτήτων ή συνδυασμού τους (Hamed et al, 2022) .Οι θεραπευτικές ,μη-επεμβατικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τα εξής:

- Νευροβιοανάδραση Συχνότητας/Ισχύος (Frequency/Power Nfb) :Αλλαγή εύρους ή ταχύτητας των εγκεφαλικών κυμάτων σε εστιασμένες περιοχές του φλοιού με χρήση 2 έως 4 επιφανειακών ηλεκτροδίων ( για θεραπεία Δ.Ε.Π.Υ ,αγχώδη διαταραχή ,αϋπνία ) (Yung et al, 2021).

- Αργή Βιοανάδραση φλοιού (SCP-NFB) : Βελτίωση κατεύθυνσης αργών κυμάτων του φλοιού μέσω παροχής ηλεκτρικών σημάτων σε συγκεκριμένα εστιακά σημεία ,ως προς μια λειτουργική κατεύθυνση .Συνήθως χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις επιληψίας, ημικρανίας , Δ.Ε.Π.Υ . (Marzbani H. Et al. ,2016).

- Χαμηλής Ενέργειας σύστημα Νεύρο-Ανάδρασης (LENS) :Παροχή ηλεκτρομαγνητικού σήματος ,χαμηλού εύρους και συχνότητας , για αλλαγή εγκεφαλικών σημάτων , ενώ ο ασθενής βρίσκεται σε μη συναισθηματικά φορτισμένη κατάσταση με κλειστά μάτια .Χρήση αυτού του είδους νευροβιοανάδρασης παρατηρείται σε μετατραυματικές εγκεφαλικές κακώσεις , Δ.Ε.Π.Υ. ,αϋπνία ,ινομυαλγία , Σύνδρομο ανησυχών Κατω Ακρων ,Αγχος , καταθλιψη θυμο.

Όλοι οι αναφερόμενοι τύποι νευροβιοανάδρασης έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την αντιμετώπιση νοητικών και ψυχοσωματικών κλινικών καταστάσεων (Malik K. Et al, 2021) (Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας-Δ.Ε.Π.Υ. , αυτισμός, χρόνιο

stress, Σ.Raynaud's) ως λειτουργική μέθοδος εκμάθησης ή σε ψυχολογική και ψυχοσωματική υποστήριξη στη ψυχοθεραπεία (Loriette et al ,2021) . Συγκρίνοντας τα διάφορα πρωτόκολλα και τα αποτελέσματά τους, αναφέρεται πως η δυνατότητα επίδρασης κι βελτίωσης κινητικής απόδοσης είναι εφικτή μέσω μιας συνδυαστικής θεραπείας των εγκεφαλικών συχνοτήτων . Συνδυάζοντας μία θεραπεία κυμάτων του φάσματος Βήτα και Θήτα, τα οποία συνδέονται με τα κύματα Άλφα, μπορούν να συμβάλουν στην έναρξη συμπεριφορικών προσαρμογών ,άρα και στην καλύτερη κινητική απάντηση. Επίσης ,μέσω ενός χαμηλού επιπέδου ερεθίσματος στον εγκέφαλο είναι δυνατόν να παρατηρηθεί καλύτερη απόδοση σε υψηλότερο επίπεδο ,αλλά δεν αποτελεί πανάκεια, και δεν συμβάλλει στη εξειδικευμένη λειτουργικότητα από μόνη της (Hamed et al, 2022).

Τα κέντρα του εγκεφάλου , όπως είναι γνωστό συνδέουν τα προσαγωγά ερεθίσματα με τη συμπεριφορική αντίδραση, και η συμπεριφορά συνδέεται άρρηκτα με τις απαγωγές ώσεις. (Loriette et al ,2021). Εξασφαλίζοντας ένα υγιές και ασφαλές ψυχικό περιβάλλον από τα πρώτα στάδια ενός τραυματισμού , μειώνεται σημαντικά ο παράγοντας της κινητικής δυσλειτουργικότητας και αναπηρίας. Ο συνδυασμός της θεραπείας NFB με τη μάθηση και τις γνωσιακές λειτουργίες ,κάνει δυνατή τη βέλτιστη Αντικατάσταση-Αποκατάσταση και βελτίωση των γνωστικών και σωματικών λειτουργιών (Loriette et al ,2021) . Μία συμπληρωματική μέθοδος που χρησιμοποιείται παράλληλα με ψυχοθεραπευτικές συνεδρίες νευροανάδρασης ,είναι η Συμπεριφορική θεραπεία (CBT ,Cognitive Behavioral Therapy ). Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά ωφέλιμη ,όμως ενέχει και ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό απόκλισης .Ωστόσο ,η ακριβής στόχευση των περιοχών του εγκεφάλου δεν είναι πάντα εφικτή (Ballesteros et al. 2018), και συνεπακόλουθα οι μη ωφελούμενοι συμμετέχοντες ακουμπούν το 1/3 (Loriette et al ,2021).

### **2.3.3 Μέθοδοι Θεραπευτικής Προσέγγισης**

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι θεραπευτικής προσέγγισης για την αντιμετώπιση και Πρόληψη των χρόνιων μυοσκελετικών παθήσεων (Pelletier et al,2015) : Η up-down (Ανάδρομη) και η (Ορθόδρομη) bottom- up

Up-down /Ανάδρομη παρέμβαση: Όπως προαναφέραμε η περιφέρεια επηρεάζει το κεντρικό νευρικό σύστημα, και σε ύστερο χρόνο το κεντρικό σύστημα επηρεάζει το περιφερικό. Η αισθητικότητα του άλγους μπορεί να τροποποιηθεί με τις 2 μεθόδους ,μέσω διαφορετικών επιδράσεων. Μέσω της Ανάδρομης παρέμβασης ,αξιοποιούνται τεχνικές που επιδρούν

απευθείας στο κεντρικό νευρικό σύστημα ,και με τα σειρά τους επιδρούν στα αισθητικά ερεθίσματα της περιφέρειας.

Οι πιο σύγχρονες μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν Γνωσιακές- Συμπεριφορικές μεθόδους θεραπείας (Cognitive-behavioral training ,CBT ), που ακολουθούν τον κλάδο της ψυχολογίας και νευροψυχολογίας ενώ εντάσσουν και μηχανήματα βιοανάδρασης και συμπεριφορικές τεχνικές μείωσης πόνου ώστε να γίνει η σωστή συμπεριφορική και κινητική μεταβολή τον φλοιό του εγκεφάλου. Η γνωσιακή-συμπεριφορική θεραπεία (CBT) έχει κεντρική επίδραση στην αίσθηση του πόνου ,ώστε εκούσια να γίνει προσπάθεια μεταβολής των ιδεών , πεποιθήσεων κι των σκέψεων που επάγουν της μη φυσιολογικής κινητικές συμπεριφορές. Αναστέλλοντας τις μη παραγωγικές συμπεριφορές , ευοδώνεται η επανασύνδεση υγιών νευρώνων και επιτυγχάνεται η αύξηση της λειτουργικότητας , μείωση του άγχους και της κατάθλιψης μείωση της αίσθησης του πόνου και αύξηση της αυτοϊκανοποίησης (Pelletier et al,2015) ενώ αποδεδειγμένα βελτιώνει σημαντικά τα φαινόμενα διαταραχών του ύπνου ,την καταστροφολογία και υπεργενίκευση των, συμπτωμάτων που υποδηλώνουν διαστρέβλωση των γνωσιακών ικανοτήτων του εγκεφάλου.

Επίσης μαθαίνοντας την επίγνωση –κι- αποδοχή (Acceptance of pain & Commitment Therapy /ACT) ,οι ασθενείς διδάσκονται την αποδοχή θετικών και αρνητικών συναισθημάτων και εμπειριών. Ως πρώτο βήμα για την επιτυχή up-down παρέμβαση αποτελεί η αναγνώριση μέσα από την επανοργάνωση της σκέψης κι του φλοιού ( reformulation) .Με την εκμάθηση της συγκεκριμένης Θεραπείας ,αναγνωρίζεται το παθολογικό πιστεύω-συμπεριφορά και στρατηγικές και έμμεσα με σταδιακή κινητοποίηση, γίνονται με σκοπό τις θετικές αλλαγές στα πρώιμα στάδια .Η προσωπική αντίληψη του πόνου σε συνδυασμό με νευροφυσιολογική εκπαίδευση του πόνου έχει άμεση επίδραση στο χρόνιο πόνο και στην συμπεριφορική βελτίωση. Εξίσου σημαντική είναι η συνειδητή μείωση των επιπέδων του στρες που αυτό επιτυγχάνεται ατομικά από τον εκάστοτε αθλητή μέσω του διαλογισμού της γιόγκα και της ανακούφισης διαφόρων τεχνικών ανακούφισης (Pelletier et al,2015) .

Οι φλοιώδεις, υποφλοιώδεις δομές και ο νωτιαίος μυελός επικοινωνούν με ισχυρές ενδοσυνδεσμικές συνάψεις και παρεμβαίνουν σε περιοχές όπως αισθητικοκινητικός φλοιός και το μεσολόβιο. Μειώνοντας το άγχος ,τον πόνο, το στρες ,την κατάθλιψη και προάγοντας την χαλάρωση πραγματοποιούνται αλλαγές στον προμετωπιαίο φλοιό και δομές και στο Μεσολόβιο και θαλάμου (Pelletier et al,2015). Όσον αφορά την παρέμβαση γίνεται διαβαθμισμένα ,με συνεχή επανάληψη με ένα ικανοποιητικό ποσοστό έντασης που αυτό

επάγει την θετική προσαρμοστικότητα. Μέθοδοι όπως το Νοερή Κινητική Άσκηση (moto imaginary ) σε διάφορες επώδυνες ή τρομακτικές-επίφοβες κινήσεις ή τροχιές, αυξάνει την απόδοση μέσω Φλοιωδών αλλαγών σε Μεσολόβιες περιοχές , βοηθάει στη σωματική απόδοση προάγοντας την θετική νευροπλαστικότητα. Μια άμεση μη επεμβατική φλοιώδη διέγερση TMS αναδιοργανώνει τον κύριο κινητικό φλοιό ,μειώνεται η αίσθηση του πόνου και βελτιώνεται η κινητική λειτουργία . Επίσης όταν στον κινητικό φλοιό εφαρμόζεται συγχρονισμένα κατά τη διάρκεια της προπόνησης , ενισχύει την απόκτηση κινητικών δεξιοτήτων, τις συναπτικές αποκρίσεις και αναδιοργανώνει τον κινητικού χάρτη στον εγκέφαλο. Παροδικά βελτιώνει την κινητική λειτουργία και ανακτά τη κινητικότητα (Kleim & Jones, et al,2008) .

Οι τεχνικές χαλάρωσης για την αυτό-ρύθμιση και αυτοϊκανοποίηση αμβλύνουν τα επίπεδα του οξέος/οξύ στρες, του πονοκέφαλου και την διέγερση του αυτόνομου νευρικού συστήματος (ΑΝΣ). Περιλαμβάνοντας αναπνευστικές ασκήσεις , ασκήσεις θετικής ενίσχυσης ανάδρασης ,νοερή άσκηση και ασκήσεις χαλάρωσης σε συνδυασμό με παρεμβάσεις βιοανάδρασης (βλέπε υποκεφάλαιο 2.3.1 ) βοηθούν τον ασθενή - αθλητή να έχει τον έλεγχο και να προσπαθεί να ρυθμίσει εκείνος κατά την άσκηση.

Bottom-up/ Ορθόδρομη παρέμβαση : Η Bottom-up παρέμβαση , δρα από την περιφέρεια στις κεντρικές δομές του νευρικού συστήματος. Μέσω ηλεκτρικού ερεθισμού στην περιφέρεια, αισθητικά ερεθίσματα στέλνονται σε όλη την πορεία του νευρικού συστήματος , έως κι την σωματοαισθητική περιοχή (Pelletier et al,2015) . Ερεθίσματα που στο κεντρικό σύστημα αντιλαμβάνονται με συχνότητα μικρότερη από 10 Hz και ένταση κοντά στο κινητικό κατώφλι ,αυξάνουν τη διέγερση του φλοιονωτιαίου δεματίου και βελτιώνουν την κινητική απόδοση.

Εφαρμογή του Διαδερμικού Ηλεκτρικού Ερεθισμού (TENS) καθημερινά για τρεις εβδομάδες αυξάνει την χαρτογράφηση των μελών των περιοχών το χάρτη του εγκεφάλου και την αντιπροσώπευση των μυών στην κινητική περιοχή (Ballesteros et al. 2018). Οι πλαστικές μεταβολές στην κινητική περιοχή απαιτούν ενεργητική συμμετοχή, προκειμένου να είναι οι παρεμβάσεις της κινητικής εκμάθησης ωφέλιμες (Kleim & Jones, et al,2008).Οπότε εφαρμογή μόνο TENS ή EMS δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα δίχως την ενεργητική επανάληψη.

Επικουρικά , η νευροβιοανάδραση συμβάλλει, μέσω παραγωγής υψηλότερων α κυμάτων και μείωση θ κυμάτων , στην καλύτερη κινητική απόδοση . Παρόλα αυτά ,χρειάζεται για κάθε

άθλημα μία συγκεκριμένη παρακολούθηση για τη διαμόρφωση ενός καλύτερου μοτίβου θεραπείας (γνωσιακής αποκατάστασης και διακρανιακής ηλεκτρικής διέγερσης). Όλες αυτές οι μέθοδοι είναι αποτελεσματικές παρόλα αυτά συνδυαστικά μεταξύ τους φέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα!

Έχοντας περίπου 20 με 40 συνεδρίες βιοανάδρασης μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα γίνονται μόνιμα μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό είναι και η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality ) σε συνδυασμό με την Νευροβιοανάδραση. Η νευροβιοανάδραση από μόνη της βοηθάει την οξύ φάση του πόνου και στον κεντρικό νευροπαθητικό πόνο (μείωση φαινομένου κεντρικής ευαισθητοποίησης) , ενώ η εικονική πραγματικότητα βοηθάει το οξύ φάσμα του πόνου .Συνδυάζοντας τις δύο μεθόδους , επάγεται αντιδραστικά αυξημένη έκκριση των β ενδορφινών, προάγοντας τη παυσίπονη δράση της ενδογενούς ορμόνης και την υγιή ανάρρωση του κεντρικού νευρικού συστήματος σε μια βλάβη. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι προσέγγισης βρίσκουν έδαφος σε πολλές διαφορετικές φάσεις μιας παθολογικής κατάστασης , και στην επιλογή θεραπευτικών στόχων.

### **2.3.4 Παρεμβασεις σε φάσεις Τραυματισμου & Θεραπευτικοί Στόχοι**

Η θεραπευτική παρέμβαση ,σε έναν οξύ τραυματισμό , αποκτά πολύ-συστηματική δράση. Ως πρωταρχικό στόχο , εστιάζουμε στην ελαχιστοποίηση της κεντρικής ευαισθητοποίησης του πόνου , θέτοντας ως προϋπόθεση την σωστή ακινητοποίηση και προφύλαξη του τραυματισμένου ιστού. Η διαδικασία αυτή είναι εφικτή μέσω εφαρμογής επικουρικών συσκευών ,πρωτοκόλλων και μεθόδων μείωσης πόνου, προκειμένου να αναχαιτιστεί η επώδυνη αίσθηση (Ballesteros et al. 2018) .

#### Στόχος 1 : Μείωση των επώδυνων ερεθισμάτων

Σημαντικό προς υπενθύμιση, η μυϊκή δυσλειτουργία και ο μειωμένος κινητικός έλεγχος παρατεταμένα δημιουργεί αντιρροπιστικές τεχνικές οι οποίες μπορεί στα αρχικά στάδια να βοηθούν στη προαγωγή τα επούλωσης, αλλά δεν συμβάλλει μακροπρόθεσμα. Οι συμμετρίες που κατείχε και θα έπρεπε να έχει το βιομηχανικό σύστημα του ανθρώπου απουσιάζουν εξαιτίας των ασύμμετρων στατικών , αλλά και δυναμικών προτύπων που έχει. Το γεγονός αυτό επιδρά αρνητικά στη σωματογνωσία , στη ταχεία επιστροφή στις αθλητικές

δραστηριότητες και στην ψυχολογική κατάσταση των ασθενών (Ballesteros et al. 2018). Συγκαταλέγοντας όλα τα παραπάνω ανάλογα με τη φύση του τραυματισμού και τη βαρύτητα αυξομειώνεται η πιθανότητα ανάπτυξης παθολογικών εμβιομηχανικών , λειτουργικών και βιο-ψυχοσυνθετικών προτύπων (π.χ. κινησιοφοβία).

### Στόχος 2 : Ευρος Τροχιάς

Εφόσον εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η προστασία της τραυματισμένης δομής , ύστερα από την οξεία φάση της φλεγμονής και ακινητοποίησης, ενδείκνυται στην παθητική κινητοποίηση για την ανάκτηση του εύρους τροχιάς. Σταδιακά, και εντός των ορίων του πόνου ή ελαφρώς πιο πάνω , το παθητικό εύρος αυξάνεται , ενώ προοδευτικά με την ενεργητική κινητοποίηση οι διατάσεις αυξάνουν σε εύρος ,ένταση και διάρκεια με ενεργητικές-υποβοηθούμενες και ενεργητικές διατάσεις. Με την ανάκτηση του εύρους και τον έλεγχο της κίνησης με μερική ενεργητική ενδυνάμωση σε όλη τη τροχία βαθμιαία ,εξασφαλίζεται η ανατροφοδότηση με ιδιοδεκτικά-ισορροπιστικά - αισθητηριακά ερεθίσματα στα αντιστοιχα αισθητικά κέντρα του φλοιού .

### Στοχος 3 : Μυϊκή Ενδυνάμωση κι Εξειδίκευση

Με τη επίτευξη της ανώδυνης παθητικής και ενεργητικής απόκτησης του εύρους κίνησης στην άρθρωση ,έπειτα η επικέντρωση γίνεται στην εξειδικευμένη λειτουργικότητα. Η περίοδος της ακινητοποίησης και της ελάχιστης μυϊκής επιβάρυνσης ,μειώνει τις νευροπλαστικές συνάψεις του Εγκεφαλικού φλοιού κι τον αριθμό των νευρομυϊκών συνάψεων (Lucas K et al,2021). Η χρήση επικουρικών συσκευών και μέσων υποβοήθησης της μυϊκής σύσπασης κατά την ενεργητική συστολή ,εντείνει τη πλαστικότητα και αυξάνει τη βελτίωση νευρομυϊκής συναρμογή ,της μυϊκής δύναμης . Ξεκινώντας από τις πιο απλές εφαρμογές ηλεκτροδιέγερσης των μυϊκών συστημάτων σε απλές μορφές των λειτουργικών ασκήσεων και προοδεύοντας στην εναλλασσόμενη και έκκεντρη άσκηση (Ballesteros et al. 2018).

Συνδυασμός Προπόνησης με περιφερική ή κεντρική διέγερση πιθανόν να συνδράμουν στα φαινόμενα μετάβασης προς λειτουργικά ωφέλιμη κατεύθυνση (Αρχή 9, Kleim & Jones, et al,2008 ). Επιτελώντας αυτά, συμβαίνει η υγιή επούλωση και ανάπτυξη των ιστών ,μειώνοντας τα επίπεδα άλγους, ανάπτυξης κινησιοφοβίας και Κεντρικής



ευαισθητοποίησης. Συνδυάζοντας μία γνωσιακή λειτουργία μαζί με κινητική εκμάθηση και οπτικοποίηση της γνώσης και της κίνησης επιτυγχάνουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα μέσω των αλληλεπικαλυπτόμενων εννοιών.

#### Στόχος 4 : Εξειδίκευση Ισορροπία Ιδιοδεκτικότητα

Προς τη βελτίωση της ισορροπίας, με την ενεργοποίηση του σωματοαισθητικού του συστήματος στον εγκέφαλο ,ειδικά σε συνδεσμικές βλάβες ,αυξάνουμε στατικά την επιβάρυνση φόρτιση ενός μέλους ,ενώ εάν θέλουμε να βελτιώσουμε την ιδιοδεκτικότητα ,εφαρμόζουμε δυναμικές δραστηριότητες μειώνοντας την επιβάρυνση και αυξάνοντας τα οπτικά ερεθίσματα (Lucas K et al,2021). Τα οπτικά ερεθίσματα, συμβάλλουν στην επανεκπαίδευση της ισορροπίας και σε δυναμικές καταστάσεις ,με τη προϋπόθεση να μην αναπαραχθούν επώδυνα ερεθίσματα σε αυξημένα επίπεδα, εξαιτίας της αυξανόμενης φλεγμονής στους ιστούς , που επιδεινώνει τον τραυματισμό (Ballesteros et al. 2018).

Με βάση τις μεταβολές που πραγματοποιούνται στο κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα η αερόβια άσκηση βοηθάει σημαντικά στην νευροπλαστικότητα καθώς επιδρά σε πολλαπλά επίπεδα του εγκεφάλου μειώνοντας στην γνωσιακή ανεπάρκεια και τον φόβο , προαγωγή αίσθησης ασφάλειας (Ballesteros et al. 2018).

Όσον αφορά την επιθετικότητα της θεραπευτικής προσέγγισης υπάρχουν τρεις εκδοχές:

- Άμεση έναρξη με επώδυνες κινήσεις για να αποφευχθούν οι πρώιμες δεις προσαρμοστικές αλλαγές είτε
- Άσκηση σε μη επώδυνο εύρος αλλά ενδεχομένως ανάπτυξη ύπαρξη αντιροπιστικών μεταβολών
- Σταδιοποιημένη νοερή (imaginary) άσκηση προτού και αφού ξεκινήσει η προοδευτικότητα σε κινήσεις που προκαλούν πόνο ή άγχος.

Αυτό εξαρτάται από τον ίδιο τον ασθενή οι συνθήκες και τα μέσα που έχει ο θεραπευτής και ο ίδιος ο ασθενής (Pelletier et al,2015).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Νευροπλαστικότητα και Αθλητικοί Τραυματισμοί

Έχοντας υπ όψιν τη φύση της νευροπλαστικότητας ,κατανοούμε τη μεγάλη διαφοροποίηση της ανάμεσα στους ανθρώπους. Κάθε άνθρωπος αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα, με διαφορετικό επίπεδο δραστηριότητας ,αντίληψης και νοημοσύνης .Το πόσο μεγάλη είναι η νευροπλαστική ικανότητα του εγκεφάλου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Η φυσική κατάσταση, η ψυχοσύνθεση , οι γνωσιακές ικανότητες συνιστούν 3 βασικούς παράγοντες ενώ δεν παραλείπονται και παράγοντες όπως το κοινωνικό περιβάλλον ,οι φυλετικοί-ορμονολογικοί παράγοντες ,προηγούμενοι τραυματισμοί και εμπειρίες που αποκτήθηκαν από την πρώιμη παιδική ηλικία και στην εφηβεία.

Στον χώρο του αθλητισμού παρατηρούνται τραυματισμοί με μεγαλύτερη επίπτωση στους άρρενες και παιδιά ηλικίας 5-14 χρόνων ,ενώ το 50% των τραυματισμών αυτών απαιτούν ιατρική περίθαλψη (Prieto-González P et al, 2021). Οξείς Μυοσκελετικοί τραυματισμοί συμβαίνουν συνήθως σε αθλήματα επαφής και αλμάτων κι τραυματισμοί υπέρχρησης παρατηρούνται κυρίως στο τρέξιμο και συμπεριλαμβανόμενες δραστηριότητες, οδηγώντας σε αποχή από την αθλητική δραστηριότητα ,για μια περίοδο λιγότερο από μία έως και πάνω από τρεις εβδομάδες (Maffulli N et al, 2005) (Patel et al,2017) .

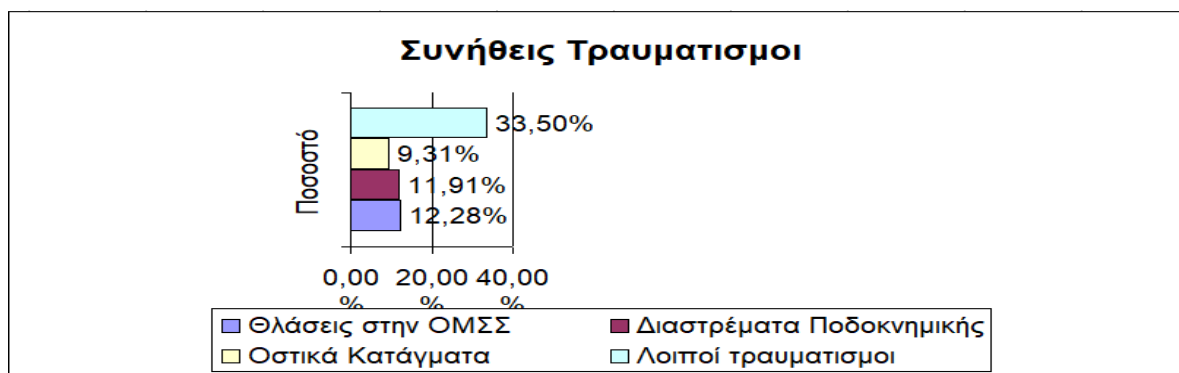
Οι τραυματισμοί ποικίλουν,από τους πιο απλούς έως και στους πιο σύνθετους . Μώλωπες, ήπια διαστρέμματα και τραυματισμοί αυξητικών πλακών συχνά παρατηρούνται σε παιδιά κάτω των 10 ετών . Οξύ επαναλαμβανόμενα κατάγματα μπορεί να συμβούν στις ηλικίες των 10 με 13 ετών ,ενώ στην ηλικία των 14 με 18 που έχουμε την μέγιστη παραγωγή ορμονών και σωματική ανάπτυξη έχουμε συνήθως τραυματισμούς συνδέσμων (Patel et al,2017) . Αίτια των τραυματισμών αυτών θα μπορούσε να αποδοθεί στα αναπτυσσόμενα σώματα των νέων που έχουν μειωμένες νευρομυϊκές συνάψεις και μικρότερη ικανότητα αντίληψης (οπτικοκινητική αντίληψη του περιβάλλοντος και Νευρομυϊκός συντονισμός). Οι άρρενες μεγαλύτερης ηλικίας εκτίθενται σε μεγαλύτερα φορτία ,και λόγω της φυσιολογίας τους έχουν μεγαλύτερη τάση στους μυοσκελετικούς οξείς κι χόνδρινους τραυματισμούς ενώ τραυματισμοί των μαλακών μορίων και υπέρχρησης οφείλονται σε χαμηλή νευρομυϊκή συνέργεια. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να οφείλεται σε πτωχή ενεργοποίηση των νευρικών δικτύων του εγκεφάλου ή και μειωμένη ικανότητα ενεργοποίησης της νευρομυϊκής σύναψης στη περιφέρεια. Στο γυναικείο πληθυσμό οι τραυματισμοί μπορούν να αποδοθούν στην

ορμονολογική φυσιολογία του γυναικείου οργανισμού, στο φτωχό νευρομυϊκό συντονισμό και αυξημένη αντιρροπιστική ικανότητα των φορτίων σε άλλες αρθρώσεις εγκαθιστώντας ευκολότερα παθολογικά αντιρροπιστικά πατέντα κινήσεων και προτύπων (Πίνακας 3).

Δε μπορεί να εξακριβωθεί το ποσοστό της νευροπλαστικότητας ανάμεσα στα δυο φύλα , αλλά θα ήταν δυνατόν να ειπωθεί ότι εξαιτίας της μεγαλύτερης περιόδου της ανάπτυξης τους, οι άντρες μπορούν να αναπτύξουν μεγαλύτερα ποσοστά νευροπλαστικότητας που αφορούν την μυϊκή απόδοση και την εξειδίκευση των κινήσεων τους ,ενώ αντίστοιχα οι γυναίκες μπορούν να σχηματίσουν ισχυρότερα νευρικά δίκτυα και να αναπτύξουν ευκολότερα αντιρροπιστικές προσαρμογές . Οι γυναίκες αντιμετωπίζουν περισσότερους τραυματισμούς υπέρχρησης, τραυματισμούς στα κάτω άκρα και στη σπονδυλική στήλη, με μεγαλύτερη πιθανότητα απόκτησης σύνδρομο του Επιγονατιδομηριαίου πόνου. Αντιθέτως ,οι άντρες έχουν μεγαλύτερη επιρρέπεια στους οξείς τραυματισμούς ,τραυματισμούς Άνω άκρων κι αυξημένο κίνδυνο για κατάγματα και οστεοχονδρίτιδα στο γόνατο. Επίσης, δε λείπουν τραυματισμοί ,όπως οι θλάσεις των οσφυϊκών μυών, διάστρεμμα αστραγάλου και κατάγματα (Maffulli N et al) . (Γράφημα 1)

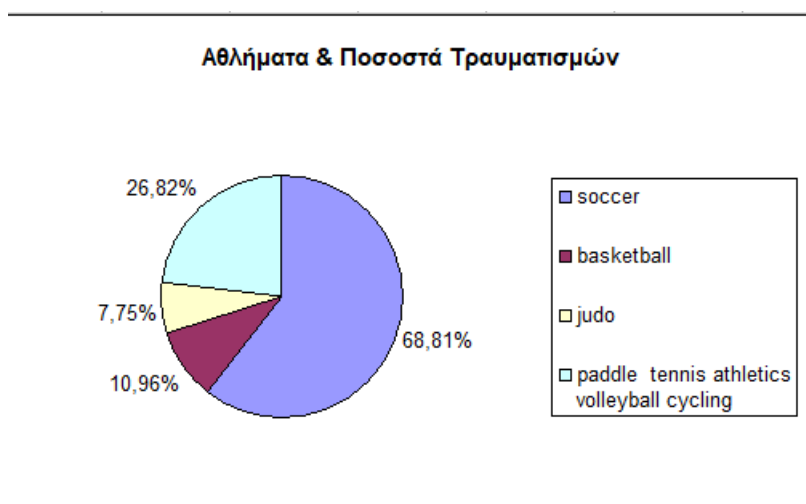
Ηλικία - Είδος - Συχνότερων Τραυματισμών						
Παιδιά <10 ετών	10-13	14-18	<19	Γυναίκες	v/s	Άνδρες
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ μώλωπες, ήπια διαστρέμματα και τραυματισμούς στις αυξητικές πλάκες</li> </ul>	οξεία επαναλαμβανόμενα κατάγματα (stress)	Τραυματισμοί Συνδετικού ιστού  Ligament injuries	Υπέρχρηση > οξυ τραυματισμοί  τραυματισμός Κ/Α & ΣΣ  Ισχίο/πυελος Τραυματισμοί υπέρχρησης κ μαλακών ιστών  Ρ(επιγονατιδομηριαίο πόνο στο γόνατο)	Υπέρχρηση < οξυ τραυματισμοί  Τραυματισμός Α/Α  Οξείς ή Οστικοί τραυματισμοί  Ρ(οστεοχονδρίτιδα & κατάγματα)		
						<p>Οι διαφορές μεταξύ των φύλων μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικά μοτίβα κίνησης, συμμετοχή στον αθλητισμό, φύση, αντοχή, φυσιογνωμολογικές και αντισωματικές - βιοχημικές διαφορές κλπ.</p>

Πίνακας 3: Συνήθεις τραυματισμοί και Ηλικιακές Κατηγορίες (Prieto-González, P et al,2021) <https://www.mdpi.com/1096014>



Γράφημα 1: Συχνότητα τραυματισμών στον αθλητισμό - Οι πιο συχνή και κοινή κακωση στις αθλητικές δραστηριότητες αφορά τις θλάσεις στην Οσφυϊκή Μοίρα της Σπονδυλικής Στήλης και στη συνέχεια των Διαστρεμμάτων και Καταγμάτων που είναι σε σχετικά μεγάλο ποσοστό δεδομένου της

Από τα 10 πιο συνήθη αθλήματα ,το ποδόσφαιρο ,το τζούντο και η καλαθοσφαίριση έχουν το μεγαλύτερο δείκτη τραυματισμών στον έφηβο πληθυσμό (Maffulli N et al, 2005) (Γράφημα 2). Αυτό αποδίδεται στην πολυπλοκότητα και στα αυξημένα φορτία που δέχονται οι αθλούμενοι σε μικρό χρονικό διάστημα .Η ίδια η φύση των αθλημάτων στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τέτοια που μπορεί η φύση της άσκηση και η σταδιοποίηση της έντασης να είναι μην είναι εφικτή και η απότομες αλλαγές της έντασης και της κατεύθυνσης των φορτίων να λαμβάνουν χώρα, δίχως προηγούμενη εμπειρία (Prieto-González P et al, 2021). Συνάμα η ανάπτυξη της νευροπλαστικότητας και η εγκατάσταση των ορθών κινητικών προτύπων δεν ολοκληρώνεται , έχοντας κινδύνους τραυματισμών και δυσλειτουργιών να ενέχονται. Η Μεγαλύτερη επιρρέπεια παρουσιάζεται σε τραυματισμούς οι οποίοι επηρεάζουν κατά 50% περίπου σε επαγγελματικό επίπεδο ενώ σε 40% σε ερασιτεχνικό επίπεδο [68,89% στο ποδόσφαιρο,10,90% στην καλαθοσφαίριση ,26,82% λοιπά αθλήματα(τένις πετοσφαίριση κλπ) και 7,75% στο τζούντο] (Krutsch, W. Et al, 2022).



Γράφημα 2: Ποσοστά Τραυματισμών και Αθλημάτων Σε Εφήβους(Prieto-González, P et al,2021)  
<https://www.mdpi.com/1096014>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Αθλητικοί τραυματισμοί και μέθοδοι θεραπευτικής προσέγγισης νευροπλαστικότητας

Η νευροπλαστικότητα συνοδεύει τόσο την φυσιολογική ανάπτυξη του ανθρώπου, όσο και τις νευροφυσιολογικές μεταβολές σε τραυματισμούς, παθολογικές και επουλωτικές (Kleim & Jones, et al,2008). Συνοπτικά, σε έναν τραυματισμό συμμετέχουν όλα τα συστήματα σε διαφορετικό βαθμό ανάλογα με το είδος του τραυματισμού, τη βαρύτητα και τη χρονική απόσταση από τον τραυματισμό (οξύ ή χρόνια) . Η νευροπλαστικότητα αφορά κυρίως το ΚΝΣ ,και έμμεσα το ΠΝΣ ,καθώς επηρεάζονται διάφορα σημεία-σταθμοί πού σχετίζονται με την αίσθηση και την υποκειμενική αντίληψη του πόνου.

Πολλοί παράγοντες ,σχετίζονται με την αύξηση των τραυματισμών στον Αθλητισμό, επαγγελματικού επιπέδου και μη. Περίπου το 60% των τραυματισμών συμβαίνει κατά την διάρκεια της αθλητικής προπόνησης ,ενώ μόλις 41% επέρχεται κατά την αγωνιστική περίοδο ή τη περί-αγωνιστική περίοδο. Σύμφωνα με πρόσφατα επιδημιολογικά δεδομένα, στο χώρο του αθλητισμού, τραυματισμοί του κορμού συνήθως επιβαρύνουν τη Σπονδυλική Στήλη (2,57%).Οι τραυματισμοί των Άνω άκρων (25,27%), συνήθως οφείλονται λόγω δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται πάνω από το επίπεδο της κεφαλής (με βαλλιστικό τρόπο ρίψεως) ,λόγω υπέρχρησης και δημιουργίας οξέων μικροτραυματισμών (Gimigliano F et al, 2021). (Γράφημα 3)

Το κάτω άκρο ,συγκριτικά με το άνω άκρο ,έχει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα τραυματισμού (68,3%) καθώς αποτελεί μέρος κατώτερης κινητικής αλυσίδας, χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα αθλήματα και δέχεται περισσότερες δυνάμεις . Πιο συχνά παρατηρείται σε αθλήματα αντοχής ( πχ. μαραθώνιο), αλλά και σε αθλήματα όπως η ποδοσφαίριση (Krutsch, W. Et al, 2022), η καλαθοσφαίριση, η χειροσφαίριση ,η αντισφαίριση κ.α. .



Γράφημα 3: Ποσοστά Τραυματισμών :Η πλειονότητα των τραυματισμών περιοχικά συμβαίνει στα Κάτω κι Άνω άκρα ,τον κορμό ,το κεφάλι και τον αυχένα(Prieto-González, P et al,2021)  
<https://www.mdpi.com/1096014>

Η πιο επιρρεπή άρθρωση σε τραυματισμούς ειδικά στους εφήβους αθλούμενους, είναι η Ποδοκνημική άρθρωση και στη συνέχεια ακολουθεί η άρθρωση του γόνατος που αφορά κυρίως τραυματισμούς του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου και του επιγονατιδικού συνδέσμου (Maffulli N et al, 2005). Παράγοντες όπως η φτωχή φυσική κατάσταση και προπονητικός σχεδιασμός (προετοιμασία ,το πλάνο προπόνησης, η κατάλληλη προθέρμανση ,η διάρκεια προπόνησης ) η μη σωστή λειτουργική αποκατάσταση και εκτέλεση δεξιοτήτων για την ηλικία και το άθλημα αποτελούν θεμελιώδεις παράγοντες τραυματισμών και επανατραυματισμών ειδικά στο κάτω άκρο και την άρθρωση του γόνατος (Prieto-González P et al, 2021) .

Με βάση τις πιο σύγχρονες τάσεις , η επιστήμη κλίνει προς την χρήση και αξιοποίηση ισορροπιστικών ασκήσεων από τα πρώιμα στάδια της αποκατάστασης. Από τις διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε ασθενείς ,έχει αποδειχθεί ότι η πολύ καλή ανάπτυξη των ισορροπιστικών αντιδράσεων και η συνεργασία των μυϊκών συστημάτων ως προς τη στατική και δυναμική ισορροπία ,υπό διαφορετικές γωνίες είναι ανάλογη με τον έλεγχο της άρθρωσης κατά τη κίνηση και τη καλύτερη σταθερότητα , σε βαθμό που να ανταπεξέλθουν σε δραστηριότητες ακόμα και με συντηρητική θεραπεία του ΠΧΣ.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πιο σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα μπορούμε να εμπλουτίσουμε τα προγράμματα αποκατάστασης με νέες μεθόδους. Η Νευροβιοανάδραση αποτελεί τις πιο καινοτόμες παρεμβάσεις που αρχίζουν να εντάσσονται στην αποκατάσταση από πολύ πρώιμα στάδια πλέον. Αξιοποιώντας τη Νευροβιοανάδραση σε οποιοδήποτε στάδιο θεραπείας μιας τέτοιας κάκωσης , συμβάλει στο θεραπευτικό έργο πολύπτυχα .

Η μέθοδος αυτή δύναται να συμβάλει τόσο στο ψυχολογικό όσο και στο σωματικό κομμάτι του ασθενή αυτού καθ ότι συνδράμει στην ορθότερη ανάπτυξη του μυοσκελετικού συστήματος ,με την ανάπτυξη υγιών κινήσεων ,σε ασφαλές εύρος και φόρτιση , και υγιούς συμπεριφοράς απέναντι στο τραυματισμό ως γεγονός, του άκρο και στην καθημερινές λειτουργίες του ασθενή. Στην εφαρμογή της μεθόδου υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές και συνδυασμοί . Για την βέλτιστη δυνατή αξιολόγηση της ψυχολογικής κατάστασης σε συνδυασμό με εκούσιες νοερές ή ενεργητικές κινήσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η Νευροβιοανάδραση μέσω εγκεφαλογραφήματος (EEG) σε συνδυασμό με προγράμματα εικονικής πραγματικότητας (VR- Virtual Reality) , Διακρανιακού Μαγνητικού Ερεθισμού (TMS) ή ακόμη Γνωσιακής Θεραπείας (CBT) .

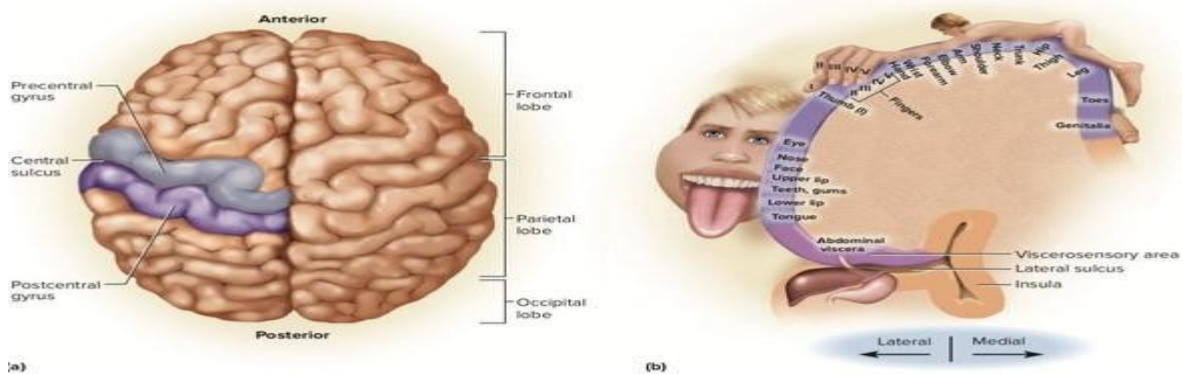
## ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

**Μελέτη Περίπτωσης: Η Επίδραση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality -VR ) στην Νευροπλαστικότητα του ΚΝΣ διαμέσου ΗΕΓ μετά την χειρουργική ανακατασκευή του Πρόσθιου Χιαστού Σύνδεσμου σε Έφηβο Αθλητή Ποδοσφαίρου.**

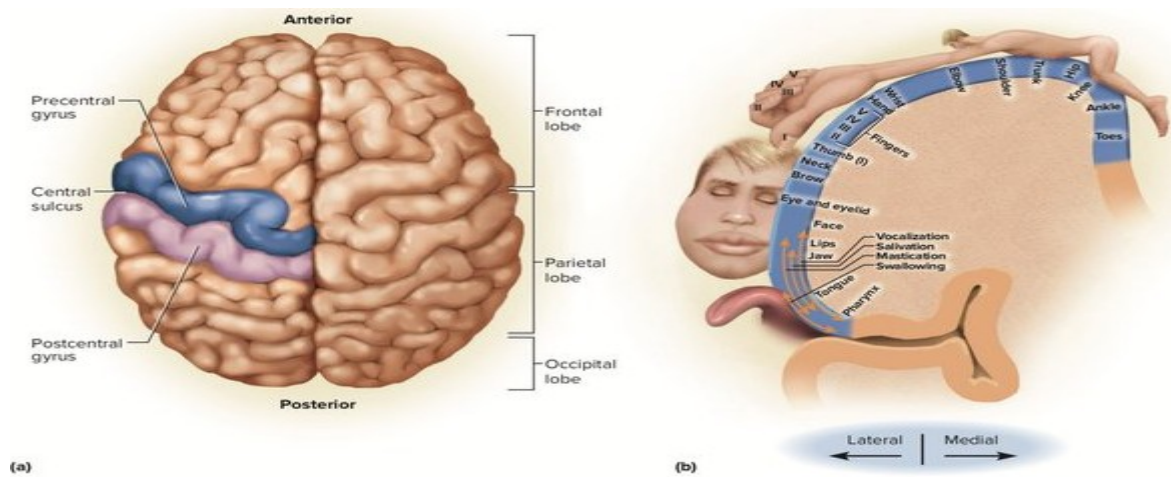
#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρθρωση του γόνατος είναι μία τροποποιημένη αξονική άρθρωση , η οποία υποστηρίζεται από μυϊκά και συνδεσμικά στοιχεία. Τα μαλακά μέρη, τα οποία δρουν προστατευτικά και σταθεροποιητικά στην άρθρωση είναι οι μηνίσκοι ,οι μύες και οι σύνδεσμοι . Οι μύες έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν την άρθρωση σε δυναμικές καταστάσεις ενώ στατικά οι υπόλοιπες δομές απορροφούν τα μεγαλύτερα ποσοστά των δυνάμεων που δέχεται το γόνατο για την παθητική σταθερότητα. Με βάση το ανεστραμμένο ανθρωπάριο ,τα αισθητικά ερεθίσματα που δέχεται ο εγκέφαλος από τα μαλακά μέρη της συγκεκριμένης άρθρωσης ,αποτυπώνονται στη περιοχή του βρεγματικού λοβού , πλησίον της κεντρικής αύλακας στον εγκέφαλο ,και αντίπλευρα του άκρου (Εικόνα 17). Τα κινητικά απαγωγά κέντρα (προγραμματισμού και έναρξης κίνησης ) εδράζονται στην αντίστοιχη περιοχή πρόσθια της κεντρικής αύλακας ,στον μετωπιαίο φλοιό, που ελέγχουν τους βασικούς εκτατικούς-καμπτικούς-στροφικούς μηχανισμούς κίνησης και ενεργητικής σταθεροποίησης (Εικόνα 18). Η άρθρωση ανθίσταται σε δυνάμεις ως προς πρόσθιοπίσθιες και πλάγιες παρεκκλίσεις μέσω δυναμικών μυϊκών συμπλεγμάτων ,αντιπλευρα εξίσου (Εικόνα 18) . Οι σύνδεσμοι ανθίστανται, με βάση τις ινώδεις κατευθύνσεις τους , στις ελκυστικές δυνάμεις . Ο πιο συχνός σε κάκωση ενδαρθρικός σύνδεσμος της άρθρωσης είναι ο Πρόσθιος χιαστός.

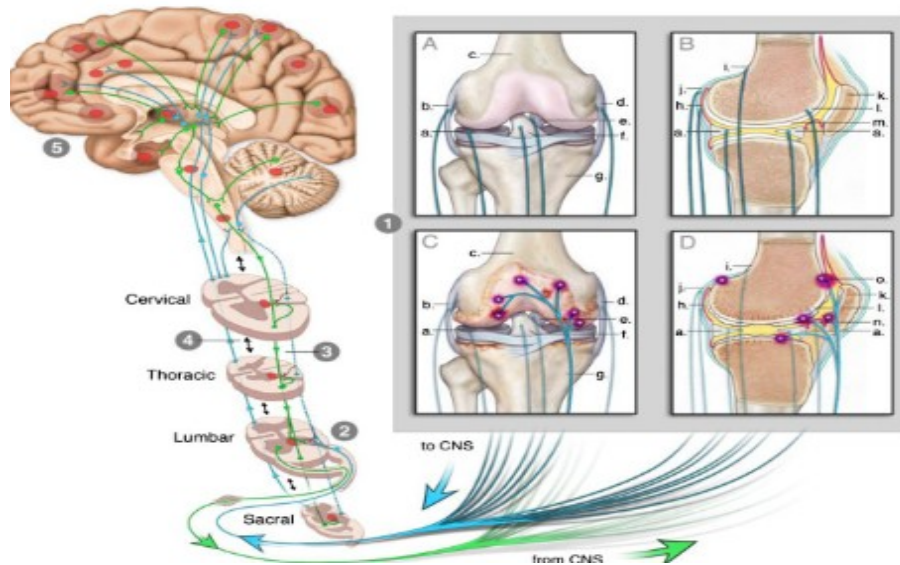


Εικόνα 17 : Αισθητικότητα μελών Σώματος- <https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg>





Εικόνα 18: Κέντρα Κινητικότητας Μελών Σώματος- <https://www.quora.com/Which-regions-in-a-person-s-brain-map-to-the-right-leg>

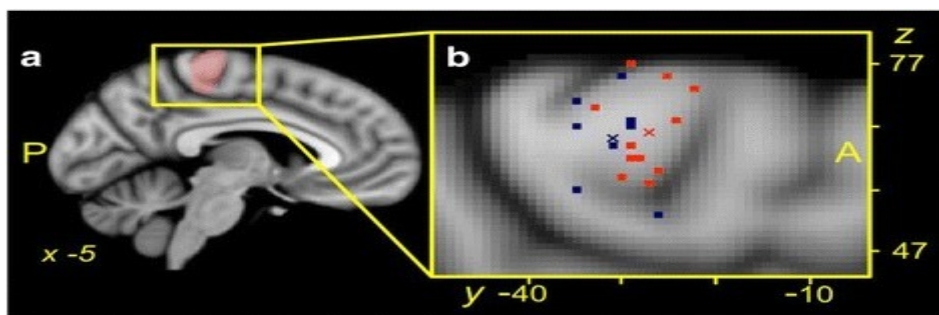


Εικόνα 19 : Αισθητικά επώδυνα ερεθίσματα που άγονται στο ΚΝΣ απο τα Θυλακοσυνδεσμικά-στοιχεία [https://www.researchgate.net/publication/12537548\\_Proposed\\_Practice\\_Guidelines\\_for\\_Nonoperative\\_Anterior\\_Cruciate\\_Ligament\\_Rehabilitation\\_of\\_Physically\\_Active\\_Individuals](https://www.researchgate.net/publication/12537548_Proposed_Practice_Guidelines_for_Nonoperative_Anterior_Cruciate_Ligament_Rehabilitation_of_Physically_Active_Individuals)

Ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος (ΠΧΣ) χαρακτηρίζεται ως ο κύριος σταθεροποιητής στην πρόσθια μετατόπιση και έσω στροφή της κνήμης επί του μηριαίου οστού .Ρήξη του συνδέσμου αυτού απαντάται συχνά στο ηλικιακό φάσμα των 20 - 40 ετών ,προκαλώντας εν συνεχεία πολλαπλά επεισόδια αστάθειας και κάκωσης των υπολοίπων συνδέσμων , μηνίσκων και του αρθρικού χόνδρου ,που δευτερογενώς οδηγούν σε διάφορες εκφυλιστικές παθήσεις της άρθρωσης. Πιο συχνά παρουσιάζονται σε αθλήματα όπως η καλαθοσφαίριση, το ποδόσφαιρο ,το πατινάζ, ο στίβος και άλλα παρεμφερή τα οποία απαιτούν εκρηκτικές και γρήγορες κινήσεις με αλλαγές κατεύθυνσης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα , επαγγελματικού και ερασιτεχνικού επιπέδου . Μεγαλύτερη επιρρέπεια τραυματισμού έχουν οι γυναίκες σε σχέση με τους άντρες ( 4~8♀ : 1♂) ,εξαιτίας φυλετικών και μη παραγόντων. Τραυματισμός ή κάκωση στις δομές αυτές συνεπάγεται με σοβαρή αστάθεια έως και



αναπηρία. Γνωρίζοντας την πορεία των αισθητικών ερεθισμάτων του πόνου και της κινητικότητας (βλέπε κεφάλαιο 2), η νευροπλαστικότητα των εγκεφαλικών περιοχών αυτών αναμένεται να αλλάξει σε τραυματικές καταστάσεις (Εικόνα 19). Απεικονιστικά κάτι τέτοιο αναπαρίσταται από διαφορετική δραστηριότητα των εγκεφαλικών κυμάτων σε αυτή και τα ερεθίσματα στον φλοιό του εγκεφάλου μέσω fMRI (Pelletier et al,2015).



Εικόνα 20: Εντοπισμός των περιοχών ενεργοποίησης στον κινητικό φλοιό, ποδοκνημικής και γόνατος σε αρθρωση με Οστεοαρθρίτιδα με fMRI. Location of peak motor cortex activation for knee and ankle task peak activations with fMRI - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494800/>

Παρατηρείται σε τραυματισμούς μια διάχυτη ενεργοποίηση των αισθητικών και κινητικών περιοχών (Εικόνα 20). Στις αισθητικές φλοιώδεις περιοχές υπάρχει προστατευτικά μικρότερη ανατροφοδότηση η οποία μειώνει την αντίστοιχη ενεργοποίηση των αισθητηριακών δικτύων του γόνατος. Αισθητηριακές λειτουργίες, όπως η ιδιοδεκτικότητα και η ισορροπία, αλλά και Κινητικές Λειτουργίες φθίνουν, λόγω της αναλγητικής μη-φόρτισης, χάνονται και το νευρικό δίκτυο της συγκεκριμένης περιοχής αραιώνεται (Αρχή 1, κεφάλαιο 2.1). Αντιρροπιστικά ενεργοποιούνται, για ενίσχυση ανάδρασης, αισθητικά ερεθίσματα από αισθητηριακές και νευρομυϊκές δομές περιαρθρικών δομών και γειτονικών αρθρώσεων (Άκρος Πόδας και Ισχίο) αυξάνοντας το εύρος ενεργοποίησης των πλησιέστερων νευρικών κυκλωμάτων (Αρχή 9, κεφάλαιο 2.1). Ως αποτέλεσμα των νευροπλαστικών προσαρμογών, αποτυπώνεται μια διάχυτη-μεγαλύτερη σε έκταση-φλοιώδη ενεργοποίηση, ασθενέστερου σήματος εξαιτίας της απώλειας των νευρικών δικτύων. Η νευροπλαστικότητα βρίσκεται στο μεταίχιμο και ενώ οι εγκεφαλικές συνάψεις έχουν αδρανοποιηθεί και αλλάζει τα νευρικά κυκλώματα προς μια προστατευτική τάση (βλέπε Αρχή 10 κεφαλαίου 2.1), η δημιουργία αρνητικών παραγόντων δεν αναχαιτίζεται. Επίσης, σε συνέχιση των νευρικών μεταβολών, οι φτωχές ισορροπιστικές ικανότητες ενισχύουν τα βλαπτικά ερεθίσματα στον εγκέφαλο, περιορίζουν τη λειτουργικότητα και έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση άγχους και κινησιοφοβίας (Pelletier et al,2015). Λογική απόρροια αυτού είναι η παρεμπόδιση του θεραπευτικού έργου και την αποτελεσματικότητα της φυσικοθεραπείας, σε όλα τα στάδια.

Η Αντιμετώπιση, για την σταθεροποίηση της άρθρωσης του γόνατος ύστερα από ρήξη ΠΧΣ, είναι χειρουργική ή συντηρητική. Καλύτερη σταθεροποίηση προσφέρει η

επεμβατική μέθοδος με μόνιμο τενοντα από άλλη σωματική περιοχή , οποία ενδείκνυται σε μικρές ηλικίες και επαγγελματίες αθλητές . Στο υποξυ μετεγχειρητικό στάδιο , τα οξέα συμπτώματα του πόνου και του οιδήματος βρίσκονται σε ύφεση και σταδιακά οι ιστοί επουλώνονται , προετοιμάζοντας τον εκάστοτε ασθενή για την ένταξη στο στάδιο μερικής προστασίας ,στο οποίο θα υποστηρίζει την τελική πορεία και ασφάλεια προς την ελάχιστη προστασία και τις ελεύθερες δραστηριότητες .Εξασφαλίζοντας την ομαλότερη μετάβαση σε πιο δυναμικές δραστηριότητες που ακολουθούν στο στάδιο Μέτριας Προστασίας ,θα πρέπει να έχει απαραίτητα να έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία το στάδιο της Υποξείας Φάσης.

## **5.2 Στόχος της Μελέτης Περίπτωσης**

Ο στόχος αυτής της πιλοτικής μελέτης θα αποσκοπεί στην επίδραση ενός προγράμματος Εικονικής Πραγματικότητας (VR) και των νευροπλαστικών προσαρμογών στα αντίστοιχα κέντρα απεικόνισης του ΚΝΣ διαμέσου του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) μετά τη χειρουργική ανακατασκευή του ΠΧΣ σε έφηβο αθλητή του ποδοσφαίρου.

## **5.3 Κλινική σημαντικότητα της Μελέτης**

Η σημαντικότητα αυτής της μελέτης περίπτωσης θα προσεγγίσει μια ηλικιακή κατηγορία που χαρακτηρίζεται από πολλές ορμονολογικές, αναπτυξιακές δυσκολίες και τραυματισμούς (Prieto-González P et al, 2021). Ρήξη του ΠΧΣ, δίχως την απαραίτητη φυσικοθεραπευτική προσέγγιση αυτού ,θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα και τη λειτουργικότητα τόσο της άρθρωσης και του αθλούμενου πληθυσμού, οδηγώντας σε διάφορες εκφυλιστικές παθήσεις. Επιτυγχάνοντας την ορθή και ομαλότερη μετάβαση σε πιο δυναμικές δραστηριότητες , εξασφαλίζεται η μετάβαση στις λειτουργικές και αθλητικές δραστηριότητες , χωρίς τον κίνδυνο επανατραυματισμού .Επιπρόσθετα η επιτυχία της παρέμβασης αυτής θα μπορούσε να δώσει έναυσμα για την αναθεώρηση και εμπλουτισμό των νέων μεθόδων προσέγγισης στα πρωτόκολλα Θεραπείας .Τηρουμένων των συνθηκών βιοηθικής , της συνεργασίας της διεπιστημονικής ομάδας ,της εχεμύθειας θα ήταν εφικτή με τις απαραίτητες προϋποθέσεις η πειραματική εφαρμογή των πρωτοκόλλων αυτών και η πραγματοποίηση μιας πιλοτικής έρευνας με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο θεραπείας. Συμβάλλοντας τελικά στον εκσυγχρονισμό των δεδομένων στον χώρο της υγείας , προάγοντας το ευ ζην σε όλους και την προσφορά της γνώσης στην επιστήμη .

## 5.4 ΜΕΘΟΔΟΣ

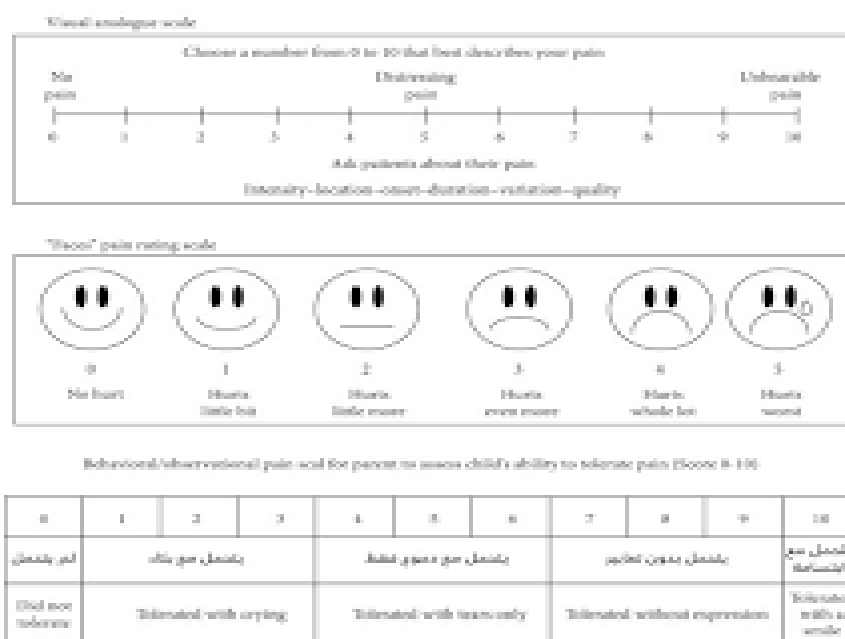
### 5.4.1 Δείγμα

Η Μελέτη περίπτωσης θα αφορά την αποκατάσταση ενός εφήβου , παίκτη ποδοσφαιρικής ομάδας επαγγελματικού επιπέδου, γένους άρρεν , ηλικίας 18 χρονών και φυσιολογικού BMI ( ύψος 180 cm και 76 κιλών) με τραυματισμό ρήξης ΠΧΣ του δεξιού κάτω άκρου . Η κάκωση αυτή προκλήθηκε από μηχανισμό κάκωσης σε κλειστή κινητική αλυσίδα κατά την περιαγωνιστική περίοδο, κατά τη διάρκεια της προπόνησης . Ο αθλητής θα υποστεί σε χειρουργική ανακατασκευή του ΠΧΣ με μόσχευμα του τένοντα του υμιτενοντώδη μύος , αντίπλευρα του πάσχοντος μέλους . Μετά το χειρουργείο θα εφαρμοστεί ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα μετεγχειρητικής φυσικοθεραπευτικής αποκατάστασης (Hewett TE et al) , όπου ο έφηβος θα χρειαστεί για μια χρονική περίοδο (τουλάχιστον 6-8 εβδομάδες ) να αποφύγει τις αθλητικές δραστηριότητες και να ενταχθεί σε πρόγραμμα μετεγχειρητικής αποκατάστασης . Κριτήρια αποκλεισμού θα αποτελούν πρόσφατος επανατραυματισμός ΠΧΣ , παράλληλη κάκωση ή κάταγμα άλλης περιοχής , τραυματισμός ιδίου άκρου , κρίση επιληψίας , υπέρμετρη μυωπία / υπερμετρωπία που απαιτεί χρήση γυαλιών ή και οπτικών βοηθημάτων , φωτοευαισθησία , ζάλη , ίλιγγο και εμφάνιση μετεγχειρητικών επιπλοκών έως και 2 εβδομάδες μετά . Εφόσον ακολουθήσει η πλήρης ενημέρωση ως προς τον έφηβο ασθενή ,τους γονείς ή τον υπεύθυνο κηδεμόνα καθώς και των ενεργών γιατρών του παιδιού για την συμμετοχή του στην πειραματική έρευνα . Βάση τις αρχές του Ελσίνκι ([WMA DECLARATION OF HELSINKI](#)) και των κωδικών βιοηθικής και δεοντολογίας στις επιστήμες υγείας ,δίνονται γραπτώς οι οδηγίες και φόρμες γραπτής συγκατάθεσης συμμετοχής στο ερευνητικό πιλοτικό πλάνο. Παράλληλα με το φυσικοθεραπευτικό πρωτόκολλο λειτουργικής αποκατάστασης το οποίο θα ακολουθεί μεταχειρουργικά ,θα παρακολουθήσει και ένα επικουρικό πρόγραμμα Εικονικής Πραγματικότητας (VR) το οποίο θα στοχεύει στην μείωση των πλαστικών αλλαγών στον φλοιο του εγκεφάλου όπου εντοπίζονται τα αντίστοιχα κέντρα.

### 5.4.2 Μέσα έκβασης

Συνολικά ,στη μέθοδο παρέμβασης θα βρίσκει χρήση η καινοτομία της εικονικής πραγματικότητας και ως μέσο για την αξιολόγηση του ασθενή θα χρησιμοποιείται το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEΓ) και η Αναλογική Κλίμακα Πόνου VAS (Εικόνα 21). Με την Αναλογική Κλίμακα Πόνου (VAS), θα γίνεται η υποκειμενική μέτρηση του πόνου πριν από κάθε παρέμβαση ως μέσον αξιολόγησης για τη μετάβαση από τη φάση αποκατάστασης στη φάση ελάχιστης προστασίας και αθλητικών δραστηριοτήτων .Έτσι θα εξασφαλιστεί η ασφαλή μετάβαση και θα συλλεχθούν στοιχεία τα οποία θα μελετούν έμεσσα τη ψυχολογική

επίδραση του τραυματισμού και κατά πόσο αυτό θα έχει επηρεάσει τη θεραπεία ως προς τον πόνο και την υποκειμενική ασφάλεια κίνησης του ασθενούς. Το ΗΕΓ χρησιμοποιείται ως εργαλείο απεικόνισης και αξιολόγησης των ηλεκτρικών σημάτων των κέντρων του εγκεφάλου. Με την βοήθεια 10- 20 μικρών αισθητήρων που εφαρμόζονται επιφανειακά της κεφαλής, καταγράφεται ,σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων ,η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου σε δυναμικές αλλά και σε καταστάσεις ηρεμίας. Η διαδικασία αυτή συνήθως διαρκεί από 1 με 3 ώρες αναλόγως, ώστε να παρέχει πληροφορίες δραστηριότητας των συχνοτήτων του εγκεφάλου για να εξακριβωθούν τα παθολογικά μοτίβα (Wang, F et al ,2016 ). Η αξιοπιστία της μεθόδου έχει διασταυρωθεί μέσω ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο διαγνωστικά όσο και θεραπευτικά, καθώς και με μεθόδους fMRI (Wang, F et al ,2016 ).



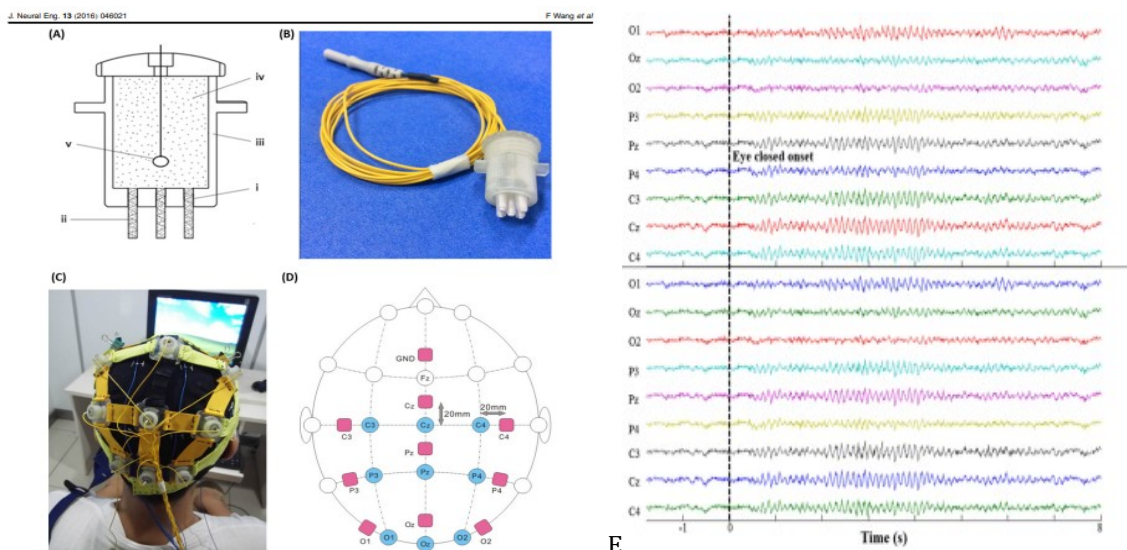
Εικόνα 21 : Οπτική Αναλογική Κλίμακα Πόνου -VAS

Για τη διαδικασία αξιολόγησης του ασθενούς μέσω ΗΕΓ θα προηγηθεί η κατάλληλη επιλογή μέσου -προγράμματος ανίχνευσης ηλεκτρικών κυμάτων του εγκεφάλου ,από τον ειδήμονα νευρολόγο ,καθώς και η προετοιμασία της περιοχής επαφής των αισθητήρων με το δέρμα .Υπάρχουν δύο τρόποι που μπορεί να γίνει η βέλτιστη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ,προτού ο ασθενής βάλει ένα κράνος με ιμάντες στο οποίο θα σταθεροποιούνται τα ηλεκτρόδια επί της κεφαλής (Wang, F et al ,2016 ) .Ο πρώτος τρόπος που εφαρμόστηκε ,με Υγρο-Νωπό Ηλεκτρόδιο (Wet-electrode), απαιτεί τη κατάλληλη προετοιμασία του τριχωτού της κεφαλής προκειμένου να αποφευχθούν οι παρεμβολές των τριχών και των νεκρών κυττάρων της κεφαλής στο ηλεκτρόδιο (Li et al, 2020). Με την κατάλληλη περιοχική αφαίρεση της κόμης (ξύρισμα και λείανση) στο επίπεδο των συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφάλου που αντιστοιχούν τα κέντρα ανίχνευσης στο ΗΕΓ ,ακολουθεί η επικάλυψη και η

συνεχή ανανέωση με τζελ ηλεκτρολυτών ,πριν ακουμπήσουν τα ηλεκτρόδια στο κεφάλι. Παρόλα αυτά , υπάρχουν πιο πρόσφατες μέθοδοι ,όπως με Ημι-υγρα/ Ημι-Νωπά Ηλεκτρόδια (semi-dry electrodes) η οποία πραγματοποιείται χωρίς αφαίρεση τριχών και λείανση της κεφαλής (Li et al, 2020)(Wang, F et al ,2016 ) .Με τη βοήθεια ενός μέσου υγρής γέλης ηλεκτρολυτών ,που ανανεώνεται αυτόματα, ο αισθητήρας έρχεται σε στενή επαφή με το σημείο της κεφαλής που επιλέγετε χάρις το κεραμικό κράνος στα οποία προσφύονται (Li et al, 2020). Δίχως να είναι τόσο επεμβατική μέθοδος φέρνει το ίδιο καλά αποτελέσματα όσο και αυτά της πρώτης μεθόδου με ελάχιστη απόκλιση (Wang, F et al ,2016 ) .Τη προετοιμασία και την επιλογή ηλεκτροδίων αναλαμβάνει ο θεράπων ειδικός νευρολόγος ,ο οποίος θα έχει εμπειρία τουλάχιστον άνω των δύο χρόνων στη διαγνωστική χρήση του ΗΕΓ σε μυοσκελετικά περιστατικά .Εκείνος θα χρειαστεί να τοποθετήσει για την καταγραφή των συχνοτήτων 20 ηλεκτρόδια σε 20 σημεία ,πάνω από τα οποία θα αντιστοιχουν κι τα κέντρα κίνησης και αισθητικότητας του κάτω άκρου αμφότερα .Έτσι θα καταγράφει η νευροπλαστική δραστηριότητα τόσο εστιακά όσο και στο σύνολο της (Wang, F et al ,2016 ) . (Εικόνα22)

Για το συγκεκριμένο περιστατικό θα γίνεται αξιολόγηση με τη καταγραφή των ηλεκτρικών συχνοτήτων του εγκεφάλου , και πιο συγκεκριμένα των κυμάτων  $\alpha$  ,  $\theta$  και του αισθητικό-κινητικού ρυθμού (SMR) της περιοχής του κάτω άκρου πριν και μετά την παρέμβαση , σε 2 φάσεις , τη πρώτη και την 6η εβδομάδα με το πέρας της θεραπευτικής παρέμβασης. Αυτό συμβαίνει διότι οι νευροπλαστικές μεταβολές είναι εμφανείς στο χρονικό αυτό πλαίσιο ,βάση των [Ballesteros et al. \(2018\)](#) και [Omejc N et al \(2019\)](#), και αποτυπώνεται από την ομαλοποίηση των κυμάτων  $\alpha$  , $\theta$  και SMR , που είναι δείκτες χαλάρωσης, πραγματοποίησης εξειδικευμένων λειτουργικών κινήσεων και γνωστικών ικανοτήτων συνδυαστικά με τη πραγματοποίηση κίνησης .Έτσι θα μπορούν να καταγραφούν , συγκριθούν και διαφοροποιηθούν τα ηλεκτρικά κύματα του φλοιού καθώς και να ποσοτικοποιηθούν οι

νευροπλαστικές αλλαγές μέσω ειδικών λογισμικών (Omejc N et al,2019).



Εικόνα 22: A,B Ηλεκτρόδιο Semi-wet και τοποθέτηση του με τη βοήθεια ενός κράνους C. με υμάντες στα D. χαρτογραφημένα σημεία του εγκεφαλου(Wang, F.et al ,2016 ).E. Συγκριση κυμάτων ΗΕΓ με ανοιχτα-κλειστα μάτια [https://www.researchgate.net/publication/304860955\\_Novel\\_semi-dry\\_electrodes\\_for\\_brain-computer\\_interface\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/304860955_Novel_semi-dry_electrodes_for_brain-computer_interface_applications)

### 5.4.3 Παρέμβαση και Πρωτόκολλο Θεραπείας

Παράλληλα με το φυσικοθεραπευτικό πρωτόκολλο λειτουργικής αποκατάστασης το οποίο θα ακολουθεί μεταχειρουργικά ,ο ασθενής θα παρακολουθήσει και ένα επικουρικό πρόγραμμα Εικονικής Πραγματικότητας (VR) το οποίο θα που θα επιδρασει πρώιμα στη νευροπλαστικότητα του εγκεφαλικού φλοιού όπου εντοπίζονται τα αντίστοιχα κέντρα.

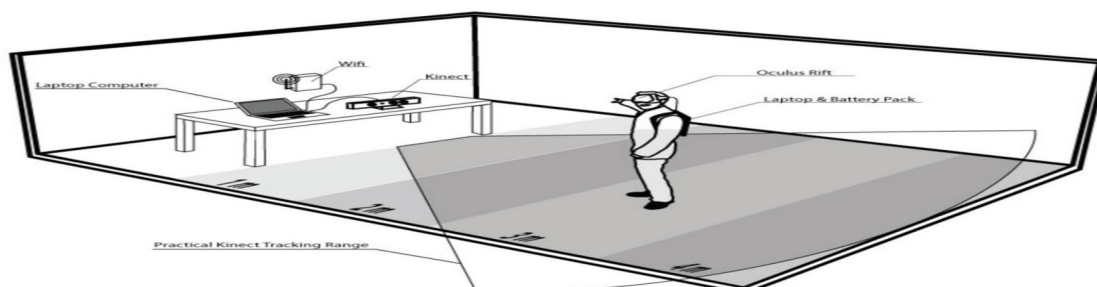
Κατ'αρχάς, το επικουρικό Πρόγραμμα Θεραπευτικής Παρέμβασης ,θα βρίσκει την έναρξή του μία εβδομάδα μετά τη χειρουργική επέμβαση αποκατάστασης του ΠΧΣ, δηλαδή τη δεύτερη μετεγχειρητική εβδομάδα. Αυτό συμβαίνει διότι η πρώτη εβδομάδα μετά το χειρουργείο είναι η οξεία φάση κατά την οποία το οίδημα και ο πόνος είναι μεγάλος έως και μη ανεκτός από τον ασθενή (VAS >7). Πρέπον πριν την έναρξη της παρέμβασης είναι ο έλεγχος της φλεγμονής και του πόνου στην οξεία μετεγχειρητική περίοδο (πρωτόκολλο PRICE κλπ) .Τηρώντας τα απαραίτητα κριτήρια (έλεγχο οιδήματος - επίπεδα πόνου, ανάκτηση μικρού εύρους κίνησης και δύναμης τετρακεφάλου, μετεγχειρητικές υποτροπές) και αθλητική ένδυση-υπόδηση , παράλληλα του πρωτοκόλλου επεμβατικής αποκατάστασης ΠΧΣ των Hewett TE et al 1999 , θα ξεκινήσει και το επικουρικό πρωτόκολλο θεραπείας το οποίο θα εφαρμόζει ο ασθενής παρουσία του φυσικοθεραπευτή .

Το Επικουρικό Πρόγραμμα Παρέμβασης θα πραγματοποιείται 2-3 φορές εβδομαδιαίως, για 6 εβδομάδες, ενσωματώνοντάς το στις κενές μέρες του φυσικοθεραπευτικού



προγράμματος αποκατάστασης που ήδη θα ακολουθεί . Θα είναι χωρισμένο σε 3 φασεις ,όπου κάθε φάση θα διαρκεί 2 εβδομάδες ακολουθώντας ένα πρόγραμμα άσκησης- παρέμβασης διαβαθμισμένης δυσκολίας, μέσω εικονικής πραγματικότητας και συνολικής διάρκειας 20- 40 λεπτών .

Το πρόγραμμα άσκησης, το οποίο πρόκειται να ακολουθήσει ο ασθενής, θα εμπεριέχει ασκήσεις ισορροπίας , ιδιοδεκτικότητας και βάδισης εξασκώντας παράλληλα τη στατική και δυναμική ισορροπία , με σταδιακή δυσκολίας (με ανοιχτά και κλειστά μάτια , με τη βοήθεια των χεριών ή βοηθημάτων εξισοροπιστικά ,από μεγάλη σε μικρότερη βάση στήριξης κλπ.) . Η διαβάθμιση της δυσκολίας θα αλλάζει καθε εβδομάδα καθώς θα προστίθενται ένας ακόμη παράγοντας δυσκολίας . Το ασκησιολόγιο θα πραγματοποιείται από όρθια θέση ,με τη χρήση εικονικής πραγματικότητας (Εικόνα 22) σε ένα εικονικό περιβάλλον ,μέσω εφαρμογής που επιλέγεται από τον θεραπευτή ,και χρήση ειδικών γυαλιών και λαβών εικονικής πραγματικότητας (π.χ. Oculus Rift-S VR headset) . Θα παρέχονται έτσι ακουστικά και οπτικά ερεθίσματα ( όπως timer , εμπόδια κλπ.) τόσο στις ασκήσεις ισορροπίας- ιδιοδεκτικότητας όσο και στην άσκηση βάδισης , και ενδεικτικά θα πρέπει να ολοκληρώνονται ορισμένοι στόχοι (βλέπε Πίνακα 4 ) . Στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας για τη βάδιση ,θα παρέχεται η χρήση ενός treadmill ή κυλιόμενου δαπέδου για την κίνηση στο χώρο σε ευθεία πορεία (Εικόνα 24) .Ο ασθενής ενδεχομένως να φοράει αρχικά προστατευτικά ένα νάρθηκα ή να περπατά με πατερίτσα .Στις ασκήσεις ισορροπίας και ιδιοδεκτικότητας μπορεί να φοράει τον νάρθηκα τον πρώτο καιρό, για μεγαλύτερη αίσθηση ασφάλειας ,όμως μετά από τη πρώτη φάση και στη βάδιση δε θα πρέπει να είναι απαραίτητο . Ανεξάρτητα φάσης και σταδίου ,το πρόγραμμα ξεκινάει , με 10 λεπτά προθέρμανσης, γενικευμένες (Εικόνα 25) και εστιασμένες δυναμικές-υποβοηθούμενες διατάσεις για το γόνατο, ( υποβοηθούμενες ενεργητικές 0-20° και 10-20 δευτερόλεπτα περίπου ) αποφεύγοντας την υπερβολική κάμψη στο γόνατο και με οδηγό τον ανεκτό πονο του ασθενούς. (Εικόνα 26)



Εικόνα 23: Περιβάλλον VR χώρος και μέσα που θα πραγματοποιείται η συνεδρία παρουσία θεραπευτή



Εικόνα 24 :Πραγματοποίηση προγράμματος Εικονικής πραγματικότητας σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο , από όρθια θέση με επικουρική χρήση Περιπατητήρα για την εκμάθηση βάρδισης <https://www.rehabalternatives.com/2017/05/03/physical-therapy-through-virtual-reality/>



Σετ των επαναλήψεων		
Εβδομάδα	10 reps	Διάρκεια sec
Στόχος 1.	2-3	10-20
Στόχος 2.	3-4	15-20
Στόχος 3.	3-4	15-20
Στόχος 4.	4-5	20- 25
Στόχος 5.	4-5	25 -30
Στόχος 6.	5-6	25-30+

Εικόνα 25: Ενδεικτικό πρόγραμμα προθέρμανσης για ολο το σώμα. Ο ασθενής μπορεί να χρησιμοποιεί την βοήθεια μιας καρέκλας για στήριξη , ενώ οι κινήσεις τροποποιούνται σε κατάλληλο εύρος και διάρκεια [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUXW\\_pHmbQK0dERHle\\_59HE2I6beLn6HnYpPT18yiFDk9or6t\\_64vW6WsWNtCr cBLKoAQ&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUXW_pHmbQK0dERHle_59HE2I6beLn6HnYpPT18yiFDk9or6t_64vW6WsWNtCr cBLKoAQ&usqp=CAU)

Πίνακας 4 :Ενδεικτικοί Ελάχιστοι Στόχοι ανά άσκηση Ισορροπίας-Ιδιοδεκτικότητας



Εικόνα 26: Δυναμικές Διατάσεις Χειρουργημένου Κάτω Άκρου ύστερα από επέμβαση ανακατασκευής ΠΧΣ. <https://www.sportandspinalphysio.com.au/wp-content/uploads/2017/05/Calf-Stretch.jpg>



## 1η Φάση

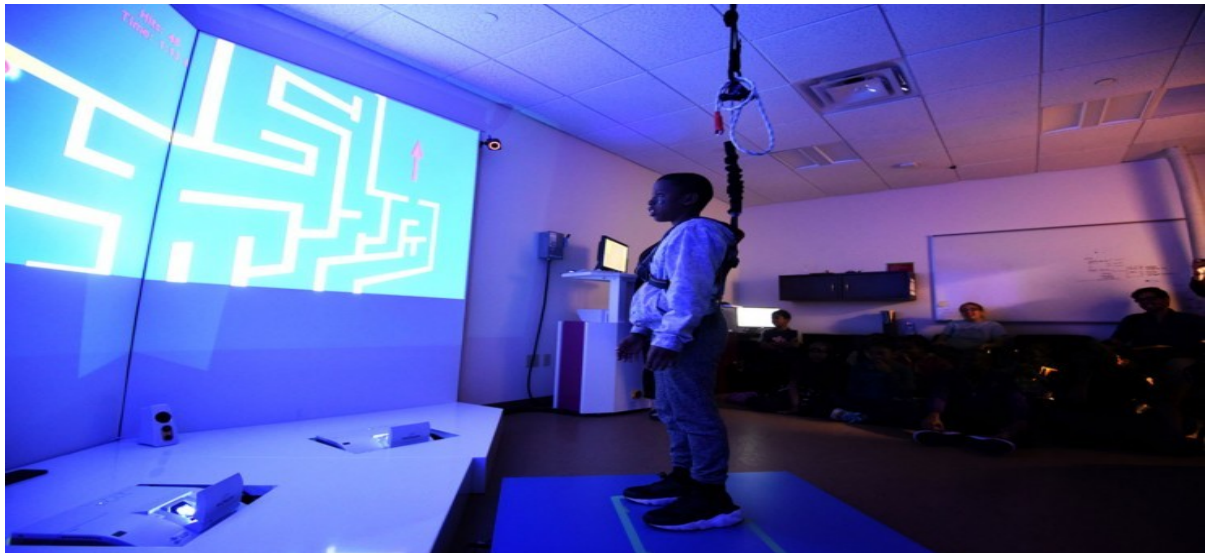
Τις πρώτες δύο εβδομάδες , ο ασθενής θα εστιάζει στην στατική ισορροπία με τα δύο πόδια στο άνοιγμα της λεκάνης ,και στην προοδευτική φόρτιση του πάσχοντος μέλους ,με μετατόπιση βάρους από το ένα πόδι στο άλλο και αμφοτέρω (Εικόνα 24) .

Ασκήσεις ισορροπίας- ιδιοδεκτικότητας και Βάδισης

1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> εβδομάδα

Ο ασθενής θα εκτελεί τις με ευρεία βάση στήριξης και με χρήση του βοηθήματος επικουρικά ,εάν κι εφόσον το χρειάζεται . Το πρώτο σετ των ασκήσεων θα εκτελείται χωρίς το εικονικό περιβάλλον για να εξοικειωθεί με τον χώρο, τη κίνηση και να αντιληφθεί εάν η φυσικοθεραπευτική υποστήριξη ή τροποποίηση κάποιας κίνησης είναι απαραίτητη (υποκειμενικός πόνος και αίσθηση αστάθειας ασθενούς). Τα υπόλοιπα σετ της κάθε άσκησης θα ολοκληρώνονται ξεχωριστά ενώ θα βρίσκεται σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας και με ανοιχτά μάτια. Τη δεύτερη εβδομάδα θα εκτελείται το ίδιο πρόγραμμα με τον ίδιο τρόπο, σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας εξαρχής.

- Σε σταθερή επιφάνεια, στήριξη και στα δύο πόδια 2-3 σειρές X 10 επαναλήψεις
- Μετατόπιση βάρους από το ένα πόδι στο άλλο (κάμψη γόνατος 0-30°), χρόνος 20-30''
- Ολοκλήρωση με 15 λεπτά βάδισης με αργή ταχύτητα (1.5-2 km/hr) σε ευθεία κατεύθυνση χωρίς κλίση και με εμπόδια σε ακτίνα ορατότητας 2 μέτρων σε περιβάλλον VR με παροχή ηχητικών και οπτικών ερεθισμάτων στα οποία πρέπει να επιταχύνει, επιβραδύνει ή θα σταματά. (Εικόνα 27)



Εικόνα 27: Πραγματοποίηση βάρδισης με αλλαγές κατεύθυνσης (εφαρμογή λαβύρινθου που απεικονίζεται) και στροφές με ηχητικά παραγγέλματα με ανοιχτά-κλειστά μάτια <https://scx2.b-cdn.net/gfx/news/2016/1-usingvirtual.jpg>

## 2η Φάση

Στη δεύτερη φάση του πρωτοκόλλου, θα δίνονται στον ασθενή ισομετρικές ασκήσεις σε διάφορες στατικές θέσεις ισορροπίας , με γωνίες των 0 - 30 μοιρών διποδικά και μονοποδικά , αρχικά απο το υγιές και ύστερα απο το πάσχον άκρο σε σταθερή επιφάνεια ενώ στη συνέχεια εντάσσονται και ασκήσεις με χρήση σανίδας ισορροπίας (σε πλάγιες παρεκκλίσεις) χρησιμοποιώντας τα δύο άκρα.

Τη τρίτη εβδομάδα ο ασθενής θα ολοκληρώσει πρώτα 2 σετ κάθε άσκησης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας και στο τέλος θα προσπαθήσει να εκτελέσει το τελευταίο σετ με σανίδα ισορροπίας πλάγιας παράκλισης χωρίς εικονική πραγματικότητα. Τη τέταρτη εβδομάδα θα εκτελεί το ίδιο πρόγραμμα σε εικονικό περιβάλλον και στο τελευταίο σετ κάθε άσκησης να κλείνει τα μάτια του.

Ασκήσεις ισορροπίας- ιδιοδεκτικότητας και Βάρδισης

3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> εβδομάδα

- ισομετρικές ασκήσεις σε διάφορες στατικές θέσεις ισορροπίας ,με γωνίες των 0 - 30 μοιρών
- σε σταθερή επιφάνεια Διποδικά και μονοποδικά (υγιές και πάσχον άκρο ) 2-3 σειρές 10 X επαναλήψεων,  $\geq$  20 δευτερόλεπτα
- σε ασταθή επιφάνεια (σανίδα ισορροπίας πλάγιας παράκλισης χωρίς εικονική πραγματικότητα) διποδικά 1 σετ των 10 επαναλήψεων , διάρκειας 15-20 & 15-30 δευτερόλεπτα). (Εικόνα 28)
- Προοδευτικά η βάδιση γίνεται λίγο πιο ζωνηρή (~2.5-3 km/hr) και η ορατότητα των εμποδίων σε ευθεία θέση είναι 1,5 μέτρα περίπου, και Διάρκεια 15 λεπτά
- ένταξη πλάγιων βηματισμών (με ηχητικό ερέθισμα).
- αλλαγές κατεύθυνσης με αργή ταχύτητα σταδιακά αυξανόμενης εως όριο ανεκτό όριο της υποκειμενικής κλίμακας πόνου (VAS ~6 ).



Εικόνα 28: Ασκήσεις ισορροπίας σε σανίδα με πλάγιες παρεκλήσεις  
[https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-56558-2\\_23/MediaObjects/273272\\_2\\_En\\_23\\_Fig15\\_HTML.jpg](https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-56558-2_23/MediaObjects/273272_2_En_23_Fig15_HTML.jpg)

### 3η Φάση

Στην τελευταία φάση του Θεραπευτικού πρωτοκόλλου, ο ασθενής θα πρέπει να ολοκληρώνει τη βάδιση ανώδυνα ,με φυσιολογική ταχύτητα ,άφοβα σε αλλαγές κατεύθυνσης και διακοπές βάδισης . Σταδιακά να μπορεί να ενσωματώνει μικρή αναπήδηση χαμηλού

ύψους και πλάγιους βηματισμούς μικρού μήκους σε στο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας και εκτός αυτού (Εικόνα 29).

Ασκήσεις ισορροπίας- ιδιοδεκτικότητας και Βάδισης

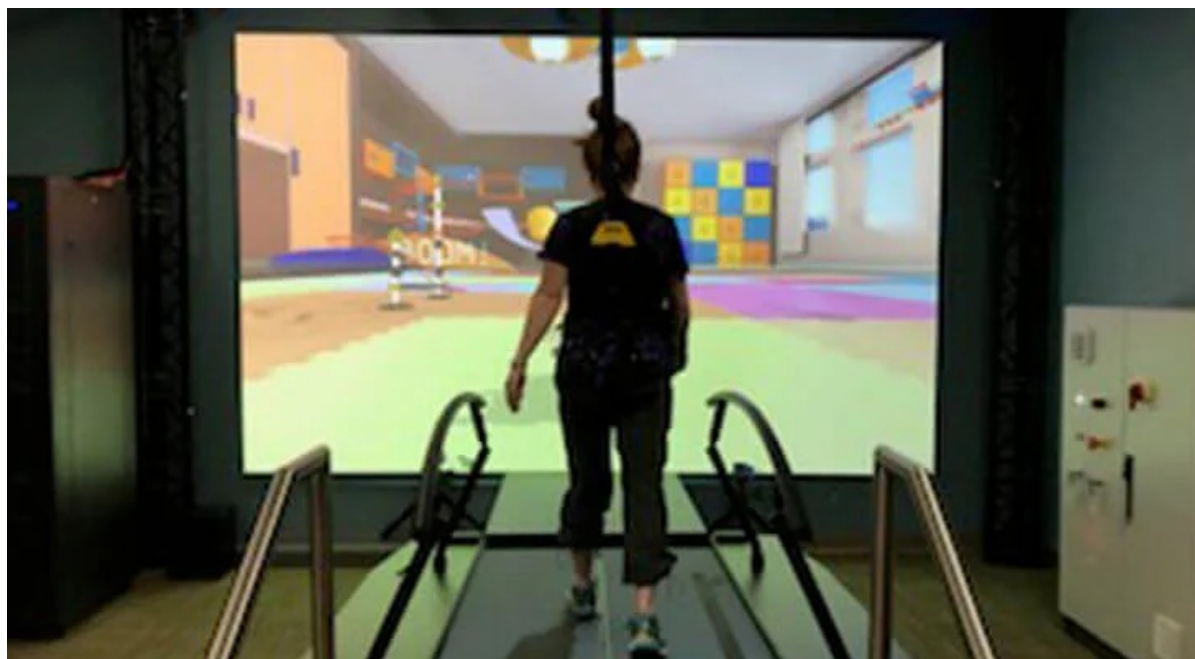
5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> εβδομάδα

- Στήριξη με τα δύο πόδια και εναλλάξ μονοποδικά σε σταθερή επιφάνεια επαφής και ασταθή επιφάνεια επαφής (πχ αφρώδες υλικό)
- Ισομετρική άσκηση ιδιοδεκτικότητας-ισορροπίας σε εύρος <math><60^\circ</math> κάμψης γόνατος για 20-30 δευτερόλεπτα, 2-3 προοδευτικά σε 3-4 σετ των 10 Επαναλήψεων (Εικόνα 27) .
- άλματα χαμηλού ύψους ή άρση πτερνών από το έδαφος (διποδικά → μονοποδικά) και πλάγιους βηματισμούς μικρού μήκους στο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας 2-3 σειρές X 10 επαναλήψεις
- Βάδιση ανώδυνη, με ζωνρό ρυθμό ( ~3.5 km/hr ) με αλλαγές κατεύθυνσης και παύσεις βάδισης (~20 λεπτά Διάρκειας) σε κινούμενους στόχους ή εμπόδια προς αποφυγή (Εικόνα 30)

Τέλος , θα καταγράφεται η προσωπική βαθμολογία και ο αριθμός των ολοκληρωμένων με επιτυχία προσπαθειών και της χρονικής διάρκειας τους .Στην τελική αξιολόγηση καταγράφεται κάθε επιτυχημένη προσπάθεια και η μέγιστη διάρκεια από κάθε άσκηση με τα ευρήματα του ΗΕΓ , από τον ειδικό, στα κέντρα του εγκεφάλου και τις πιθανές αλλαγές από την πρώτη μέτρηση.



Εικόνα 29: Ασκήσεις σε VR περιβάλλον <https://ijspt.scholasticahq.com/article/21251-visual-perturbation-to-enhance-return-to-sport-rehabilitation-after-anterior-cruciate-ligament-injury-a-clinical-commentary/attachment/54054.jpg>



Εικόνα 30 : Βάδιση με οπτικά ερεθίσματα- κινούμενοι στόχοι σε περιβάλλον VR <https://nortonhealthcareprovider.com/news/norton-mobility-lab-utilizes-grail-for-gait-analysis-and-training/>

### 5.5 Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Βασιζόμενοι στις έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της εικονικής πραγματικότητας , ευεργετικά αποτελέσματα λόγω νευροπλαστικών αλλαγών παρουσιάζονται εντός του χρονικού πλαισίου παρέμβασης των 6 εβδομάδων (Ballesteros et al. 2018). Σε άλλη έρευνα με χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος μπορούν να παρατηρηθούν διαγνωστικά διαφορές στη φύση των ηλεκτρομαγνητικών εγκεφαλικών κυμάτων ,και πιο συγκεκριμένα διαφορές στα κύματα  $\alpha$  ,  $\theta$  και SMR στα αντίστοιχα κινητικο-αισθητικά κέντρα του εγκεφαλου, βάση του ΗΕΓ ( Omejc, N et al, 2019) , και μπορεί μέσω Διακρανιακής Διέγερσης να συμβάλει στην ομαλοποίηση των κυμάτων αυτών ,με ή χωρίς την παρέμβαση στον αισθητικοκινητικό ρυθμό για την βελτίωση της κινητικής απόδοσης (Leandro Ryuchi Iuamoto et al. 2021). Με βάση τους Orakro N. et al μία τέτοια θεραπεία παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα ομαλοποίησης των ηλ/εγ κυμάτων μετά τη παρέμβαση και με σύνολο 20- 40 παρεμβάσεων VR με ακουστικά ερεθίσματα , ενώ με την συνοδεία ΗΕΓ και Συμπεριφορικής -Γνωσιακής Θεραπείας (Ruba Hamed et al. 2022) , ειδικά σε ασθενείς του ηλικιακού φάσματος της εφηβείας θα μπορούσαν να ωφεληθούν με καλύτερα ποσοστά αυτοεκτίμησης και ουσιαστική βελτίωση της φυσικής και της ψυχικής τους κατάστασης , με απόκτηση καλύτερων μηχανισμών αυτοπροστασίας σε μελλοντικούς τραυματισμούς.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο στοχεύει στην ενίσχυση των θετικών κινητικών προτύπων και τη μείωση των αρνητικών νευροπλαστικών προσαρμογών στα αντίστοιχα αισθητικο-



κινητικοσωματικά κέντρα του εγκεφάλου που αξιολογήθηκαν (μέσω ΗΕΓ) ,με τη παρέμβαση της Εικονικής Πραγματικότητας-VR .

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aliza K. Nedimyer et al. 83,Associations Among Health-Related Quality of Life Markers and Life Satisfaction in Former Collegiate Women’s Soccer Athletes ,JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY Volume 43 • Supplement • May 2021 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Virtual Conference June 9–11, 2021[online]
2. Apkarian, V. A., Hashmi, J. A., & Baliki, M. N. (2011). Pain and the brain: specificity and plasticity of the brain in clinical chronic pain. *Pain*, 152(3 Suppl), S49–S64. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.11.010> (Apkarian et al ,2011)
3. Baker, R. A., Newland, R. F., & Bennetts, J. (2009). Biofeedback: making the science real. *The journal of extra-corporeal technology*, 41(4), P38–P42.
4. Ballesteros Soledad, Voelcker-Rehage Claudia, Bherer Louis ,(2018) Editorial: Cognitive and Brain Plasticity Induced by Physical Exercise, Cognitive Training, Video Games, and Combined Interventions ,*Frontiers in Human Neuroscience* ,Vol 12,url <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2018.00169> , doi : 10.3389/fnhum.2018.00169,ISSN:1662-5161
5. Conder R, Conder AA. Neuropsychological and psychological rehabilitation interventions in refractory sport-related post-concussive syndrome. *Brain Inj.* 2015;29(2):249-62. doi: 10.3109/02699052.2014.965209. Epub 2014 Oct 7. PMID: 25291459.
6. C. Lorientte, C. Ziane, S. Ben Hamed,Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity,Revue Neurologique,Volume 177, Issue 9,2021,Pages 1133-1144,ISSN 0035-3787, <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2021.08.004>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0035378721006974>)
7. Enriquez-Geppert S, Huster RJ and Herrmann CS (2017) EEG-Neurofeedback as a Tool to Modulate Cognition and Behavior: A Review Tutorial. *Front. Hum. Neurosci.* 11:51. doi: 10.3389/fnhum.2017.00051

8. Fitzgerald, G. & Axe, Michael & Snyder-Mackler, Lynn. (2000). Proposed Practice Guidelines for Nonoperative Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation of Physically Active Individuals. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*. 30. 194-203. 10.2519/jospt.2000.30.4.194.
9. Frank, Dana L et al. "Biofeedback in medicine: who, when, why and how?." *Mental health in family medicine* vol. 7,2 (2010): 85-91.
10. Giggins, O.M., Persson, U.M. & Caulfield, B. Biofeedback in rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil* 10, 60 (2013). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
11. Gimigliano F, Resmini G, Moretti A, Aulicino M, Gargiulo F, Gimigliano A, Liguori S, Paoletta M, Iolascon G. Epidemiology of Musculoskeletal Injuries in Adult Athletes: A Scoping Review. *Medicina*. 2021; 57(10):1118. <https://doi.org/10.3390/medicina57101118>
12. Hamed, Ruba, Limor Mizrahi, Yelena Granovsky, Gil Issachar, Shlomit Yuval-Greenberg, and Tami Bar-Shalita. 2022. "Neurofeedback Therapy for Sensory Over-Responsiveness—A Feasibility Study" *Sensors* 22, no. 5: 1845. <https://doi.org/10.3390/s22051845>
13. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*. 1999 Nov-Dec;27(6):699-706. doi: 10.1177/03635465990270060301. PMID: 10569353.
14. Huang, H., Wolf, S.L. & He, J. Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil* 3, 11 (2006). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-3-11>
15. Iuamoto, L. R., Ito, F., Tomé, T. A., Hsing, W. T., Meyer, A., Imamura, M., & Battistella, L. R. (2022). Effects of neuroplasticity in people with knee osteoarthritis: A systematic review of the literature. *Medicine*, 101(3), e28616. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028616>
16. Kira L. Innes, McMaster University; Steven R. Bray, McMaster University 81, Development and Preliminary Validation and Reliability of a Measure of Self-Efficacy for Self-Control (SESC) Sheereen Harris, McMaster University; Jeffrey D. Graham, Ontario Tech University; JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY Volume 43 • Supplement • May 2021 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Virtual Conference June 9–11, 2021[online]
17. Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of Experience-Dependent Neural Plasticity: Implications for Rehabilitation After Brain Damage. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 51(1), S225. doi:10.1044/1092-4388(2008/018)

18. Krutsch, W., Memmel, C., Alt, V. *et al.* Timing return-to-competition: a prospective registration of 45 different types of severe injuries in Germany's highest football league. *Arch Orthop Trauma Surg* **142**, 455–463 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03854-8>
19. Larson D, Vu V, Ness BM, Wellsandt E, Morrison S. A Multi-Systems Approach to Human Movement after ACL Reconstruction: The Musculoskeletal System. *Int J Sports Phys Ther.* 2021 Dec 1;17(1):27-46. doi: 10.26603/001c.29456. PMID: 35237463; PMCID: PMC8856762.
20. Li, Guangli & Wu, Jingtao & Xia, Yonghui & He, Quanguo & Jin, Hongguang. (2020). Review of semi-dry electrodes for EEG recording. *Journal of Neural Engineering.* 17. 051004. 10.1088/1741-2552/abbd50.
21. Lucas K, Todd P, Ness BM. A Multi-Systems Approach to Human Movement after ACL Reconstruction: The Integumentary System. *Int J Sports Phys Ther.* 2021;17(1):74-80. Published 2021 Dec 1. doi:10.26603/001c.29454
22. Ludwig PE, Reddy V, Varacallo M. Neuroanatomy, Central Nervous System (CNS) [Updated 2021 Oct 14]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442010/>
23. Maffulli N, Caine DJ (eds): *Epidemiology of Pediatric Sports Injuries: Team Sports.* Med Sport Sci. Basel, Karger, 2005, vol 49, pp 170–191, ISBN: 978-3-8055-7869-1 ,e-ISBN: 978-3-318-01180-7 , DOI: 10.1159/isbn.978-3-318-01180-7
24. Malik K, Dua A. Biofeedback. [Updated 2021 Oct 19]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553075/?fbclid=IwAR0OmmYbcLxIdYs1pDAGp0ucLuydjJEraCgvZ9R5FiDJrPsDu3J7jFm3dK0>
25. Marzbani, H., Marateb, H. R., & Mansourian, M. (2016). Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic and clinical neuroscience*, 7(2), 143–158. <https://doi.org/10.15412/J.BCN.03070208> .[HHS Vulnerability Disclosure](#)
26. [Omejc, N., Rojc, B., Battaglini, P. P., & Marusic, U. \(2019\). Review of the therapeutic neurofeedback method using electroencephalography: EEG Neurofeedback. \*Bosnian Journal of Basic Medical Sciences\*, 19\(3\), 213–220. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2018.3785>](#)



27. Patel DR, Yamasaki A, Brown K. Epidemiology of sports-related musculoskeletal injuries in young athletes in United States. *Transl Pediatr.* 2017;6(3):160-166. doi:10.21037/tp.2017.04.08
28. Pelletier, R., Higgins, J., & Bourbonnais, D. (2015). Addressing Neuroplastic Changes in Distributed Areas of the Nervous System Associated With Chronic Musculoskeletal Disorders. *Physical Therapy*, 95(11), 1582–1591. doi:10.2522/ptj.20140575
29. Pelletier, R., Higgins, J., & Bourbonnais, D. (2015). Addressing Neuroplastic Changes in Distributed Areas of the Nervous System Associated With Chronic Musculoskeletal Disorders. *Physical therapy*, 95(11), 1582–1591. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140575>
30. Prieto-González P, Martínez-Castillo JL, Fernández-Galván LM, Casado A, Soporki S, Sánchez-Infante J. Epidemiology of Sports-Related Injuries and Associated Risk Factors in Adolescent Athletes: An Injury Surveillance. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4857. Published 2021 May 2. doi:10.3390/ijerph18094857
31. SEER Training Modules, Nerve Tissue. U. S. National Institutes of Health, National Cancer Institute. (30/03/2022) <<https://training.seer.cancer.gov/>>. <https://training.seer.cancer.gov/anatomy/nervous/organization/pns.html>
32. SEER Training Modules, The Peripheral Nervous System. U. S. National Institutes of Health, National Cancer Institute. (07/03/2022) <<https://training.seer.cancer.gov/>>. <https://training.seer.cancer.gov/anatomy/nervous/tissue.html>
33. Thau L, Reddy V, Singh P. Anatomy, Central Nervous System. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021. PMID: 31194336.
34. Wang, Fei & Li, Guangli & Chen, Jingjing & Duan, Yanwen & Zhang, Dan. (2016). Novel semi-dry electrodes for brain–computer interface applications. *Journal of Neural Engineering*. 13. 046021 (15pp). 10.1088/1741-2560/13/4/046021.
35. Waxenbaum JA, Reddy V, Varacallo M. Anatomy, Autonomic Nervous System. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021. PMID: 30969667
36. Wen-Dien Chang, National Taiwan University of Sport; Yung-An Tsou, China Medical University; Shuya Chen, China Medical University, Effects on Sleep Efficiency of Cranial Electrotherapy Stimulation in Athletes With Poor Sleep Quality, *JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY* Volume 43 • Supplement • May 2021 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Virtual Conference June 9–11, 2021[online]
37. Yung-An Tsou, China Medical University; Shuya Chen, China Medical University Effects on Sleep Efficiency of Cranial Electrotherapy Stimulation in Athletes With Poor Sleep Quality

Wen-Dien Chang, National Taiwan University of Sport; p61, JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY Volume 43 • Supplement • May 2021 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Virtual Conference June 9–11, 2021[online]

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Συνοπτικός Πίνακας Ερευνών «Νευροπλαστικότητα, Αθλητικοί Τραυματισμοί και Μέσα αξιολόγησης -Παρεμβάσεις – Μέθοδοι Αποκατάστασης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Συνοπτικός Πίνακας Ερευνών «Νευροπλαστικότητα, Αθλητικοί Τραυματισμοί και Μέσα αξιολόγησης -Παρεμβάσεις –  
Μέθοδοι Αποκατάστασης

Συγγραφείς/ εις - Έτος	Τίτλος	Τύπος Άρθρου	Κατηγορία / Περίοδος τραυματισμού	Πληθυσμός	Ηλικία	Φύλο	Άθλημα (Κατηγορία )	Προηγούμενη Κάκωση - Τραυματισμός	Μέθοδοι Αξιολόγησης/ Μέτρησης	Παρέμβαση - Μέθοδοι Νευροπλαστικότητας	Αποτελέσματα
Leandro Ryuchi Iuamoto et al. 2021	Effects of neuroplasticity in people with knee osteoarthritis  Επιδράσεις της νευροπλαστικότητας σε άτομα με οστεοαρθρίτιδα γόνατος	Systematic Review and Meta-Analysis  Συστηματική Ανασκόπηση και Μετα-Ανάλυση	Οστεοαρθρίτιδα (OA)  Γόνατος	Σύνολο Δείγματος  n= 127 άτομα	40 ετών τουλάχιστον	Δ/Α	Δ/Α	-	VAS, WOMAC, και Αλγομέτρία	HEG/EEG(3 άρθρα), fNIRS (0 ) or TMS (3 άρθρα,)	Κυρίαρχο αποτέλεσμα:φλοιό-νευροφυσιολογικές αλλαγές →  Τα ευρήματα του HEG ,TMS και του μαγνητοεγκεφαλογράφημα έδειξαν ότι οι νευροπλαστικές αλλαγές  μείωσε την ανασταλτική δραση του πόνου που επάγεται από τα κατιόντα συστήματα του πόνου στην εγκατάσταση δυσλειτουργικών ρυθμιζόμενων οδών – στα κατιόντα ανασταλτικά μονοπάτια του πόνου.  το HEG υπερεχει του TMS
Ruba Hamed et al. 2022	Neurofeedback Therapy for Sensory Over-Responsiveness —A Feasibility Study	Article  Experimental feasibility study - Μελέτη Σκοπιμότητας	Αισθητηριακή Υπεραντιδραστικότητα (Sensory Over-Responsiveness, SOR)	n=10, με SOR Αισθητηριακή Υπεραντιδραστικότητα	Δ/Α	Γυναίκες	Δ/Α	-	HEG ηρεμίας  Συμπεριφορική Αξιολόγηση  ( σχετικά με την ικανοποίηση από τη ζωή, την επίτευξη λειτουργικών στόχων, την ευαισθησία στον πόνο και το άγχος)	Καταγραφή HEG  →Με τέσσερα χρονικά σημεία μέτρησης (T1 —γραμμή βάσης· T2— προ παρέμβασης·	Δεν εντοπίστηκαν αλλαγές σε όλες τις μετρήσεις μεταξύ T1 και T2. Διερευνώντας τις αλλαγές στην εγκεφαλική δραστηριότητα μεταξύ T2 και T4 αποκάλυψε ενίσχυση της ισχύος σε δέλτα, θεμα, βήτα και γάμμα ζώνες ταλαντώσης , που ανιχνεύονται στην μετωπική περιοχή ( p = 0.03–<0.001; Cohen’s d = 0.637–1.126)

	Θεραπεία Νευροαναδρασης για Αισθητηριακή Υπερ-Απόκριση—									T3— μετά την παρέμβαση· T4— παρακολούθηση)  Συμπεριφορική Αξιολόγηση  Στόχος →αύξηση της ρύθμισης έντασης ταλάντωσης των άλφα κυμάτων σε 10 δέκα συνεδρίες	
Orakpo N. et al  2021	Virtual Reality Neurofeedback Therapy as a Novel Modality for Sustained Analgesia in Centralized Pain Syndrome	Μελέτη Περίπτωσης	Σύνδρομο Κεντρικής Ευαισθητοποίησης  (Centralized Pain Syndrome)	n=1	55 ετών	Γυναίκα	-	Ιστορικό στένωσης της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης - ριζοπάθεια  Μετά-διάσεισικό σύνδρομο (PCS)  ισχιαλγία	Εργαλεία - Μέσα:  Oculus Rift-S VR headset ,EEG NeuroAmp,  Cygnet Software  Κλίμακες Αξιολόγησης :  Κλίμακα Πόνου Wong-	Πριν από κάθε συνεδρία,η ασθενής διερωτούνταν για το υποκειμενικό επίπεδο αγωνίας  Προ -& Μετά Παρέμβαση:  Υποκειμενική μονάδα Αγωνίας πριν (BSUD) και	Μετά από 20 συνεδρίες VR-NFB (βελτίωση 40%):  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Πόνος-VAS→βελτιώθηκε από 9 σε 5, (40% μείωση του πόνου στο τέλος της δοκιμής)</li> <li>● Δραστηριότητες καθημερινής ζωής (ADLs) βελτιώθηκαν κατά 40%</li> <li>● Οι εξειδικευμένες δραστηριότητες καθημερινής ζωής (IADLs) βελτιώθηκαν κατά 50%.</li> <li>● Άγχος που σχετίζεται με τον πόνο : από 8→σε 4</li> <li>● Ποιότητα ύπνου :(δυσκολία στον ύπνο και</li> </ul>

	mes.							Μετά ατύχημα τροχαίο (MVA)	Baker →Αξιολόγηση επίπεδου πόνου, άγχους, ύπνου, κατάθλιψης, κόπωσης, συμπτωμάτων PTSD σε καθημερινή βάση και οποιασδήποτε παρέμβασης στις IADL/ADL που σχετίζεται με τον πόνο.	στο τέλος (ESUD) → για οποιαδήποτε οξεία αλλαγή στις μετρήσεις	τον ύπνο λόγω χρόνιου πόνου, αναφορά στέρησης ύπνου) 10 στα 10, βελτιώνοντας μόνο σε 8 (20% βελτίωση) μετά την κλινική δοκιμή.
	Θεραπευτική νευροαναδρασής - εικονικής πραγματικότητας ως μια νέα μέθοδος για παρατεταμένη αναλγησία σε κεντρικά σύνδρομα πόνου							Ψυχιατρικό ιστορικό κατάθλιψης, άγχους, συνδρόμου χρόνιου πόνου και PTSD που σχετίζεται με το MVA		20 συνεδρίες θεραπείας VR-NFB (μέσω Ακουστικών Oculus Rift-S VR (2019), το EEG NeuroAmp και το λογισμικό Cygnet ),	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κόπωση σχετιζόμενη με τον πόνο και Κατάθλιψη σχετιζόμενη με τον πόνο → βελτίωση 20%.</li> </ul>
Ballesteros et al. 2018	Cognitive and Brain Plasticity Induced by Physical	Ερευνητικό Άρθρο	Νευροπλαστικότητα και Παρεμβάσεις	Ηλικιωμένοι ενήλικες,	Δ/Α	Δ/Α	Έρευνα σε ποικίλα δείγματα πληθυσμού και Έρευνα σε Παίκτες Καλαθοσφαίρισης	-	Πλατφόρμες γνωστικής εκπαίδευσης και βιντεοπαιχνίδια και Μέθοδοι Νευροανάδρασης	Μελέτη παρέμβασης → Πειρ.Α) πειραματική ομάδα και ομάδα ελέγχου σε	<p>ολοκληρώνοντας δύο συνεδρίες εβδομαδιαίως για συνολικά 10 εβδομάδες.</p> <p>σε συχνότητα 0,15 mHz στο T3-T4 και T4-P4 στα 0,175 mHz</p> <p>Παρέμβαση με Βιντεοπαιχνίδι → Σε χρονική διάρκεια &gt; 6 εβδομάδες σε υγιείς ηλικιωμένους συμμετέχοντες εξετάστηκαν Α)γνωστικές, Β) κινητικές και Γ) αισθητηριακές λειτουργίες</p> <p>ΠειρΑ) Η ομάδα παρέμβασης έδειξε μετά την προπόνηση :</p>

<p>I Exercis e, Cognitiv e Training , Video Games, and Combin ed Interven tions</p> <p>Γνωσια κή πλαστικ ότητα και πλαστικ ότητα του εγκεφάλ ου προκαλ ούμενη από τη σωματι κή άσκηση , τη γνωστικ ή προπόν ηση, τα βιντεοπ αιχνίδια και τις Συνδυα στικές παρεμβ άσεις.</p>	<p>πρωτότυπ α ερευνητικ ά άρθρα (37), κλινικές δοκιμές (2), κριτικές (5), μίνι κριτικές (2), υποθέσεις και θεωρία (1) και διορθώσει ς (2)</p>		<p>εφηβεία , προεφη βικά παιδιά,  νεαροί ενήλικε ς, Ενήλικε ς με Νόσο Πάρκιν σον (PD), ΔΕΠΥ, Επαγγε λματίες Παικτες Καλαθο σφαίρη σης και αρχάριο υς</p>						<p>Βιντεοπαιχ νίδι (εφαρμογέ ς smartphon es), υψηλό επίπεδο ενδιαφέρο ντος,θετικ ή αντίληψη της εκπαίδευσ ης του εγκεφάλου , χαμηλό κόστος</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Μέθοδος νευροανάδ ραση (NFB→Γι α βελτίωση της</li> </ul> <p>γνωστικής και συμπεριφορικής απόδοσης,</p> <p>επαγωγή αλλαγών στη δύναμη ορισμένων ηλεκτροεγκεφαλ ογραφιών με</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(EEG) ζώνες για την</li> </ul>	<p>γνωστικά υγιείς  ηλικιωμένους που εκπαιδεύονται με βιντεοπαιχνίδια χωρίς δράση</p> <p>και αν</p> <p>αυτές οι πιθανές βελτιώσεις ( σε οπτικοχωρική μνήμη εργασίας και επεισοδιακή μνήμη) διατηρούνται 3 μήνες μετά την παρέμβαση</p> <p>(Toril et al.)</p> <p>Πειρ Β) Υγιείς ηλικιωμένοι (3 ομάδες : α. συχνή ή β. σποραδική πειραματική συνθήκη μεταγωγής,  ή γ. στην ομάδα ενεργού ελέγχου ) καταμέτρηση επίδρασης χρονικών επιδράσεων στις</p> <p>πολλαπλές εργασίες μεταφοράς και στις τρεις ομάδες, πιθανώς ως</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>βελτίωση στην οπτικοχωρική μνήμη εργασίας και σε</li> <li>βραχυπρόθεσμη μνήμη και επεισοδιακή μνήμη.</li> <li>διατήρηση μερικών αποτελεσμάτων σε διάρκεια μιας περιόδου παρακολούθησης 3 μηνών.</li> <li>Συμπέρασμα1 → οι ηλικιωμένοι εξακολουθούν να διατηρούν κάποιο βαθμό πλαστικότητας</li> </ul> <p>Συμπέρασμα 2=&gt; βιντεοπαιχνίδια φαίνεται να είναι ένα <u>αποτελεσματικό εργαλείο βελτίωσης μερικών λειτουργιών μνήμης στη γήρανση</u> (Toril et al.)</p> <p>ΠειρΒ )Σημαντικές χρονικές επιδράσεις στις πολλαπλές εργασίες μεταφοράς και στις τρεις ομάδες, αποτέλεσμα της προσδοκίας και των κινήτρων</p> <p><b>Συμπέρασμα →</b></p> <p>Μέτρια θεραπευτική αξία της χρήσης διαθέσιμων εκπαιδευτικών παιχνιδιών για την εκπαίδευση του γερασμένου εγκεφάλου</p> <p>ΕΝΩ</p> <p>Χρήση διαφορετικών μεθόδων(τόνωση της κοινωνικής αλληλεπίδρασης και η εκπαίδευση σε ομάδες με εξατομικευμένες-προσαρμοσμένες ασκήσεις) θα παρήγαγαν καλύτερα αποτελέσματα (Buitengeweg et al.)</p> <p>Σωματικής άσκησης - Φυσική Δραστηριότητα →</p>
--	---	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---

										<ul style="list-style-type: none"> <li>• παραγωγή ευεργετικών αλλαγών στη γνωστική και κινητική δραστηριότητα.</li> <li>• Εκπαίδευση Μείωσης του στρες βάσει προσοχής - Mindfulness-based stress reduction (MBSR)</li> <li>• Τεχνικές μαγνητικής τομογραφίας MRI</li> <li>• Σωματική δραστηριότητα (οξεία άσκηση και πρακτική</li> </ul>	<p>(Buitenweg et al.)</p> <p>Δεδομένα μαγνητικής τομογραφίας από 54 υγιείς ηλικιωμένους</p> <p>(Kleemeyer et al.)</p> <p>Πειρ Γ) 6μηνη έρευνα RCT σχετικά με τον αντίκτυπο της εκπαίδευσης αερόβιας άσκησης (AE) σε ηλικιωμένους ενήλικες σε συνδεσιμότητα μετωπιαίου δικτύου. (Hsu et al.)</p> <p>3μηνη αερόβια άσκηση με χρήση στατικού ποδηλάτου (P.D.) (. Nadeau et al)</p> <p>Πειραμα Δ) Σύγκριση όγκου φαιας ουσίας σε 21 παίκτες καλαθοσφαίριση</p>	<p>οξεία άσκηση &amp; εξάσκηση κινητικών δεξιοτήτων, καρδιαγγειακή άσκηση</p> <p>(MRI) Δεδομένα από 54 υγιείς ηλικιωμένους</p> <p>Kleemeyer et al.</p> <p>=&gt;</p> <p>χαμηλότερη φυσική κατάσταση και η μεγαλύτερη ηλικία σχετίζεται με ατροφία σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου, αλλά τα προφίλ της ηλικίας και της φυσικής κατάστασης δεν αλληλοεπικαλύπτονται πλήρως</p> <p>Πείραμα Γ)</p> <p>6μηνη RCT για τη διερεύνηση των επιπτώσεων της εκπαίδευσης αερόβιας άσκησης (AE) σε ηλικιωμένους ενήλικες σε συνδεσιμότητα μετωπιαίου δικτύου. (Hsu et al.)</p> <p>3μηνη αερόβια άσκηση με χρήση σταθερού κύκλου (σε ασθενείς με P.D.)</p> <p>βελτιώνουν τη γνωστική λειτουργία σε όλες τις ηλικιακές ομάδες, ιδιαίτερα σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας.</p> <p>βελτίωση της μακροχρόνιας διατήρησης της κινητικής μνήμης σε προεφηβικά παιδιά και η άμεση οξεία έντονη διαλείπουσα άσκηση που εκτελείται μετά την απόκτηση κινητικών δεξιοτήτων διευκολύνει τη μακροπρόθεσμη</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

									<p>κινητικών δεξιότητων, καρδιαγγειακή άσκηση)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Νευροφυσιολογική (ERPs)</li> <li>• Μέθοδοι νευροανάδραση (NFB) Rogala et al.</li> <li>• EEG-NFB Paluch et al</li> <li>• Τυχοιοποιημένη ελεγχόμενη λειτουργική ή φασματοσκοπία εγγύς</li> </ul>	<p>ς και 21 αρχάριους με τεχνικές μαγνητικής τομογραφίας MRI,σε κατάσταση ανάπαυσης &amp; λειτουργικής διασύνδεσης (Tan et al.)</p> <p>Μείωση άγχους βάσει προσοχής(MBSR) , εκπαιδευτικό πρόγραμμα 6 εβδομάδων (Su et al.)</p> <p>ΠειρE) μελέτη παρέμβασης σε υποομάδα ενηλίκων ΔΕΠΥ με υψηλή παρορμητικότητα. (Hudak et al με χρήση (fNIRS) NFB)</p>	<p>κινητική μνήμη σε προεφηβικά παιδιά, προφανώς προάγοντας την εδραίωση της μνήμης.</p> <p>η καρδιαγγειακή άσκηση θα μπορούσε να μειώσει τα δυναμικά του φλοιού που σχετίζονται με την κίνηση που αξιολογήθηκαν με ΗΕΓ κατά την εκτέλεση μιας εργασίας επέκτασης γόνατος, η οποία σχετιζόταν με μυϊκές αλλοιώσεις και είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία παραγωγής μιας μέγιστης εκούσιας σύσπασης</p> <p>Αερόβια Άσκηση(AE)→ Βελτιώνει</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• κινητικότητα σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας με ήπιες υποφλοιώδεις ισχυμικές γνωστικές βλάβες (βλέπε Hsu et al.)</li> <li>• Αερόβια ικανότητα, καθώς και απόδοση κινητικής εκμάθησης και στη γνωστική αναστολή, αυξήθηκε σημαντικά</li> <li>• ταχύτητα βαδίσματος(θετική συσχέτιση με αερόβια ικανότητα )</li> <li>• Βελτιώσεις βάδισης φαίνεται να είναι ειδικά για τον τύπο της κινητικής δραστηριότητας που ασκείται κατά τη διάρκεια της άσκησης</li> </ul> <p>Πείραμα Δ) Καλαθοσφαιριστές v/s Αρχάριοι →</p> <p>όγκος φαιάς ουσίας: επαγγελματίες παίκτες &gt; αρχάριοι</p> <p>πολλές περιοχές με υψηλότερη λειτουργική συνδεσιμότητα στο DMN, προυπάρχον νευρικό δίκτυο και δίκτυο εκτελεστικού ελέγχου σε παίκτες μπάσκετ σε σύγκριση με τους αρχάριους.</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--



									<p>υπέρθρης ακτινοβολίας (fNIRS) NFB</p> <p>μελέτη παρέμβασης σε υποομάδα ενηλίκων ΔΕΠ-Υ</p> <p>με υψηλή παρορμητικότητα. (Hudak et al)</p>		<p>Μέθοδοι NFB→</p> <p>EEG-NFB</p> <p>(Paluch et al.)</p> <p>→ η δραστηριότητα από τα ηλεκτρόδια EEG ενδέχεται να κατακλυστεί με ευκολότερο έλεγχο των ηλεκτρομυογραφικών σημάτων.</p> <p>Η κοινότητα NFB πρέπει να αναπτυχθεί</p> <p>επικύρωση και εφαρμογή</p> <p>αποτελεσματικοί αλγόριθμοι αυτόματης ανίχνευσης τεχνουργημάτων (Rogala et al.)</p> <p>Πειραμα Ε) NFB→</p> <p>βελτιωμένα αυτο αναφερθέντα συμπτώματα ΔΕΠΥ, αλλά δεν έδειξε μεταφορά προσοχής σε ένα ηλεκτρονικό τεστ προσοχής (T.O.V.A.)</p> <p>Ανέφερε μια επίδραση του NFB στη μείωση της παρορμητικής συμπεριφοράς μέσω την ενίσχυση της λειτουργίας του μετωπιαίου λοβού</p> <p>(fNIRS) NFB μελέτη παρέμβασης:</p> <p>(Hudak et al) =&gt; μείωση της προσπαθειών με</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--

												<p>σφάλματα σε μια εργασία απαγόρευσης (Hudak et al)</p> <p>Πείραμα Δ) MBSR → Παρατήρησαν ότι η ομάδα που έπασχε από πόνο βίωσε σημαντικά λιγότερο πόνο μετά τη θεραπεία ενσυνειδητότητας από πριν, σε συνδυασμό με αυξημένη εγκεφαλική συνδεσιμότητα. Καλύτερη διαμόρφωση της δυναμικής του εγκεφαλικού δικτύου κάτω από την υποκειμενική εμπειρία του πόνου.</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

→→