

Εισήγηση στο:

**Πανελλήνιο Συνέδριο  
«Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΩΝ Τ.Π.Ε. ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ»**

*Υπό την αιγίδα του Υπουργείου Παιδείας*

Αθήνα, Ίδρυμα Ευγενίδου, 5 & 6 Νοεμβρίου 2016

**Εγκεφαλική διέγερση και διασύνδεση εγκεφάλου-  
υπολογιστή (Brain Computer Interface):  
εφαρμογές, προβληματισμοί.**

**Εγκεφαλική διέγερση και διασύνδεση εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain Computer Interface): εφαρμογές, προβληματισμοί.**

**Μερική εφαρμογή στην διδακτική της Χημείας Περιβάλλοντος και της εκπαίδευσης για την Αειφόρο Ανάπτυξη**

**Ιωάννης Π. Κωτσαλάς**

*Φυσικός Π.Ε.04.01, Δρ. Φυσικής Ε.Μ.Πολυτεχνείου,*

*Δρ. Χημείας, Εργ. Χημείας Περιβάλλοντος, Χημικό Τμήμα ΕΚΠΑ,*

*Έδρα & Δίκτυο UNESCO για τη Διαχείριση και την Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη στη Μεσόγειο*

*ikotsalas@chem.uoa.gr*

*ikotsalas1965@gmail.com*

### **Περίληψη**

Ως εγκεφαλική διέγερση ορίζεται η προσπάθεια αλλαγής της λειτουργικής κατάστασης κι εγρήγορσης του ανθρώπινου εγκεφάλου. Κάποιες εφαρμογές της είναι η βελτίωση της υγείας ατόμων που πάσχουν από νευρολογικές παθήσεις, η ενίσχυση της μνήμης, η ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων, η μάθηση κ.ά. Ορισμένες από τις παραπάνω εφαρμογές επιτυγχάνονται μέσω της διασύνδεσης εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain-Computer Interface, BCI). Εκτός της εγκεφαλικής διέγερσης, η BCI εφαρμόζεται στην επιτέλεση ενεργειών μόνο με τη σκέψη όπως η τηλεκατεύθυνση οχημάτων, αναπηρικών αμαξιδίων, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, η τροποποίηση γονιδιακών πρωτεϊνών, η ενδοεπικοινωνία εγκεφάλων χωρίς εκφορά λόγου, η διασύνδεση εγκεφάλων σε ένα διευρυμένο δίκτυο υπολογιστών κ.ά. Παρά τη διαπιστωμένη χρησιμότητα και των δύο τεχνικών (εγκεφαλικής διέγερσης και BCI), έχουν διατυπωθεί ορισμένοι προβληματισμοί για τη βιολογική ασφάλεια του ανθρώπου λόγω εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εγγύς ή εντός του εγκεφάλου. Επιπλέον έχουν διατυπωθεί ενστάσεις για θέματα αλλαγής στοιχείων του χαρακτήρα των εμπλεκομένων, θέματα δικαιοσύνης-ίσης μεταχείρισης και τέλος θέματα ελευθερίας κι ενδεχόμενης παραβίασης θεμελιωδών ανθρωπίνων δικαιωμάτων.

**Λέξεις – κλειδιά:** εγκεφαλική διέγερση, διασύνδεση εγκεφάλου-υπολογιστή BCI

## Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία φαινομενικά ίσως να «ταίριαζε» περισσότερο σε ένα συνέδριο ιατρικής χροιάς. Όμως μόνο φαινομενικά καθώς αποτελεί προϊόν διδακτορικής διατριβής ενός εν ενεργεία εκπαιδευτικού της Μέσης εκπαίδευσης με την επιθυμία να διαδοθεί-διαχυθεί η γνώση πρωτίστως στους συναδέλφους εκπαιδευτικούς και ακολούθως στους μαθητές.

Η εργασία αποτελεί μια βιβλιογραφική παρουσίαση-καταγραφή δημοσιεύσεων σχετικών με την εγκεφαλική διέγερση. Επιπλέον παρουσιάζονται στοιχεία κι εφαρμογές του διεπιστημονικού κλάδου που καλείται Διασύνδεση Εγκεφάλου-Υπολογιστή (Brain-Computer Interface, BCI) ή συνώνυμα Αλληλεπίδραση Ανθρώπου-Υπολογιστή (Human-Computer interaction, HCI) με ή χωρίς συνδυασμό εγκεφαλικής διέγερσης. Ο τελευταίος αυτός κλάδος είναι μια διαθεματική σύμπραξη Βιολογίας, Χημείας, Νευρολογίας, Ιατρικής, Πληροφορικής, Ηλεκτρονικής, Ηλεκτρολογίας, Γνωστικής Ψυχολογίας, κ.ά.

Στο εργαστήριό μας (Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος του Χημικού Τμήματος του ΕΚΠΑ) ασχοληθήκαμε σε ερευνητικό επίπεδο με την εγκεφαλική διέγερση μαθητών και φοιτητών με την πλέον απλή της μορφή που είναι η μέθοδος των εξωτερικών οπτικοακουστικών μεθόδων-ερεθισμάτων, δηλαδή παρουσιάσεις τύπου Powerpoint εμπλουτισμένες με τεχνικές των Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης (ΜΜΕ). Η διέγερση που επιχειρήσαμε ήταν παρόμοια με τη διέγερση που υφιστάμεθα καθημερινά από τα ΜΜΕ και κυρίως την τηλεόραση και το ραδιόφωνο. Τα ευρήματα της έρευνάς μας ήταν σύμφωνα με την πλειονότητα των σχετικών δημοσιεύσεων, οπότε η παρούσα βιβλιογραφική παρουσίαση περιλαμβάνει ως μικρή συνιστώσα της και τη δική μας προσπάθεια.

Ως εγκεφαλική διέγερση ορίζεται η τροποποίηση της λειτουργικής κατάστασης του εγκεφάλου από ένα στάδιο εγρήγορσης σε άλλο ή από μια συναισθηματική κατάσταση σε άλλη. Πρόκειται για ένα πολύ ευρύ σύνολο μεθόδων από πολύ απλές (όπως μια ρομαντική τηλεοπτική εκπομπή που διεγείρει το συναίσθημα) έως πολύ εξειδικευμένες (μέσω χειρουργικών επεμβάσεων στον εγκέφαλο). Στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται η εκτεταμένη πλέον εφαρμογή της εγκεφαλικής διέγερσης σε περιπτώσεις νευρολογικών ασθενειών όπως κατάθλιψη, σχιζοφρένεια, επιληπιών, παράλυσης, μυικής ατροφίας, Parkinson, άγχους, πόνου, απώλειας μνήμης κ.ά. (George, 2003; George, 2007; Deak, 2011; Σινανιώτης, 2008). Μάλιστα σε προηγμένες τεχνολογικά χώρες, όπως οι ΗΠΑ, συσκευές εγκεφαλικής διέγερσης έχουν περάσει στη ευρεία χρήση του κοινού με κρατική συνταγογράφηση, καθώς οι κατασκευάστριες εταιρείες έχουν ήδη πάρει άδειες χρήσης από τα αρμόδια Υπουργεία.

Συνδυασμός της εγκεφαλικής διέγερσης με την BCI εφαρμόζεται σε πειραματόζωα ή/και ανθρώπους για τη βελτίωση της μάθησης, της απομνημόνευσης, για τη διαμόρφωση επιλεγμένης συναισθηματικής-ψυχικής διάθεσης (mood formation)

(George, 1996; Regalado, 2014), τη δημιουργία ψευδών αναμνήσεων (De Lavilléon, 2015), τη διαγραφή τραυματικών αναμνήσεων (Lu, 2015), την τροποποίηση γονιδιακών πρωτεϊνών (Folcher, 2014), την αλλαγή στάσεων για κοινωνικά ή καθημερινά θέματα, ηθικής, πολιτικής, καταναλωτικών προϊόντων κ.ά. (Young, 2010; Knoch, 2006; Fecteau, 2007; Lo, 2003; Luber, 2009). Η περαιτέρω διερεύνηση των νευρωνικών μηχανισμών της ομιλίας, όρασης, ακοής, αντίληψης (George, 2003; George, 2007) είναι ακόμα ζητούμενο του συνδυασμού εγκεφαλικής διέγερσης και BCI. Αναφέρεται η χρήση αμφοτέρων για τη βελτίωση της απόδοσης στρατιωτών που εμπλέκονται σε πολεμικές συρράξεις (George, 2003; George, 2007; Regalado, 2014) για την ενδοεπικοινωνία εγκεφάλων χωρίς χρήση κοινού ασύρματου δικτύου και χωρίς εκφορά λόγου (Παπαθανάσης, 2011; Grau, 2014) και τη διασύνδεση εγκεφάλων σε ένα διευρυμένο δίκτυο υπολογιστών (Pais-Vieira, 2013). Τέλος αναφέρεται και η χρήση τους σε περιπτώσεις καταστολής διαδηλώσεων (Bunker, 2016).

Η εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων έχει επιλύσει πολλαπλά προβλήματα σε περιπτώσεις ασθενών με νευροκινητικές δυσκολίες. Όμως μεγάλη μερίδα της επιστημονικής κοινότητας εκφράζει ενστάσεις σχετικά με την εφαρμογή της προς ορισμένες από τις προαναφερθείσες κατευθύνσεις. Πιο συγκεκριμένα επιστήμονες προβληματίζονται για την αλλαγή συναισθημάτων, αλλαγή ψυχικής διάθεσης κατά το δοκούν, για την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων όχι για λόγους υγείας αλλά αποκλειστικά για λόγους πολυτέλειας και αυτοβελτίωσης, για τη δημιουργία πλασματικών αναγκών με σκοπό την αύξηση πωλήσεων, τη δημιουργία ψευδών απολαυστικών αναμνήσεων, την αλλαγή δομικών στοιχείων του χαρακτήρα, τον επηρεασμό στάσεων σε κοινωνικά θέματα, θέματα ασφάλειας και θέματα ηθικής (Hamilton, 2011).

### **Μέθοδοι εγκεφαλικής διέγερσης, εφαρμογές τους και η συνεισφορά της ψηφιακής τεχνολογίας**

Βασικές μέθοδοι εγκεφαλικής διέγερσης και ορισμένες εφαρμογές τους είναι οι ακόλουθες :

A) Διέγερση με απλά εξωτερικά αισθητικά ερεθίσματα (οπτικά, ακουστικά, οσφρητικά κ.ά. ερεθίσματα). B) Διέγερση με χρήση ηλεκτρικών ή/και μαγνητικών σημάτων (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκτός φωτός προς τους οφθαλμούς). Η διέγερση αυτού του τύπου μπορεί να πραγματοποιηθεί με πομπό εξωτερικά του εγκεφάλου (μη-χειρουργικά) ή πηγή σημάτων εντός του εγκεφάλου (χειρουργικά με εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές διατάξεις-chips). Γ) Διέγερση με διοχέτευση φωτός απευθείας στο εσωτερικό του εγκεφάλου μέσω οπτικών ινών-Οπτογενετική (Optogenetics)- που πραγματοποιείται χειρουργικά με εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικοοπτικές διατάξεις. Δ) Διέγερση μέσω φαρμακευτικών ουσιών.

Διευκρινιστικά στη B) διέγερση μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και Γ) στην Οπτογενετική εμπλέκεται η διασύνδεση Εγκεφάλου-Υπολογιστή Brain-Computer In-

terface, BCI). Επίσης ερευνάται ή εφαρμόζεται η συμπληρωματική χρήση δύο ή περισσότερων από τους παραπάνω τρόπους διέγερσης. Αναλυτικότερα:

A) Διέγερση με απλά εξωτερικά αισθητικά ερεθίσματα (οπτικά, ακουστικά, οσφρητικά κ.ά. ερεθίσματα).

Είναι ο κλασικός τρόπος διέγερσης του εγκεφάλου μέσω απλής έκθεσης σε ένα εξωτερικό αισθητικό ερέθισμα (οπτικό, ακουστικό, οσφρητικό κ.ά. ερέθισμα). Τα εξωτερικά αισθητικά ερεθίσματα μπορεί να ανήκουν σε μια από τις τρεις ακόλουθες κατηγορίες όσον αφορά τις προτιμήσεις του αποδέκτη-ανθρώπου: i) αδιάφορα, ii) ανταμοιβής (ιατρικός όρος, με αυτόν εννοούνται τα ερεθίσματα απόλαυσης κι ευχαρίστησης) ή iii) τιμωρίας (ιατρικός όρος με αυτόν εννοούνται τα ερεθίσματα άγχους, αγωνίας, πρόκλησης φόβου) για το άτομο που εκτίθεται σε αυτά. Η απλή έκθεση σε ένα ερέθισμα μπορεί να επιδράσει ή να μην επιδράσει στο άτομο. Το ερέθισμα θα επιδράσει όταν είναι απολαυστικό, χαρούμενο (ανταμοιβής) ή φόβου, απειλής (τιμωρίας) και ταυτόχρονα σχετίζεται με τα ενδιαφέροντα ή τις τρέχουσες ανάγκες του ατόμου που δεν έχουν καλυφθεί. Τότε πιθανότατα θα έχει μεγάλη επίδραση στον εγκέφαλο και θα εγείρει συναισθήματα και συμπεριφορές. Αντίθετα το ερέθισμα δεν θα επιδράσει αν: α) είναι αδιάφορο δηλαδή δεν είναι ανταμοιβής ή τιμωρίας για τον συγκεκριμένο άτομο ή δεν εμπίπτει στα ενδιαφέροντα και στις ανάγκες του τη δεδομένη χρονική στιγμή (Guyton, 1998; Vander-english, 1994; Vander, 2001; Σιώκος, 1994; Wolfe, 2003) ή, β) αν είναι ανταμοιβής ή τιμωρίας αλλά απευθύνεται σε μια ανάγκη επιβίωσης που μόλις έχει καλυφθεί (Kandel, 2000) π.χ. μάλλον δεν θα επιδράσει ιδιαίτερα η θέα ενός ψυγείου σε έναν Εσκιμώο που ζει στην Αλάσκα. Ίσως φανεί παράξενο στον αναγνώστη ότι τα ερεθίσματα τιμωρίας επιδρούν στον αποδέκτη τους. Όμως η Ιατρική διατείνεται ότι τα ερεθίσματα που μένουν στη μνήμη μας είναι τα ανταμοιβής-ευχάριστα ή τα τιμωρίας-δυσάρεστα. Τα αδιάφορα ερεθίσματα περνούν χωρίς να επιδράσουν. Επίσης αν συγκριθεί η δράση ερεθισμάτων τιμωρίας από τη μία κι ανταμοιβής από την άλλη, η επίδραση των πρώτων είναι ισχυρότερη των δεύτερων (Guyton, 1998). Η μέθοδος αυτή έχει αξιοποιηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τους διαφημιστές και τους διαμορφωτές της Κοινής γνώμης στα MME. Ουσιαστικά όλα τα MME χρησιμοποιούν εκτεταμένα μεθόδους εγκεφαλικής διέγερσης αυτής της κατηγορίας.

Στα οπτικοακουστικά ερεθίσματα υπάγονται και οι οπτικές υποκατωφλικές πληροφορίες ή ερεθίσματα αντιληπτά εκτός επίγνωσης (subliminal ή perceived without awareness) κι επίσης οι υπόηχοι ή οι ήχοι με συχνότητες εγγύς των υποήχων. Η επίδραση των υποκατωφλικών ερεθισμάτων είναι πλέον διαπιστωμένη δηλαδή επηρεάζουν τις κρίσεις και τις στάσεις των ανθρώπων χωρίς αυτοί καν να γνωρίζουν την ύπαρξή τους (Dixon, 1971; Dixon, 1981; Pessiglione, 2008; Bargh, 2014). Επιπλέον οι ήχοι χαμηλής συχνότητας, σχεδόν υπόηχοι, προκαλούν αγωνία, αδικαιολόγητη ανησυχία, ανασφάλεια και φόβο (Guzas-Virsilas, 2009; Persinger, 2014).

B) Διέγερση με χρήση ηλεκτρικών ή/και μαγνητικών σημάτων (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκτός φωτός προς τους οφθαλμούς).

Η διέγερση αυτού του τύπου μπορεί να πραγματοποιηθεί με πομπό εξωτερικά του εγκεφάλου (μη-χειρουργικά) ή πηγή σημάτων εντός του εγκεφάλου (χειρουργικά με εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικές διατάξεις-chips). Απαραίτητος συνοδευτικός εξοπλισμός είναι κατάλληλο υλισμικό (hardware) και λογισμικό (software). Εναλλακτικοί τρόποι αυτής της διέγερσης είναι:

B1) Χειρουργική διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος σε επιλεγμένα κέντρα του εγκεφάλου μέσω εμφυτευμένων ηλεκτροδίων (Deak, 2011; George, 2003; George, 2007). Παραλλαγές είναι η βαθιά εγκεφαλική διέγερση (deep brain stimulation-DBS), η διέγερση του πνευμονογαστρικού νεύρου (vagus nerve stimulation-VNS), οι εμφυτεύσιμες διατάξεις τύπου chip κ.ά. Οι παραπάνω τεχνικές έχουν εγκριθεί για τη θεραπεία της νόσου Parkinson κι επιληπτικών κρίσεων στις ΗΠΑ, ενώ ερευνάται έντονα η δυνητική χρήση τους για την ανακούφιση ή και θεραπεία της κατάθλιψης, του άγχους, των τάσεων αυτοκτονίας. Βρίσκεται σε εξέλιξη ευρεία κλίμακας σχετικό ερευνητικό πρόγραμμα που εφαρμόζεται σε βετεράνους του Αμερικανικού Στρατού για να ελέγξει και τροποποιήσει τα συναισθήματα όσων έχουν επιστρέψει από τα ανά τον κόσμο πολεμικά μέτωπα και πάσχουν «επιδημικά» πλέον από κατάθλιψη και σοβαρές ψυχολογικές διαταραχές (Regalado, 2014). Να επισημανθεί ότι η διέγερση αυτού του είδους μπορεί να διεγείρει συμπεριφορές, συναισθήματα και ανάγκες που μόλις έχουν καλυφθεί και υπό κανονικές προϋποθέσεις θα έμεναν ανενεργές. Άρα πρόκειται περί πολύ δραστηκής μεθόδου.

B2) Μη χειρουργική διοχέτευση ηλεκτρικών ρευμάτων εξωτερικά-περιμετρικά στο κρανίο (διακρανιακή ηλεκτρική διέγερση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος-transcranial direct ή alternative current stimulation tDCS ή tACS). Στις ΗΠΑ έχει εγκριθεί για τη διαχείριση της κατάθλιψης, χρησιμοποιείται για τη μείωση του πόνου, την περαιτέρω διαφώτιση των γνωστικών μηχανισμών (μνήμη, μάθηση, αντίληψη κ.ά.) και την βελτίωση γνωστικών δεξιοτήτων (όπως εκμάθηση ξένων γλωσσών, επίλυση προβλημάτων γραμματικής και αριθμητικής). Εταιρεία των ΗΠΑ προωθεί εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου μέσω έξυπνου κινητού με την οποία ηρεμεί το χρήστη ή του αυξάνει την εγρήγορση ανάλογα με την επιθυμία του (Bullis, 2014).

B3) Εφαρμογή μαγνητικών ή ηλεκτρομαγνητικών πεδίων πεδίων (με μη χειρουργικό ή με χειρουργικό τρόπο) με τις εξής παραλλαγές:

- Μη χειρουργική διακρανιακή μαγνητική διέγερση (transcranial magnetic stimulation TMS) και βαθιά εγκεφαλική μαγνητική διέγερση (deep brain magnetic stimulation DBS). Με τις μεθόδους αυτές πηνία εκτός του εγκεφάλου εκπέμπουν μαγνητικά πεδία εστιάζοντας σε επιλεγμένα εγκεφαλικά νευρωνικά κυκλώματα με στόχο τη θεραπεία της κατάθλιψης κι άλλων νευρολογικών παθήσεων, αύξηση της απόδοσης σε συνθήκες έλλειψης ύπνου κι έντονης κόπωσης, ανάδειξη κρυμμένων δεξιοτήτων κ.ά. (Hamilton, 2011).

- Διέγερση με ηλεκτρομαγνητικά σήματα υψηλής συχνότητας διαμορφωμένα από πολύ χαμηλές συχνότητες (extremely low frequency-ELF) με πομπό μη χειρουργικά ή χειρουργικά τοποθετημένο εντός του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος λειτουργεί φυσιολογικά σε διάφορες καταστάσεις εγρήγορσης οι οποίες καταγράφονται ως ηλεκτρική δραστηριότητα στο εγκεφαλογράφημα. Συνοπτικά αυτές είναι η βαθειά καταστολή, όπου στο εγκεφαλογράφημα εμφανίζονται ηλεκτρικές διακυμάνσεις κυρίως 0-3 Hz και χαρακτηρίζεται ως εγκεφαλικός ρυθμός δέλτα, η χαλάρωση, με διακυμάνσεις 4-7 Hz που ονομάζεται ρυθμός θήτα, η νηφαλιότητα, που χαρακτηρίζεται ρυθμός άλφα 8-13 Hz, η αυξημένη εγρήγορση, ρυθμός βήτα 13-30 Hz, ο ρυθμός γάμμα 30-80 Hz κ.ά. Έξωθεν εκπομπή προς τον εγκέφαλο διαμορφωμένων κατά πλάτος (amplitude modulation AM) υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων από σήματα πολύ χαμηλής συχνότητας μπορούν να αλλάξουν την κατάσταση λειτουργίας του εγκεφάλου, «συντονίζοντάς» τον σε μια διαφορετική κατάσταση εγρήγορσης από την υφιστάμενη. Αυτό μπορεί να λάβει χώρα αν οι πολύ χαμηλές συχνότητες διαμόρφωσης εμπίπτουν στις παραπάνω καταστάσεις εγρήγορσης του εγκεφάλου (από 0-100 Hz) (Pérez-Bruzón, 2009; Azanza, 2010; Beason-Semm, 2002; RossAdey, 2003). Ο παραπάνω συντονισμός μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη συναισθηματική κατάσταση, στην κατάσταση εγρήγορσης, στη συμπεριφορά, στους βιορυθμούς και στις αντιδράσεις.

- Ταυτοποίηση μέσω RFID. Κατάλληλη εμφυτεύσιμη διάταξη μπορεί να λειτουργήσει ως συσκευή ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency identification-RFID, δηλαδή να αλληλεπιδρά με ένα εξωτερικό σαρωτή (scanner) με ασύρματο ηλεκτρομαγνητικό τρόπο και να του «γνωστοποιεί» τα αποθηκευμένα δεδομένα του που αφορούν το πρόσωπο στο οποίο είναι εμφυτευμένο. Τα δεδομένα μπορεί να είναι στοιχεία ταυτότητας, περιστασιακά ή αποθηκευμένα ιατρικά δεδομένα, τραπεζικοί αριθμοί, κωδικοί πρόσβασης κ.ά. Μπορεί να περιέχει αισθητήρες μέτρησης βιολογικών τιμών (αιματοκρίτη, σάκχαρο, πίεση κ.ά.). Μπορεί επίσης και να δέχεται οδηγίες από εξωτερικές πηγές και να ανανεώνει τα δεδομένα του ή να ανανεώνει το πρόγραμμα λειτουργίας του (software).

Γ) Διέγερση με διοχέτευση φωτός απευθείας στο εσωτερικό του εγκεφάλου μέσω οπτικών ινών-Οπτογενετική (Optogenetics)

Η σύγχρονη αυτή τεχνική που πραγματοποιείται χειρουργικά με εμφυτεύσιμες ηλεκτρονικοοπτικές διατάξεις κι αναγκαίο εξωτερικό υλισμικό και λογισμικό. Στη μέθοδο αυτή πρωτεΐνες, ευαίσθητες σε διάφορα μήκη κύματος του ορατού φάσματος (οψίνες), εισάγονται με μεθόδους βιοτεχνολογίας σε κατάλληλα νευρωνικά εγκεφαλικά κυκλώματα. Οι φωτοευαίσθητες αυτές πρωτεΐνες διεγείρουν ή απενεργοποιούν τις ομάδες νευρικών κυττάρων στις οποίες έχουν προσαρτηθεί, όταν φωτίζονται με ακτινοβολία κατάλληλου χρώματος. Με αυτόν τον τρόπο, τα νευρικά κύτταρα του εγκεφάλου «ανοιγοκλείνουν» σαν διακόπτες και έτσι επιτυγχάνεται χειρισμός πολλών κέντρων που σχετίζονται με διάφορες νοητικές λειτουργίες (μνήμη, ομιλία, συναίσθημα, κίνηση κ.ά.). Χρησιμοποιείται στη μελέτη νευροψυχιατρικών

παθήσεων, όπως διαταραχές του ύπνου, σε θέματα μυϊκής κίνησης, φοβιών, θεραπεία από εξαρτησιογόνες ουσίες, νόσο του Parkinson, ζητήματα μνήμης, κατάθλιψης, αυτισμού και σχιζοφρένειας. Διαφαίνονται και εφαρμογές στην καρδιολογία, στην οφθαλμολογία, στην θεραπεία κακώσεων του νωτιαίου μυελού και σκλήρυνσης κατά πλάκας (Κούσης, 2013; Smith, 2013; Buchen, 2010; Deisseroth, 2011; Deisseroth, 2010).

#### Δ) Διέγερση μέσω φαρμακευτικών ουσιών

Ορισμένα φάρμακα χορηγούμενα είτε ως χάπι, είτε ενδοφλέβια, είτε με απευθείας έγχυση στον εγκέφαλο διεγείρουν τον εγκέφαλο επηρεάζοντας τα κέντρα ανταμοιβής ή τιμωρίας και συνακόλουθα το συναίσθημα, τη διάθεση ή τις ανάγκες.

#### **Διατύπωση ενστάσεων και επιφυλάξεων από πλευράς επιστημονικής κοινότητας**

Κατόπιν της σύντομης αναφοράς χαρακτηριστικών εφαρμογών της εγκεφαλικής διέγερσης σε συνδυασμό ή ανεξάρτητα με την BCI παρατίθενται ενστάσεις και προβληματισμοί σταχυολογημένοι από την διεθνή κι εγχώρια βιβλιογραφία.

- Βιολογικές, γνωστικές και συμπεριφορικές επιπτώσεις: Η αυξημένη χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προκαλεί επικίνδυνες βιολογικές επιδράσεις στον οργανισμό ειδικότερα των παιδιών (Morgan, 2014). Έχουν αναφερθεί προβλήματα μετάλλαξης, σπασίματος των αλυσίδων του DNA (Diem, 2005), δημιουργίας νεοπλασιών, ακόμα και μείωσης της πυκνότητας της φαιάς ουσίας του εγκεφάλου! Επιπλέον στο επίπεδο των γνωστικών λειτουργιών (Loh & Kanai, 2014) έχουν αναφερθεί προβλήματα διάσπασης προσοχής, αντίληψης, δυσλεξιών, δυσκολίας στη σύναψη κοινωνικών σχέσεων και στην εκδήλωση συναισθηματικών φαινομένων. Έχει επίσης αναφερθεί συχνότατη εμφάνιση επιληπτικών κρίσεων κ.ά.
- Θέματα αλλαγής θεμελιωδών χαρακτηριστικών του χαρακτήρα: Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις πρόσκαιρης αλλαγής της άποψης των υποβαλλόμενων στις τεχνικές εγκεφαλικής διέγερσης πάνω σε θέματα ηθικής, τιμιότητας και συμπεριφοράς. Μετά από εφαρμογή των τεχνικών μαγνητικής διέγερσης επηρεάστηκε η συμπεριφορά των εμπλεκομένων σε θέματα τιμιότητας και ψεύδους δρώντας περισσότερο προς το ίδιο συμφέρον έναντι της προηγούμενης δικαιότερης συμπεριφοράς (Hamilton, 2011).
- Θέματα δικαιοσύνης και ίσης μεταχείρισης: Γιατροί από το Πανεπιστήμιο Πενσυλβάνια θέτουν το ακόλουθο θέμα: οι οικονομικά ισχυροί οι οποίοι μπορούν να συμμετάσχουν στις τεχνικές διέγερσης που σήμερα έχει πολύ υψηλό κόστος, θα είναι επαγγελματικά και κοινωνικά ανταγωνιστικότεροι σε ενδεχόμενη βελτίωση γνωστικών δεξιοτήτων έναντι όσων δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να υποβληθούν σε αυτές (Hamilton, 2011).



- Θέματα αυτονομίας, ιδιωτικότητας και παραβίασης ανθρώπινης ελευθερίας: Η χρήση τεχνικών διέγερσης (ηλεκτρομαγνητικός συντονισμός ή οπτογενετική) μπορεί να παραβιάσει θεμελιώδη ανθρώπινα δικαιώματα. Η εξακρίβωση της αλήθειας των ισχυρισμών ενός προσώπου είναι θέμα στο οποίο μπορεί να συμβάλλουν οι τεχνικές νευρολογικής απεικόνισης και διέγερσης (κάτι ανάλογο με τον ορό της αλήθειας). Η διαμόρφωση της ψυχικής διάθεσης (mood modulation) ενός ατόμου όχι για θεραπευτικούς λόγους, αλλά για λόγους αυτοβελτίωσης μπορεί να επιτευχθεί με τις μεθόδους διέγερσης. Τα παραπάνω και πολλά ακόμα συνιστούν δυνητική πρόσβαση «στον εγκέφαλο» των πολιτών από μια ανελεύθερη κυβερνητική αρχή κατά το δοκούν. Αυτά αποτελούν μείζονα ηθικά ζητήματα (Hamilton, 2011). Ας μη ξεχνάμε την περίπτωση του νευροεπιστήμονα J. Delgado ο οποίος το 1970, στο Πανεπιστήμιο Yale προκάλεσε τροποποίηση συμπεριφοράς κι έλεγχο των εγκεφάλων και των σωμάτων των υποκειμένων ανθρώπων και ζώων. Ο Delgado ο οποίος αρχικά χρηματοδοτήθηκε από το Στρατό, εγκατέλειψε τις Ηνωμένες Πολιτείες μετά από φήμες στο Κογκρέσο που τον κατηγορούσαν για «δικτατορικές συσκευές ελέγχου του εγκεφάλου» και η έρευνά του διακόπηκε επίσημα (Horgan, 2005; Regalado, 2014; Κούσης, 2013). Παρόμοιοι προβληματισμοί καταγράφονται στην περίπτωση σύνδεσης πολλών εγκεφάλων σε ένα βιολογικό υπερεγκέφαλο. Κι ενώ η αρχική σκέψη είναι να κατευθύνει ο εγκέφαλος ενός υγιούς ανθρώπου τον εγκέφαλο νευρολογικά ασθενών, αμέσως ανέκυψε φόβος για ενδεχόμενη «χειραγώγηση από τον ισχυρό» εγκέφαλο (Pais-Vieira, 2013).
- Θέματα νευρομάρκετινγκ και νευροοικονομίας: Ο C.Fisher από το Τμήμα Ψυχιατρικής του Πανεπιστημίου Columbia (Fisher, 2010; Glimcher, 2004) αναφέρει σχετικά με το Νευρομάρκετινγκ: *«Ως Νευρομάρκετινγκ μπορεί διστακτικά να οριστεί το μάρκετινγκ που είναι σχεδιασμένο στη βάση της έρευνας της νευροεπιστήμης»* και αποβλέπει στη χρήση των επιτευμάτων της Νευροεπιστήμης για την καθαρή κερδοφορία κι όχι για θέματα αποκατάστασης ασθενειών. Αντίστοιχα *«Νευροοικονομικά είναι ο κλάδος που μελετά διάφορα ζητήματα λήψης αποφάσεων οικονομικού τύπου»* αξιοποιώντας τη νευροεπιστήμη. Το νευρομάρκετινγκ έχει δημιουργήσει πλήθος ενστάσεων και προβληματισμών καθώς εμπλέκει σύνθετα ζητήματα σχέσεων ακαδημαϊκών με τη βιομηχανία.

### **Παρουσιάσεις σε μαθητές και φοιτητές**

Από το εργαστήριο μας (Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος του Χημικού Τμήματος του ΕΚΠΑ) έλαβαν χώρα παρουσιάσεις σε μαθητές-φοιτητές στις οποίες προβαλλόταν το ίδιο υλικό που αφορούσε θέματα Περιβαλλοντικής Χημείας και Αειφόρου Ανάπτυξης, αλλά με διαφορετικούς τρόπους παρουσίασης-εγκεφαλικής διέγερσης. Όλοι οι τρόποι που χρησιμοποιήθηκαν εμπίπτουν στην πιο απλή και συνηθισμένη από τα ΜΜΕ, κατηγορία εγκεφαλικής διέγερσης με εξωτερικά αισθητικά ερεθίσματα (οπτικά και ακουστικά-την παραπάνω επονομαζόμενη Α-κατηγορία). Οι παρουσιάσεις ήταν χρονικής διάρκειας περίπου 135 λεπτών. Χρησιμοποιήθηκε απλή διέγερση μέσω προβαλλόμενων στατικών κειμένων και

εικόνων αλλά και περισσότερο εμπλουτισμένες παρουσιάσεις με τρόπους που χρησιμοποιούν τα MME, όπως τεχνικές σύλληψης της προσοχής (δηλαδή έντονες λάμπες, γρήγορη εναλλαγή εικόνων, θεμάτων και χρωμάτων), συνεχείς επαναλήψεις, συναισθηματική μουσική, τοποθέτηση του αντικειμένου ενδιαφέροντος σε κατάλληλη θέση στην οθόνη κ.ά. Τα αποτελέσματα από τους 386 εμπλεκόμενους μαθητές της Β και Γ τάξης 5 Γυμνασίων της Αττικής και τους 316 φοιτητές από Ιδρύματα Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης στην Αττική επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα των τεχνικών που χρησιμοποιούν τα MME. Η έρευνα έλαβε χώρα το χρονικό διάστημα 2011-2014.

### **Συμπεράσματα**

Στο παρόν άρθρο έγινε μια βιβλιογραφική επισκόπηση δημοσιεύσεων σχετικών με την εγκεφαλική διέγερση, τη διασύνδεση εγκεφάλου-υπολογιστή, τη χρησιμότητα και τις ενστάσεις. Συμπερασματικά προκύπτει ότι οι συγκεκριμένοι επιστημονικοί κλάδοι μπορούν να ευεργετήσουν τον άνθρωπο αλλά η λανθασμένη χρήση τους μπορεί και να τον υποδουλώσει. Ας ευχηθούμε όλα αυτά τα θαυμαστά επιτεύγματα να χρησιμοποιηθούν για την απάλυνση του ανθρώπινου πόνου, το σεβασμό του ανθρώπινου προσώπου, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του κι όχι για περαιτέρω ανθρώπινη εκμετάλλευση.

### **Βιβλιογραφικές αναφορές**

Azanza, M.J., Moral, A., & Pérez-Bruzón, R.N. (2010). Bioelectric effects of low-frequency modulated microwave fields on nervous system cells. In Moumita Mukherjee (Ed), *Advanced Microwave and Millimeter Wave Technologies: Semiconductor Devices, Circuits and Systems*: InTech, 589-626.

Bargh, J.A. (2014). Our unconscious mind. *Scientific American*, 30-37.

Beason, R.C., & Semm, P. (2002). Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*, 333, 175-178.

Buchen, L.(2010). Illuminating the Brain. *Nature*, News feature, 465.

Bullis, K. (2014). Device Changes Your Mood with a Zap to the Head. *MIT Technology Review*, Biomedicine news.

Bunker, R.J.(2016). Nonlethal weapons: terms and references, *USAF Institute for National Security Studies, USAF Academy, Colorado*, <http://aquafoam.com/papers/Bunker.pdf>. προσπελάστηκε το 2016.

De Lavilléon, G., Masako Lacroix, M., Rondi-Reig, L., & Benchenane, K.(2015). Explicit memory creation during sleep demonstrates a causal role of place cells in navigation. *Nature Neuroscience*, 18, 493-495, doi:10.1038/nn.3970.

Deak, A. (2011). Brain and emotion: Cognitive neuroscience of emotions. *Review of Psychology*, 18, 2, 71-80.

Deisseroth, K. (2011). Optogenetics, *Nature*, methods, 8, 1.

Deisseroth, K. (2010). Controlling the Brain with Light. *Scientific American, neuroscience*.

Diem, E., Schwarz, C., Adlkofer, F., Jahn, O., & Rudiger, H. (2005). Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutation Research*, 583, 178–183.

Dixon, N.F. (1971). *Subliminal perception, the nature of a controversy*. McGraw-Hill.

Dixon, N.F. (1981). *Preconscious processing*. Chichester.

Fecteau, S., Knoch, D., Fregni, F., Sultani, N., Boggio, P., & Pascual-Leone, A. (2007). Diminishing risk-taking behavior by modulating activity in the prefrontal cortex: a direct current stimulation study. *Journal of Neuroscience*, 27, 12500-12505.

Fisher, C.E., Chin, L., & Klitzman, R. (2010). Defining Neuromarketing: Practices and Professional Challenges. *Harvard Review Psychiatry*, 18(4), 230–237.

Folcher, M., Oesterle, S., Zwicky, K., Thekkottil, T., Heymoz, J., Hohmann, M., Christen, M., El-Baba, M.D., Buchmann, P., & Fussenegger, M. (2014). Mind-controlled transgene expression by a wireless-powered optogenetic designer cell implant. *Nature Communications*, 5, 5392.

George, M.S. (2003). Stimulating the brain. *Scientific American*, 66-73.

George, M.S. (2007). Διεγείροντας τον εγκέφαλο. *Scientific American (ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ)*, 78-86.

George, M.S., Wassermann, E.M., & Williams, W.A. (1996). Changes in mood and hormone levels after rapid-rate transcranial magnetic stimulation (rTMS) of the prefrontal cortex. *Journal of Neuropsychiatry Clinical Neuroscience*, 8, 172–180.

Glimcher, P. (2004). Neuroeconomics: the consilience of brain and decision. *Science*, 306, 447-452.

Glucksberg, S. (1982). Not seeing is believing, perception without awareness. *Contemporary Psychology*, 27, 11, 856-858.

Grau, C., Ginhoux, R., Riera, A., Nguyen, T.L., Chauvat, H., Berg, M., Amengual, J.L., Pascual-Leone, A., & Ruffini, G. (2014). Conscious Brain-to-Brain Communication in Humans Using Non-Invasive Technologies. *PLoS ONE*, 9(8).

Guyton, A.C., & Hall, J.E. (1998). *ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ*, 2η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ, ΤΟΜΟΣ 2<sup>ος</sup>. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ "ΓΡΗΓ. ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΣ", ΜΑΡΙΑ ΓΡ. ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ, ΑΘΗΝΑ.

Guzas, D., & Virsilas, R. (2009). Infrasound hazards for the environmental and the ways of protection. *Ultrasound*, 64,3, 34-37.

Hamilton, R., Messing, S., & Chatterjee, A. (2011). Rethinking the thinking cap : Ethics of neural enhancement using noninvasive brain stimulation. *Neurology*, 76, 187.

Horgan, J. (2005). The forgotten Era of Brain Chips. *Scientific American*, 66-73.

Kandel, E.R., Schwartz, J.H., & Jessell, T.M. (2000). *ΝΕΥΡΟΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ*. 2η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

Knoch, D., Pascual-Leone, A., Meyer, K., Treyer, V., & Fehr, E. (2006). Diminishing reciprocal fairness by disrupting the right prefrontal cortex. *Science*, 314, 829–832.

Lo, Y.L., Fook-Chong, S., & Tan, E.K. (2003). Increased cortical excitability in human deception. *Neuroreport*, 14, 1021–1024.

Loh, K.K., & Kanai, R. (2014). Higher Media Multi-Tasking Activity Is Associated with Smaller Gray-Matter Density in the Anterior Cingulate Cortex. *PLoS ONE*, 9, 9.

Luber, B., Fisher, C., Appelbaum, P.S., Ploesser, M., & Lisanby, S.H. (2009). Non-invasive brain stimulation in the detection of deception: scientific challenges and ethical consequences. *Behaviour Science Law*, 27, 191–208.

Morgan, L.L., Kesari, S., & Davis, D.L. (2014). Why children absorb more microwave radiation than adults: The consequences. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 2, 197–204.

Pais-Vieira, M., Lebedev, M., Kunicki, C., Wang, J., Nicolelis, M.A.L. (2013). A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information. *Scientific reports*, 3, 1319.

Pérez-Bruzón, R.N., Figols, T., Azanza, M.J., & Moral, A. (2009). Demodulation Effect is Observed in Neurons by Exposure to Low Frequency Modulated Microwaves. *International Conference on Magnetism (ICM 2009)*, IOP Publishing (<http://iopscience.iop.org/1742-6596/200/12/122008>) προσπελάστηκε 12/11/2011).

Persinger, M.A. (2014). Infrasound, human health, and adaptation: an integrative overview of recondite hazards in a complex environment. *Nat Hazards*, 70, 501–525.

Pessiglione, M., Petrovic, P., Daunizeau, J., Palminteri, S., Dolan, R.J., & Frith, C.D. (2008). Subliminal Instrumental Conditioning Demonstrated in the Human Brain. *Neuron*, 59, 561-567.

Regalado, A. (2014). Military funds Brain computer interfaces to control feelings. *MIT Technology Review*.

RossAdey, W. (2003). Electromagnetic fields, the modulation of brain tissue functions. A possible paradigm shift in biology. In Smith,B., & Adelman,G. (eds), *International Encyclopaedia of Neuroscience*, Third Edition, Elsevier, New York.

Vander, A., Sherman, J., & Luciano, D. (1994). *HUMAN PHYSIOLOGY THE MECHANICS OF BODY FUNCTION*. 6<sup>th</sup> edition, NEW YORK, Mc GRAW-HILL.

Vander, A., Sherman, J., Luciano, D., & Τσακόπουλος, Μ. (2001). *ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ*. 8η ΕΚΔΟΣΗ, ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΣΧΑΛΙΔΗ

Wolfe, J.M., Horowitz, T.S., & Treisman, A. (2003). What we shall do with the preattentive processing stage. Use it or lose it. Third annual meeting of the Vision Science Society, Sarasota FL, (<http://search.bwh.harvard.edu/links/talks/VSS03-JMW.pdf>, προσπελάστηκε 16/7/2008).

Young, L., Camprodon, J.A., Hauser, M., Pascual-Leone, A., & Saxe, R. (2010). Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgements. *Proc. National Acad. Sciences, USA*, 107, 6753– 6758.

Κούσης, Θ.(2013). Οπτογενετική, η τεχνολογία του απόλυτου νευρολογικού ελέγχου. *Περισκόπιο της Επιστήμης*, 374, 25-37.

Παπαθανάσης, Η. (2011). DAPRA, η Τεχνολογική καινοτομία στην υπηρεσία της Άμυνας. *Περισκόπιο της Επιστήμης*, 356, 23-37.

Σινανιώτης, Κ. (2008). Ανάπηροι υπεραθλητές και βιονικοί άνθρωποι. *Περισκόπιο της Επιστήμης*, 328, 23-36.

Σιώμκος, Γ. (1994). *Συμπεριφορά Καταναλωτή και Στρατηγική Μάρκετινγκ*. (Τόμος Α), Σταμούλης.