

# Στερεοσκοπική όραση σε πραγματικό και εικονικό περιβάλλον εκπαιδευτικού περιεχομένου

Γ. Κ. Ζαχαρίας, Τ. Α. Μικρόπουλος

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
gzacharis@uoi.gr, amikrop@uoi.gr

## Περίληψη

Η ανάπτυξη και χρήση στερεοσκοπικών τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων συνίσταται για εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς φαίνεται να προσεγγίζει τα πραγματικά περιβάλλοντα σε ό, τι αφορά τη γνωστική επεξεργασία που προκαλούν. Στην παρούσα έρευνα μελετάται η εγκεφαλική λειτουργία με χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEΓ), κατά τη διάρκεια αλληλεπίδρασης γυναικών με τρισδιάστατα εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα εκπαιδευτικού περιεχομένου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον απέδωσε σωστά και σε μεγάλο βαθμό την αίσθηση του βάθους και φάνηκε εν γένει το ίδιο οικείο για τις συμμετέχουσες αναπαριστώντας με αρκετά μεγάλη πιστότητα το πραγματικό. Το παρόν άρθρο συμβάλλει στο νέο επιστημονικό πεδίο της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης, παρέχοντας τα πρώτα διεθνώς πειραματικά δεδομένα για τις εγκεφαλικές λειτουργίες σε περιβάλλοντα με εκπαιδευτικό περιεχόμενο.

**Λέξεις κλειδιά:** εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, στερεοσκοπία.

## 1. Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, παρατηρείται μια έκρηξη της έρευνας, η οποία μπορεί να επικεντρωθεί στην κατά το μάλλον ευρεία έννοια της «εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης». Το 1997, ο John Bruer προτείνει στην επιστημονική κοινότητα μια θεωρία σχετική με τις νευροεπιστήμες και την εκπαίδευση σχετικά με τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ νευροεπιστημών και εκπαίδευσης και το διαχωρισμό τους σε τρία επιστημονικά πεδία: τις νευροεπιστήμες, τη γνωσιακή επιστήμη και την εκπαίδευση, θεωρώντας εφικτή τη σύνδεση νευροεπιστημών – γνωσιακής επιστήμης και γνωσιακής επιστήμης – εκπαίδευσης (Bruer, 1997).

Ο εγκέφαλος αλλάζει μέσω της μάθησης γεγονός που επηρεάζει το τι και πώς μαθαίνεται στο μέλλον. Κάτω από μια βιολογική θεώρηση και την εισαγωγή της νευροεπιστήμης στην εκπαίδευση η μάθηση ορίζεται ως μια διαδικασία δημιουργίας νευρωνικών συνδέσεων σε απόκριση εξωτερικών ερεθισμάτων (Ferrari, 2011; Koizumi, 2011). Οι νέες ιδέες από τον ευρύτερο τομέα της νευροεπιστήμης εφαρμόζονται στη μελέτη των βασικών μηχανισμών μάθησης (Beddington et al.,

---

Α. Λαδιάς, Α. Μικρόπουλος, Χ. Παναγιωτακόπουλος, Φ. Παρασκευά, Π. Πιντέλας, Π. Πολίτης, Σ. Ρετάλης, Δ. Σάμψων, Ν. Φαχαντίδης, Α. Χαλκίδης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Ένταξη των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία» της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης ΤΠΕ στην Εκπαίδευση (ΕΤΠΕ), Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιώς, 10-12 Μαΐου 2013

2008). Η εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, φαίνεται να παρέχει ένα εννοιολογικό πλαίσιο για την κατανόηση σε βάθος του τρόπου που ο ανθρώπινος εγκέφαλος δημιουργεί γνωστικά συστήματα από την αισθητήρια είσοδο των ερεθισμάτων.

Μελέτες τονίζουν τη σπουδαιότητα του πεδίου της «εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης». Οι Jaušovec & Jaušovec το 2000, με μετρήσεις ΗΕΓ αναφέρουν πως οι φοιτητές δεν χρησιμοποιούν για την επίλυση προβλημάτων παρόμοιες γνωστικές στρατηγικές. Ως προς τον παράγοντα φύλο αναφέρουν ότι οι γυναίκες κατηγοριοποιούν τα οπτικά συμβάντα καλύτερα σε σχέση με τους άνδρες (Jaušovec & Jaušovec, 2009) επισημαίνοντας διαφορές στη συμπεριφορά τους τονίζοντας πως πρέπει ο παράγοντας φύλο να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στις μελέτες διαφυλικών διαφορών σε καταστάσεις χαλάρωσης του εγκεφάλου (Jaušovec & Jaušovec, 2010).

Οι διαφορετικοί τύποι αναπαράστασης του περιβάλλοντος έχουν επιπτώσεις στην εννοιολογική μάθηση και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η διδασκαλία, η υπάρχουσα γνώση και οι στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων (Liu & Shen, 2011). Σε έρευνα με προκλητά δυναμικά (ERPs), προτείνεται η σύνταξη προγραμμάτων σπουδών με σκοπό την ανάπτυξη εργαλείων και διδακτικών στρατηγικών στη διδασκαλία της χημείας, που θα μπορούσαν να προωθήσουν την κατανόηση από μέρους των μαθητών των χημικών τύπων και την ανάπτυξη αναπαραστατικών δεξιοτήτων των μαθητών μέσω της νοητής περιστροφής (Huang & Liu, 2012).

Από την πλευρά της, η στερεοσκοπία αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας (ΕΠ). Στα Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα (ΕΕΠ) οι αντιπροσωπευτικές χωρικές σχέσεις είναι επιθυμητό να γίνουν αντιληπτές από τους μαθητές όπως και στο φυσικό κόσμο και η στερεοσκοπική όραση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο (Thompson et al., 2007). Τα εικονικά στερεοσκοπικά περιβάλλοντα φαίνεται να προσεγγίζουν τα πραγματικά καλύτερα σε σχέση με τα εικονικά μη στερεοσκοπικά (Ζαχαρής κ.α., 2010).

Στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί η συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας γυναικών κατά τη παθητική παρατήρηση του στερεοσκοπικού εικονικού περιβάλλοντος και του αντίστοιχου πραγματικού ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν στον παράγοντα της στερεοσκοπίας.

## 2. Μεθοδολογία

Το δείγμα αποτέλεσαν 35 δεξιόχειρες φοιτήτριες στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ηλικίας μεταξύ 19 και 22 ετών, ώστε ο α ρυθμός να έχει σταθεροποιηθεί, χωρίς κάποια διαγνωσμένη μαθησιακή δυσκολία ή ψυχική νόσο. Όλες είχαν φυσιολογική όραση και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό ήταν επιτρεπτή η χρήση γυαλιών ή φακών επαφής. Δεν είχαν λάβει φαρμακευτική αγωγή ή ουσίες που επιδρούν στη λειτουργία του νευρικού συστήματος και δεν είχαν

καταναλώσει ποσότητες καφεΐνης ή αλκοολούχων ποτών το τελευταίο 24ωρο.

Το πραγματικό περιβάλλον (REAL) ήταν ένας οικείος και σύγχρονος σταθμός εργασίας υπολογιστή χωρίς την απαίτηση ιδιαίτερων γνωστικών μετασχηματισμών ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν στον παράγοντα της στερεοσκοπίας. Το εικονικό τρισδιάστατο στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) ήταν πανομοιότυπο με το πραγματικό και προβάλλονταν μέσω στερεοσκοπικών γυαλιών. Η διαδικασία περιελάμβανε την παθητική παρατήρηση του κάθε περιβάλλοντος, χωρίς αλληλεπίδραση με τις συμμετέχουσες όπου γινόταν ταυτόχρονη καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων που παρήγαγε ο εγκεφαλικός τους φλοιός καθώς άνοιγαν και έκλειναν τα μάτια τους μεταξύ των 10 επαναλήψεων διάρκειας 10 δευτερολέπτων για το κάθε περιβάλλον, κατόπιν εντολών που δέχονταν από τον ερευνητή προκειμένου να μειώνεται στο ελάχιστο η λήψη παρασίτων.

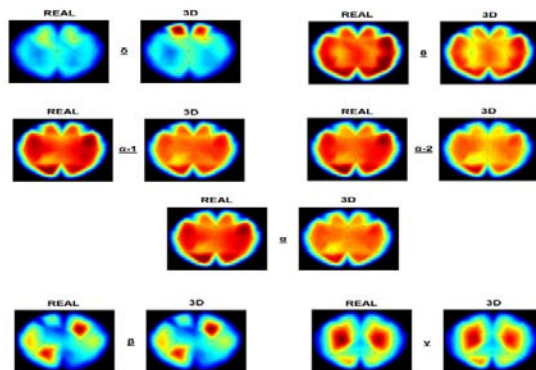
Η όλη καταγραφή πραγματοποιήθηκε με το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της gtec, του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Η καταγραφή του ΗΕΓ πραγματοποιήθηκε με ψηφιακό εγκεφαλογράφο (gtec) και 19 ενεργά ηλεκτρόδια στις θέσεις Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2 του κεφαλιού που εφαρμόστηκαν σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10/20. Οι αντιστάσεις όλων των ηλεκτροδίων μετρήθηκαν κάτω από 5 ΚΩ.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το σύστημα gBSanalyze και η ανάλυσή τους με τα λογισμικά EEGprocessing, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, Microsoft Excel και Matlab. Η φασματική ανάλυση Fourier που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα του συνεχόμενου ΗΕΓ αφορούσε τις περιοχές (ρυθμούς) θήτα (4-7Hz), κατώτερος άλφα ή α-1 (8-10Hz), ανώτερος άλφα ή α-2 (11-12Hz), βήτα (13-32Hz) και γάμα (33-48Hz).

### 3. Αποτελέσματα

Και τα δύο περιβάλλοντα που παρουσιάστηκαν στις συμμετέχουσες περιελάμβαναν απαιτήσεις οπτικής επεξεργασίας χώρου και επιλεκτικής προσοχής καθώς το μόνο που τους ζητήθηκε ήταν η απλή παρατήρηση (χωρίς απότομες κινήσεις της κεφαλής τους) του περιβάλλοντος χώρου στο ευρύτερο οπτικό τους πεδίο. Αναμενόμενη ήταν η ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών με την έννοια της εξερεύνησης του εκάστοτε περιβάλλοντος, αλλά και περισσότερη προσοχή και αναγνώριση τόσο των αντικειμένων όσο και των θέσεών τους.

Οι τοπολογίες των εγκεφαλικών ρυθμών συγκριτικά για τα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζονται στους φασματικούς χάρτες απόλυτης ισχύος της Εικόνας 1.



**Εικόνα 1.** Κατανομή ισχύος των εγκεφαλικών ρυθμών για το πραγματικό (REAL) και το εικονικό στερεοσκοπικό (3D) περιβάλλον επίδειξης αντίστοιχα. Τα θερμά χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές, ενώ τα ψυχρά (μπλε, πράσινο) σε χαμηλές.

Ο δ ρυθμός εμφανίζεται στο REAL ισχυρός στις προμετωπιαίες περιοχές (ηλεκτρόδια Fr1, Fr2), ενώ στο 3D στις πρόσθιες μετωπιαίες περιοχές. Ο θ ρυθμός εμφανίζει παρόμοια τοπολογία και στα δύο περιβάλλοντα όντας διάχυτος και ισχυρός στις πλευρικές περιοχές, στις προμετωπιαίες και στις ινιακές περιοχές και λιγότερο ισχυρός στις κέντρο – βρεγματικές περιοχές. Ο υπορυθμός α – 1 εμφανίζεται στο 3D διάχυτος και ισχυρός σε όλο το κρανίο ενώ στο REAL διάχυτος σε όλο σχεδόν το κρανίο με αυξημένη ισχύ στην αριστερή ινιακή περιοχή (O1). Ο υπορυθμός α – 2 εμφανίζεται διάχυτος αλλά λιγότερο ισχυρός από τον α – 1 και στα δύο περιβάλλοντα ακολουθώντας τη συμπεριφορά του α – 1. Ο α ρυθμός εμφανίζεται με συμπεριφορά όμοια των υπορυθμών και στα δύο περιβάλλοντα. Τόσο στον β όσο και στον γ ρυθμό και τα δύο περιβάλλοντα εμφάνισαν παρόμοια τοπολογία με τον β ρυθμό να είναι ισχυρός στην αριστερή βρεγματική περιοχή (P3) καθώς και στη δεξιά μετωπική (F4) και τον γ ρυθμό ισχυρό στην αριστερή και δεξιά κεντρική περιοχή (C3, C4).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές των δύο περιβαλλόντων ανά φασματική περιοχή ( $p < .05$ ).

**Πίνακας 1.** Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ πραγματικού (REAL) και εικονικού τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος.

Ρυθμός	Πραγματικό (REAL)	Εικονικό Τρισδιάστατο (3D)
Δέλτα (δ) (1 – 3 Hz)	Αριστερή μετωπική (F3) Δεξιά κεντρική (C4) Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fr2)	Πρόσθιες μετωπικές (Fr1, Fr2) Μέση μετωπική (Fz)
Θήτα (θ) (4 – 7 Hz)	Αριστερή μετωπική (F3) Δεξιά μετωπική (F4)	Δεν παρατηρείται διαφορά

### 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Κατώτερος $\alpha$ -1 (8 – 10Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Δεν παρατηρείται διαφορά
Ανώτερος $\alpha$ -2 (11 – 12 Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Δεν παρατηρείται διαφορά
Άλφα ( $\alpha$ ) (7.5 – 12.5 Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Δεν παρατηρείται διαφορά
Βήτα ( $\beta$ ) (13 – 32 Hz)	Αριστερή ινιακή (O1)	Δεν παρατηρείται διαφορά
Γάμμα ( $\gamma$ ) (33 – 48 Hz)	Αριστερή μετωπική (F7)	Αριστερή ινιακή (O1)

#### 4. Συζήτηση και συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη συγκρίνει την εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια παθητικής παρατήρησης ενός πραγματικού και ενός εικονικού περιβάλλοντος με το ίδιο περιεχόμενο, αλλά διαφορετική προέλευση. Η φασματική ανάλυση των σημάτων ΗΕΓ για τους ρυθμούς δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμμα συνδέεται με συγκεκριμένες γνωστικές διεργασίες.

Η τοπολογία της δραστηριότητας του δέλτα ρυθμού εμφανίζεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα και περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές. Εμφανίζεται ισχυρότερος στο 3D στις προμετωπιαίες θέσεις τόσο τοπολογικά όσο και στατιστικά σε σχέση με το REAL, κάτι που πιθανά σημαίνει ότι το 3D προκάλεσε ισχυρότερη οπτική ενεργοποίηση στις συμμετέχουσες από ότι το REAL.

Η δραστηριότητα στον  $\theta$  ρυθμό εμφανίζεται εντοπισμένη και ισχυρή σε όλο το κρανίο στο REAL. Στο 3D εμφανίζεται πλευρικά όπως και στις ινιακές θέσεις υποδεικνύοντας επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών. Η στατιστικά σημαντική υπεροχή στις πρόσθιες περιοχές του REAL σε σχέση με το 3D υποδεικνύει μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής σε αυτό. Και στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζεται  $\theta$  ρυθμός στις ινιακές περιοχές υποδηλώνοντας για τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό μια απλή διεργασία για τις συμμετέχουσες (Barcelo et al., 1995) καθώς και αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού και για τα δύο περιβάλλοντα (Hinterberger et al., 2008).

Η δραστηριότητα στον  $\alpha$  ρυθμό εμφανίζεται διάχυτη και ισχυρή και στα δύο περιβάλλοντα εξαπλωμένη τοπογραφικά σε όλο το κρανίο. Η εμφάνιση  $\alpha$  ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Cremades et al., 2004), πρόβλεψη οπτικών αντιληπτικών αποδόσεων (Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009) και όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ, με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Donner et al., 2007; Siegel et al., 2007).

Η διάχυτη εξάπλωση του υπορυθμού  $\alpha - 1$  και στα δύο περιβάλλοντα μπορεί να

ερμηνευτεί ως μειωμένη νοητική προσπάθεια με περιορισμένες ανάγκες για ένταση της προσοχής. Καθίσταται, λοιπόν, φανερό ότι αμφότερα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής.

Ο  $\alpha - 2$  υπορυθμός δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων, συνεπώς, σε κανένα δεν απαιτήθηκε σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας. Η διαφορετική τοπολογία τους, όμως, μπορεί να σημαίνει ότι το REAL συγκριτικά, απαιτήσε μεγαλύτερη κωδικοποίηση του ερεθίσματος γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι παρουσιάστηκε πρώτο δίνοντας το πλεονέκτημα μιας οικειότητας στο 3D σε σχέση με το REAL.

Η δραστηριότητα του  $\beta$  ρυθμού εμφανίζεται γενικά μειωμένη και στα δύο περιβάλλοντα γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη παρουσία του  $\alpha$ . Πρόσφατες έρευνες σε προμετωπιαίες περιοχές συνδέουν την αύξηση του  $\beta$  ρυθμού κατά τη διάρκεια οπτικών αναζητήσεων με την «από επάνω προς τα κάτω» αύξηση της προσοχής (Buschman & Miller, 2009). Και τα δύο περιβάλλοντα επομένως, απαιτήσαν την ίδια προσοχή γεγονός που υποδηλώνεται και από τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές, όπως προκύπτουν από τις καταγραφές.

Η δραστηριότητα του  $\gamma$  ρυθμού εμφανίζει παρόμοια τοπολογική εξάπλωση και στα δύο περιβάλλοντα και σε αντίθεση με τον  $\alpha$  ρυθμό αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Η μη στατιστικά σημαντική διαφορά τους υποδεικνύει πως αμφότερα απαιτήσαν παρόμοια οπτική επιλεκτική προσοχή. Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 3D στην αριστερή ινιακή θέση (O1) πιθανά συνδέεται με τη στερεοσκοπία των τρισδιάστατων εικόνων προβολής και υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών, συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με αντιληπτικούς μηχανισμούς (φαινόμενα) προσοχής στο περιβάλλον αυτό (Tallon-Baudry, 2004). Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL στη θέση O1 πιθανά σχετίζεται με μεγαλύτερη επιλεκτική προσοχή στο περιβάλλον αυτό, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι ήταν και το πρώτο περιβάλλον επίδειξης που παρουσιάστηκε στις συμμετέχουσες.

Συμπερασματικά, παρατηρείται παρόμοια εν γένει τοπολογία της φασματικής κατανομής της ισχύος του ΗΕΓ και στα δύο περιβάλλοντα, γεγονός που ερμηνεύεται ως ενεργοποίηση παρόμοιων εγκεφαλικών λειτουργιών δίχως την απαίτηση ιδιαίτερου νοητικού φόρτου και εμφάνιση σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό επεξεργασίας οπτικών ερεθισμάτων με μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες. Ως προς την οπτική παρατήρηση δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για να αυξήσουν οι συμμετέχουσες την προσοχή και την επαγρύπνησή τους και δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη εστίαση της προσοχής στα πρωτογενή οπτικά δεδομένα. Αυτή η γενική παρατήρηση μπορεί να εκληφθεί ως υπογράμμιση της οπτικο-χωρικής συνιστώσας, κάτι που ήταν αναμενόμενο από τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, όπου απουσίαζαν άλλα

αισθητήρια ερεθίσματα εκτός των οπτικών. Το REAL απαίτησε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο αποτέλεσμα που συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Μικροπούλου (2001). Επιπλέον, απαίτησε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο και κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων εξαιτίας του γεγονότος ότι προβλήθηκε πρώτο κατά τη διεργασία αυτή.

Η παρούσα μελέτη είναι διερευνητική και παρέχει νέα δεδομένα για την εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων. Ενδιαφέρουσα κρίνεται η προοπτική μιας περαιτέρω έρευνας στην οποία η σειρά εμφάνισης των δυο περιβαλλόντων θα ήταν διαφορετική στα μισά υποκείμενα καθώς και χρήση περιβαλλόντων επίδειξης όπου ο χρήστης να μπορεί να αλληλεπιδρά με αυτά.

### **Βιβλιογραφία**

- Barcelo, F., Gale, A., & Hall, M. (1995). Multichannel EEG power reflects information processing and attentional demands during visual orienting. *Journal of Psychophysiology*, 9, pp. 32 – 44.
- Beddington, J., Cooper, C.L., Field, J., Goswami, U., Huppert, F.A., Jenkins, R., Jones, H.S., Kirkwood, T.B.L., Sahakian, B.J., & Thomas, S.M., 2008. The mental wealth of nations. *Nature*, 455(7216), pp. 1057–1060.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), pp. 4 – 16.
- Busch, N. A., Dubois, J., & VanRullen, R. (2009). The phase of ongoing EEG oscillations predicts visual perception. *Journal of Neuroscience*, 29(24), pp. 7869 –7876.
- Buschman, T.J., & Miller, E.K. (2009). Serial, covert shifts of attention during visual search are reflected by the frontal eye fields and correlated with population oscillations. *Neuron*, 63(3), pp. 386 –396.
- Cremades, J., Barreto A., Sanchez D., & Adjouadi, M. (2004). Human-computer interfaces with regional lower and upper alpha frequencies as on-line indexes of mental activity. *Computers in Human Behavior*, 20(4), pp. 569 – 579.
- Donner, T.H., Siegel, M., Oostenveld, R., Fries, P., Bauer, M., & Engel, A.K. (2007). Population activity in the human dorsal pathway predicts the accuracy of visual motion detection. *Journal of Neurophysiology*, 98(1), pp. 345 – 359.
- Ferrari, M. (2011). What Can Neuroscience Bring to Education? *Educational Philosophy and Theory*, 43(1), pp. 31 – 36.

- Hinterberger, T., Widman, G., Lal, T. N., Hill, J., Tangermann, M., & Rosenstiel, W. (2008). Voluntary brain regulation and communication with electrocorticogram signals. *Epilepsy & Behavior, 13*(2), pp. 300 – 306.
- Huang, C. F., & Liu, C. J. (2012). An Event-Related Potentials Study of Mental Rotation in Identifying Chemical Structural Formulas. *European Journal of Educational Research, 1*(1), pp. 37 – 54.
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology, 36*, pp. 73 – 88.
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2009). Do women see things differently than men do? *NeuroImage, 45*, pp. 198 – 207.
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2010). Resting brain activity: Differences between genders. *Neuropsychologia, 2010*(48), pp. 3918 – 3925.
- Koizoumi, H. (2011). Brain-Science Based Cohort Studies. *Educational Philosophy and Theory, 43*(1), pp. 48 – 55.
- Liu, C.-J., & Shen, M.-H. (2011). The Influence of Different Representations on Solving Concentration Problems at Elementary School. *J Sci Educ Technol 20*, pp. 621 – 629.
- Mathewson, K. E., Gratton, G., Fabiani, M., Beck, D., M., & Ro, T. (2009). To see or not to see: prestimulus alpha phase predicts visual awareness. *Journal of Neuroscience, 29*(9), pp. 2725 – 2732.
- Mikropoulos, T. (2001). Brain activity on navigation in virtual environments. *Journal of Educational Computing Research, 24*(1), pp. 1 – 12.
- Siegel, M., Donner, T.H., Oostenveld, R., Fries, P., & Engel, A.K. (2007). High frequency activity in human visual cortex is modulated by visual motion strength. *Cerebral Cortex, 17* (3), pp. 732 – 741.
- Tallon-Baudry, C. (2004). Attention and awareness in synchrony. *Trends in Cognitive Science, 8*(12), pp. 523 – 525.
- Thompson, M., Thompson, J., & Wenqing, W. (2007). *Brodman Areas (BA), 10-20 Sites, Primary Functions*, ADD Centre, Biofeedback Institute of Toronto, American Applied NeuroScience Institute.
- Ζαχαρής, Γ., Τζίμας, Β., Πριοβόλου, Χ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2010), Εγκεφαλικές Διεργασίες σε Στερεοσκοπικά Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα. Στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση», τόμος ΙΙ, σ. 55-62, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Κόρινθος, 23-26 Σεπτεμβρίου 2010.