

Ερευνώντας το ‘μαύρο κουτί’: Η στερεοσκοπία σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα για τις φυσικές επιστήμες

Νικηφόρος Μ. Παπαχρήστος, Αναστάσιος Α. Μικρόπουλος

Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – npapachr@grads.uoi.gr

Περίληψη. Η προσέγγιση του γνωστικού αντικειμένου των φυσικών επιστημών απαιτεί συχνά την αναφορά σε συνθήκες, διατάξεις και διαστάσεις που δεν μπορούν να υλοποιηθούν στο σχολικό περιβάλλον. Τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα (ΕΕΠ) μπορούν να παράγουν χωρικές προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο και δίνουν τη δυνατότητα να βιωθούν εμπειρίες, οι οποίες δεν θα ήταν δυνατό να βιωθούν με άλλο τρόπο. Η μελέτη της αλληλεπίδρασης ανθρώπου και ΕΕΠ οφείλει να λαμβάνει υπόψη της και την επίδραση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την απόδοση των τριών διαστάσεων στα ΕΕΠ. Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αναφορές για σύγκριση ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων (ΗΕΓ) κατά την αλληλεπίδραση ανθρώπου με στερεοσκοπικά και μη στερεοσκοπικά εικονικά περιβάλλοντα. Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης γίνεται μια πρώτη πιλοτική και διερευνητική προσέγγιση της χρήσης ΗΕΓ για τη μελέτη του ρόλου της στερεοσκοπίας στην αλληλεπίδραση ανθρώπου – ΕΕΠ. Τα αποτελέσματα αποτελούν μια πρώτη, διεθνώς, ένδειξη ότι τα στερεοσκοπικά ΕΕΠ οδηγούν σε μεγαλύτερη νοητική εμπλοκή απ’ ό,τι τα μη στερεοσκοπικά.

Εισαγωγή

Τα Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα (ΕΕΠ) αποτελούν ισχυρά εργαλεία στα χέρια εκπαιδευτικών και μαθητών (Pantelidis 1993, Winn 1993), ιδιαίτερα για την προσέγγιση του γνωστικού αντικειμένου της φυσικής, το οποίο συχνά αναφέρεται σε συνθήκες, διαστάσεις και διατάξεις που δεν μπορούν να υλοποιηθούν στο σχολικό περιβάλλον, όπως οι αστρονομικές αποστάσεις (Bakas & Μικρόπουλος 2003), ο μικρόκοσμος (Κοντογεωργίου 2006), επικίνδυνες ή πολυέξοδες πειραματικές διατάξεις (Μικρόπουλος 1997, Μικρόπουλος & Στρομπουλής 2000).

Ως υψηλού επιπέδου αλληλεπιδραστικά interfaces, τα οποία παράγουν χωρικές προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο (Μικρόπουλος 1998), τα ΕΕΠ δίνουν τη δυνατότητα, κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, να βιωθούν εμπειρίες, οι οποίες δεν θα ήταν δυνατό να βιωθούν με άλλο τρόπο (Winn 1993).

Δεδομένου ότι ένα βασικό χαρακτηριστικό των ΕΕΠ είναι η ελεύθερη πλοήγηση στον τρισδιάστατο εικονικό χώρο, η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ υποκειμένων και ΕΕΠ οφείλει να λαμβάνει υπόψη της και την επίδραση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την απόδοση των τριών διαστάσεων στα ΕΕΠ.

Ιδιαίτερα στα επιτραπέζια Εικονικά Περιβάλλοντα, τα οποία αποτελούν και την πιο διαδεδομένη τεχνολογία ΕΕΠ, υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές προσομοίωσης. Στα μη στερεοσκοπικά επιτραπέζια ΕΕΠ, όπου η προσομοίωση των τριών διαστάσεων γίνεται αξιοποιώντας ιδιότητες του αντικειμένου της όρασης (χρωματισμοί, υφές, σκιάσεις, σχετικές θέσεις κ.α.) (Morar, Macredie, & Cribbin 2002), ο χρήστης βλέπει μια δισδιάστατη εικόνα και επιφορτίζεται με το νοητικό έργο της ‘μετάφρασής’ της σε τρεις διαστάσεις. Στα στερεοσκοπικά επιτραπέζια ΕΕΠ, μέσω ειδικών γυαλιών, προβάλλεται σε κάθε οφθαλμό διαφορετική οπτική γωνία της εικόνας και αξιοποιείται η διοφθάλμια διαφορά (binocular

disparity) που αποτελεί το βασικό στοιχείο από το οποίο το νευροφυσιολογικό σύστημα όρασης του ανθρώπου παράγει την αντίληψη του βάθους (3^η διάσταση).

Μια συγκριτική μελέτη της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με πραγματικά και με στερεοσκοπικά και μη στερεοσκοπικά εικονικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μπορεί να παράσχει σημαντικές πληροφορίες για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με:

α) τη βέλτιστη σχεδίαση των ΕΕΠ, ιδιαίτερα για γνωστικούς τομείς όπως η Φυσική, στους οποίους οι τρεις διαστάσεις και η αντίληψη του χώρου έχουν ιδιαίτερη σημασία (δομή της ύλης, διάστημα κ.α.)

β) την ελαχιστοποίηση του 'μη χρήσιμου' γνωστικού φόρτου (Dalgarno, Hedberg, & Harper 2002), που επωμίζεται το υποκείμενο κατά την αλληλεπίδραση με το ΕΕΠ, για τη 'μετάφραση' δισδιάστατων εικόνων στις τρεις διαστάσεις.

Μια τέτοια μελέτη δεν μπορεί να στηριχτεί εύκολα σε υποκειμενικές αναφορές διότι το υποκείμενο δεν αντιλαμβάνεται άμεσα τον τρόπο με τον οποίο η δισδιάστατη πληροφορία συντίθεται σε τρισδιάστατη στο οπτικό σύστημα του εγκεφάλου του και οι αναφορές του στις διαφορές μεταξύ στερεοσκοπικών και μη στερεοσκοπικών ΕΕΠ δεν μπορούν να καταστούν εύκολα ασφαλείς. Η εργασία προτείνει την αξιοποίηση αντικειμενικών μετρήσεων και συγκεκριμένα μετρήσεων της (ηλεκτρικής) εγκεφαλικής δραστηριότητας ως μεθόδου για τη συγκριτική μελέτη της αλληλεπίδρασης το ανθρώπου με πραγματικά, στερεοσκοπικά και μη στερεοσκοπικά εικονικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Άλλωστε, κατά τα πλέον κοινά επιστημολογικά παραδείγματα, το 'μαύρο κουτί', όπως αποκλήθηκε το εγκέφαλος από αρκετές θεωρήσεις της ψυχολογίας, είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για όλες τις νοητικές και τις γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπου.

Οπτικά ερεθίσματα και εγκεφαλικοί ηλεκτρικοί ρυθμοί

Η φασματική ανάλυση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) είναι από τα πιο σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση των αισθητικών και γνωσιακών λειτουργιών του εγκεφάλου. Πολλές έρευνες έχουν δείξει τη σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και πολύπλοκων ψυχοφυσιολογικών μηχανισμών όπως η εγρήγορση, η διέγερση, η προσοχή, η μνήμη και εκτελεστικές διεργασίες.

Ιδιαίτερα με τη λειτουργία του οπτικού συστήματος και την πρωτογενή επεξεργασία της πληροφορίας, που προέρχεται από τους αμφιβληστροειδείς χιτώνες των ματιών μέσω της κύριας οπτικής οδού, από τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό στον ινιακό λοβό έχει συσχετιστεί ο ρυθμός Άλφα (8 - 13 Hz). Είναι γνωστό ότι η ινιακή ηλεκτροεγκεφαλκή δραστηριότητα στις συχνότητες Άλφα παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερες τιμές πλάτους όταν τα μάτια του υποκειμένου είναι κλειστά από ότι στην περίπτωση που είναι ανοιχτά. Ο Berger, το 1929, υπέθεσε ότι ο ρυθμός Άλφα εξαφανίζεται όταν τα μάτια ανοίγουν, αλλά πιο σύγχρονες έρευνες έδειξαν ότι απλά μειώνεται (Duffy, Albert, McAnulty, & Garvey 1984, Kononen & Partanen 1993). Τη δραστηκή μείωση της ισχύος των ρυθμών Άλφα με το άνοιγμα των ματιών, που αναφέρεται και ως alpha-blocking (εμπόδιση των Άλφα) ή ως alpha-desynchronization (αποσυγχρονισμός Άλφα), επισημαίνουν και άλλοι ερευνητές (Klimesch, Pfurtscheller, Mohl, & Schimke 1990, Klimesch, Pfurtscheller, & Schimke 1992).

Η μείωση της ισχύος των ρυθμών άλφα έχει αναφερθεί και σε συνδυασμό με την αύξηση της ισχύος της δραστηριότητας Γάμα (>30 Hz). Οι Singer και Gray (1995) αναφέρουν ότι σε αμιγώς οπτικές δραστηριότητες η μείωση της ισχύος των ρυθμών Άλφα συνοδεύεται από αύξηση της ισχύος των ρυθμών Γάμα. Η αύξηση της ισχύος των ρυθμών Γάμα στον ινιακό λοβό αποδίδεται στην πιθανή σύνδεση των χαρακτηριστικών της εικόνας στο βρεγματικό λοβό κάτι που επισημαίνεται και από άλλους ερευνητές (Crick and Koch 1990).

Στερεοσκοπική όραση και ΗΕΓ

Η έρευνα γύρω από την στερεοσκοπική όραση ή την 'αίσθηση του βάθους' σε νευρωνικό επίπεδο έχει καταδείξει την ύπαρξη νευρώνων εξειδικευμένων να αποκρίνονται επιλεκτικά στις διαφορές λόγω της διοφθάλμιας διαφοράς (Backus 2000, DeAngelis 2000, Sakata, Tsutsui, & Taïra 2005) τόσο, και κυρίως, στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό, όσο και σε άλλα, ανώτερα, σημεία του εγκεφαλικού φλοιού. Επιπλέον, έρευνες με προκλητά δυναμικά στις οποίες έγινε χρήση στερεογραμμάτων τυχαίων κουκίδων (random dot stereograms), τα οποία επιτρέπουν την αποκλειστική μελέτη της στερεοσκοπίας λόγω διοφθάλμιας διαφοράς, έχουν χαρτογραφήσει την απόκριση του εγκεφαλικού φλοιού σε στερεοσκοπικά ερεθίσματα και ανέδειξαν ως κύριες περιοχές τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό, αλλά και βρεγματικές και κροταφικές περιοχές (Neill & Fenelon 1988). Από παρόμοιες έρευνες φαίνεται να μην προκύπτει ημισφαιρική διαφοροποίηση στην πρωτογενή επεξεργασία των στερεοσκοπικών ερεθισμάτων (Skrandies 1987).

Η εγκεφαλικές μετρήσεις κατά την αλληλεπίδραση υποκειμένων με εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα είναι μια ερευνητική περιοχή με αυξανόμενο ενδιαφέρον (Mikropoulos 2000, Schier 2000, Moore & Engel 2001, Bischof & Boulanger 2003, Farrer et al. 2003, Mikropoulos, Tzimas, & Dimou 2004). Από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας φαίνεται ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για την εγκεφαλική ηλεκτρική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση οπτικών ερεθισμάτων σε εικονικά (στερεοσκοπικά και μη) και πραγματικά περιβάλλοντα.

Οι ερευνητικοί στόχοι της παρούσα μελέτης, που αποτελεί μια πρώτη, βασική και διερευνητική προσέγγιση της χρήσης ΗΕΓ για τη μελέτη του ρόλου της στερεοσκοπίας στην αλληλεπίδραση υποκειμένου - ΕΕΠ, είναι:

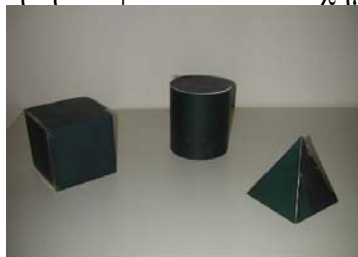
α) η καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας υποκειμένου κατά την παρατήρηση γεωμετρικών σχημάτων σε επιτραπέζιο εικονικό (στερεοσκοπικό και μη στερεοσκοπικό) και σε πραγματικό περιβάλλον και

β) η διερεύνηση διαφορών στη φασματική κατανομή ισχύος των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών μεταξύ των τριών περιβαλλόντων.

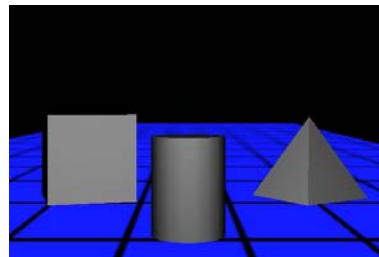
Μελέτη περίπτωσης

Δείγμα. Το υποκείμενο της έρευνας ήταν ένας (1) άνδρας, ηλικίας 33 ετών και δεξιόχειρας. Κατά δήλωσή του δεν είχε μυωπία ή άλλες παραμορφώσεις του οπτικού βολβού (δεν χρησιμοποιούσε διορθωτικούς φακούς) και δεν λάμβανε φάρμακα κατά την περίοδο πριν τη πειραματική διαδικασία. Η έρευνα διεξήχθη τον Ιούνιο του 2006 στη Μονάδα Τεχνολογιών Αγωγής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και συμμορφώθηκε πλήρως με τον Κώδικα Δεοντολογίας Ερευνών της Επιτροπής Ερευνών του Ιδρύματος.

Πραγματικά και Εικονικά οπτικά ερεθίσματα. Τα Πραγματικά οπτικά ερεθίσματα που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο σχήμα 1α.



(α)



(β)

Σχήμα 1. Τα πραγματικά γεωμετρικά στερεά (α) και τα εικονικά γεωμετρικά στερεά (β), που χρησιμοποιήθηκαν ως εικονικά οπτικά ερεθίσματα.

Τα τρία γεωμετρικά στερεά (πυραμίδα, κύβος, κύλινδρος) ήταν τοποθετημένα πάνω σε τράπεζα, στο ύψος των ματιών του υποκειμένου. Βάσει των πραγματικών γεωμετρικών στερεών δημιουργήθηκαν τα εικονικά γεωμετρικά στερεά (σχήμα 1β). Τα μη στερεοσκοπικά εικονικά οπτικά ερεθίσματα παρουσιάστηκαν σε επιτραπέζια οθόνη CRT 19 ιντσών.

Για τα στερεοσκοπικά εικονικά οπτικά ερεθίσματα χρησιμοποιήθηκαν τα εικονικά οπτικά ερεθίσματα σε συνδυασμό με ειδικά, στερεοσκοπικά γυαλιά πόλωσης ASUS VR-100 LCD. Βλέποντας μέσα από τέτοια γυαλιά και έχοντας ενεργοποιημένη τη στερεοσκοπική προβολή της συσκευής απόδοσης γραφικών ο χρήστης βλέπει στερεοσκοπικά καθώς οι δύο φακοί των γυαλιών (έχοντας διαφορετική πόλωση) επιτρέπουν τη διέλευση εικόνων, που δείχνουν τα αντικείμενα υπό διαφορετικές γωνίες.

Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Για τις καταγραφές των ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε το νέο σύστημα καταγραφής της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Σύστημα g.tec με 3 ενισχυτές βιολογικών σημάτων g.BSamp 16 καναλιών, σύστημα καταγραφής g.64sys, κάρτα συλλογής δεδομένων και λογισμικό καταγραφής και ψηφιοποίησης βασισμένο σε Matlab).

Διαδικασία. Στο υποκείμενο παρουσιάστηκαν 10 διαφορετικές διατάξεις των τριών γεωμετρικών στερεών. Οι διατάξεις των σχημάτων ήταν ακριβώς οι ίδιες για το Πραγματικό (Π) περιβάλλον, το Εικονικό Στερεοσκοπικό (ΕΣ) και το Εικονικό Μη Στερεοσκοπικό (ΕμΣ) περιβάλλον. Πρώτα προβλήθηκαν τα οπτικά ερεθίσματα στο Εικονικό μη Στερεοσκοπικό περιβάλλον. Το υποκείμενο κλήθηκε να κλείσει τα μάτια του. Όταν στο σύστημα προβολής προβάλλονταν η πρώτη διάταξη των γεωμετρικών σχημάτων το υποκείμενο κλήθηκε να ανοίξει τα μάτια του. Η διάταξη προβλήθηκε για 12s και στη συνέχεια το υποκείμενο κλήθηκε εκ νέου να κλείσει τα μάτια. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για τις υπόλοιπες εννέα (9) διατάξεις. Στη συνέχεια, μετά την παρέλευση διαλείμματος 3min, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προβλήθηκαν τα οπτικά ερεθίσματα στο Εικονικό Στερεοσκοπικό περιβάλλον. Τέλος, μετά την παρέλευση διαλείμματος 3min, μπροστά από το υποκείμενο τοποθετήθηκε τράπεζα για την παρουσίαση των γεωμετρικών σχημάτων στο Πραγματικό περιβάλλον. Κατά τα χρονικά διαστήματα πριν το άνοιγμα των ματιών του, το υποκείμενο παρέμεινε χαλαρό και ακίνητο, ενώ η καταγραφή συνεχίζονταν κανονικά. Η κατάσταση αυτή του υποκειμένου, θα καλείται στο εξής κατάσταση 'ηρεμίας'.

Καταγραφές ΗΕΓ. Οι καταγραφές έγιναν από ηλεκτρόδια τοποθετημένα στις θέσεις O1, O2, P3, Pz και P4, σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20. Επιλέχθηκε το μοντάζ κοινής αναφοράς και ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν οι λοβοί των αυτιών.

Οι καταγραφές των ΗΕΓ έγιναν με τις εξής ρυθμίσεις στους ενισχυτές βιοσημάτων: High band pass: 0.5 Hz, Low band pass: 100 Hz, Notch: 50 Hz, Ευαισθησία: 0.5 mV. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό καταγραφής g.DAQsys του συστήματος και ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 512 Hz. Τα παράσιτα λόγω κίνησης των οφθαλμών καταγράφηκαν με διπολικές μετρήσεις ηλεκτροδίων τα οποία τοποθετήθηκαν για τις κατακόρυφες κινήσεις, πάνω από το δεξί μάτι και κάτω από το αριστερό μάτι, και για τις οριζόντιες κινήσεις, αριστερά από το αριστερό μάτι και δεξιά από το δεξί μάτι. Όλες οι εμπεδήσεις (τριχωτό κεφαλής – ηλεκτρόδιο) μετρήθηκαν πριν και μετά τις καταγραφές με τον μετρητή εμπεδήσης g.Zcheck και ήταν μικρότερες από 2,5 KOhm.

Επεξεργασία καταγραφών ΗΕΓ. Η επεξεργασία και ανάλυση των καταγραφών έγινε χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες που παρείχε το λογισμικό g.BSanalyze. Για κάθε καταγραφή που αντιστοιχούσε στα τρία περιβάλλοντα (ΕΣ – ΕμΣ – Π) και για κάθε διάταξη των γεωμετρικών σχημάτων επελέγη ένα διάστημα καταγραφής μήκους 1s κατά το οποίο να μην εμφανίζονται οφθαλμικά παράσιτα. Προέκυψαν έτσι 30 διαστήματα για τις καταστάσεις με 'μάτια ανοιχτά' (3 περιβάλλοντα x 10 διατάξεις γεωμετρικών σχημάτων). Για κάθε χρονικό διάστημα επελέγη και ένα χρονικό διάστημα 1s στην 'κατάσταση ηρεμίας' που

προηγούνταν. Προέκυψαν έτσι 30 διαστήματα για τις καταστάσεις ηρεμίας (3 περιβάλλοντα x 10 διατάξεις γεωμετρικών σχημάτων).

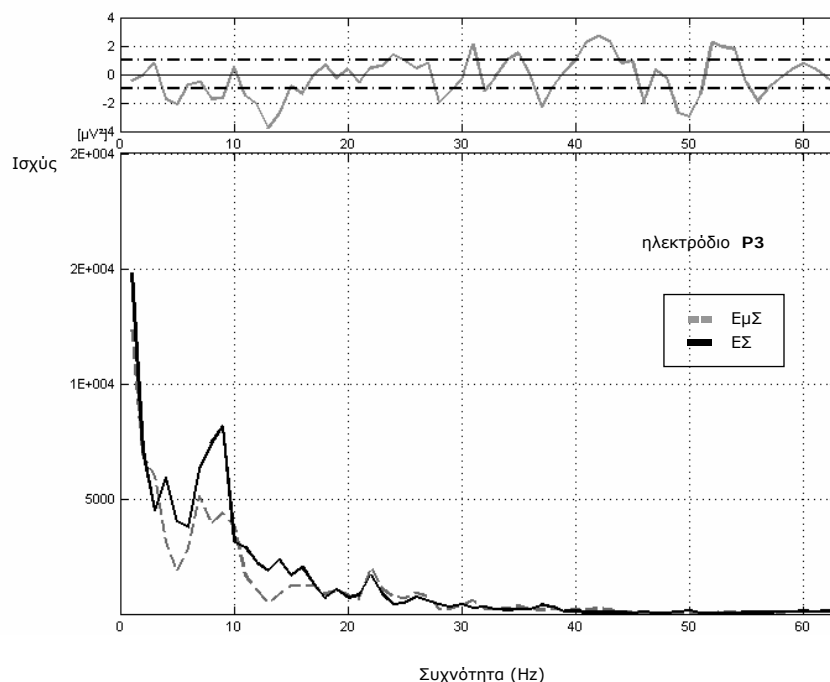
Στατιστική ανάλυση. Οι φασματικές κατανομές ισχύος στο χώρο των συχνοτήτων προέκυψαν από τη ρουτίνα spectrum του λογισμικού gBSanalyze, που υπολογίζει τη Φασματική Κατανομή Ισχύος για συγκεκριμένα διαστήματα ΗΕΓ (μεσοποίηση) και στη συνέχεια τη συγκρίνει με τη Φασματική Κατανομή Ισχύος ενός δεύτερου συνόλου διαστημάτων (ίσου μήκους) ΗΕΓ. Η σύγκριση γίνεται με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (GTEC 2005).

Για την αποκόμιση των ποσοστών των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε η ρουτίνα analyze του λογισμικού που εκτελεί ένα μετασχηματισμό FFT επί του ΗΕΓ.

Αποτελέσματα

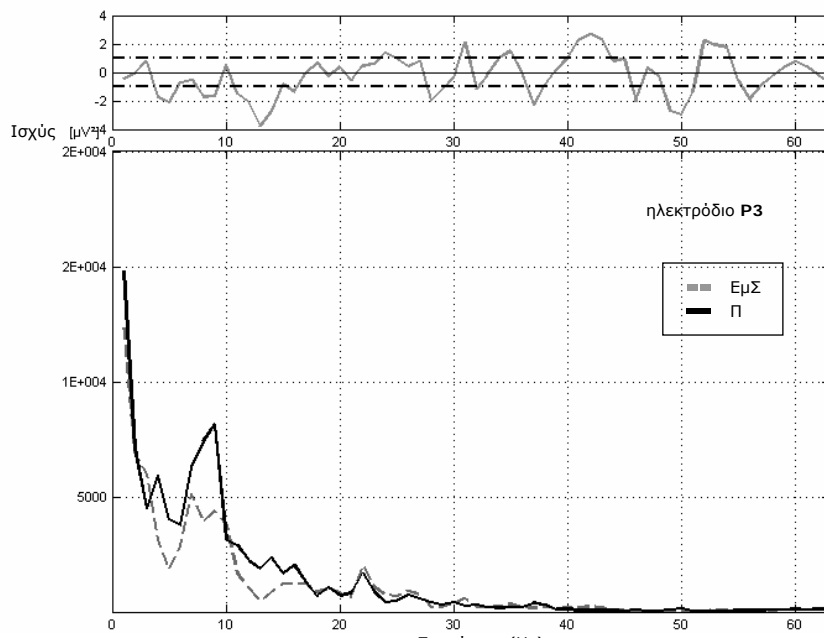
Από την επεξεργασία των καταγραφών που έγιναν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος με τις τρεις πειραματικές διατάξεις (Εικονικό – μη Στερεοσκοπικό (ΕμΣ) Περιβάλλον, Εικονικό – Στερεοσκοπικό (ΕΣ) Περιβάλλον και Πραγματικό (Π) Περιβάλλον) προέκυψαν οι φασματικές κατανομές ισχύος ανά συχνότητα, κατά ζεύγη πειραματικών διατάξεων και ανά ηλεκτρόδιο καταγραφής.

Από τη σύγκριση μεταξύ ΕμΣ και ΕΣ περιβάλλοντος (στο σχήμα 2 η σύγκριση των φασματικών κατανομών για την καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 – αριστερό βρεγματικό) προέκυψε στατιστικά σημαντική ($p < .05$) διαφορά ισχύος (με τις τιμές του ΕμΣ περιβάλλοντος να είναι μεγαλύτερες) στην περιοχή των ρυθμών Άλφα (8 – 13 Hz) στη βρεγματική περιοχή (ηλεκτρόδια P3, Pz και P4), που μπορεί να αποδοθεί στην πιο ενεργή εμπλοκή του υποκειμένου με το ΕΣ περιβάλλον. Επίσης, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές ($p < .05$) διαφορές (μεγαλύτερη ισχύς στο ΕμΣ περιβάλλον) στην περιοχή των ρυθμών Βήτα (14-30 Hz) στη δεξιά ινιακή περιοχή.



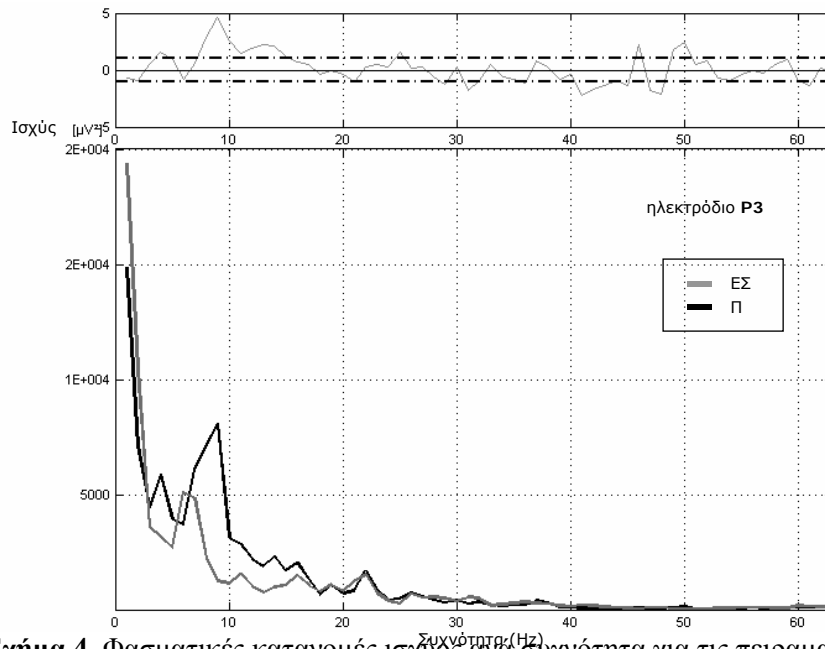
Σχήμα 2. Φασματικές κατανομές ισχύος ανά συχνότητα για τις πειραματικές διατάξεις ΕμΣ και ΕΣ. Καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 (αριστερό βρεγματικό).

Από τη σύγκριση μεταξύ ΕμΣ και Π περιβάλλοντος (στο σχήμα 3 η σύγκριση των φασματικών κατανομών για την καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 – αριστερό βρεγματικό) προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < .05$) στην περιοχή των ρυθμών Θήτα (4-7 Hz) (με τις τιμές του Π-περιβάλλοντος να είναι μεγαλύτερες) και στην περιοχή των ρυθμών Άλφα (μεγαλύτερη ισχύς στο ΕμΣ περιβάλλον) για τα ηλεκτρόδια της βρεγματικής περιοχής. Στην ινιακή περιοχή (ηλεκτρόδια O1 και O2), εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιοχή των ρυθμών Γάμα (>30 Hz).



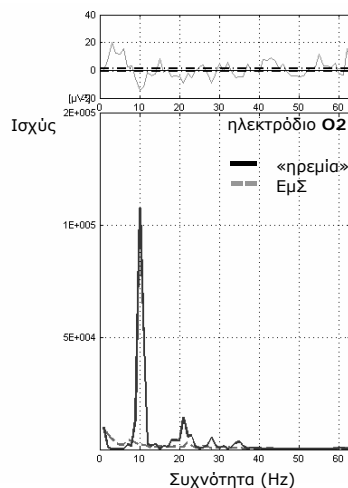
Σχήμα 3. Φασματικές κατανομές ισχύος ανά συχνότητα για τις πειραματικές διατάξεις ΕμΣ και Π. Καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 (αριστερό βρεγματικό).

Από τη σύγκριση μεταξύ ΕμΣ και Π περιβάλλοντος (στο σχήμα 4 η σύγκριση των φασματικών κατανομών για την καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 – αριστερό βρεγματικό) προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < .05$) στην περιοχή των ρυθμών Θήτα (4-7 Hz) και Άλφα (8-13 Hz) (μεγαλύτερη ισχύς στο πραγματικό περιβάλλον) για τη βρεγματική περιοχή. Στην ινιακή περιοχή οι διαφορές στις περιοχές Θήτα (4-7 Hz) και Άλφα (8-13 Hz) είναι μικρότερες, αλλά εμφανίζονται μεγαλύτερες διαφορές ($p < .05$) στην περιοχή των ρυθμών Γάμα (33-48 Hz).



Σχήμα 4. Φασματικές κατανομές ισχύος ανά συχνότητα για τις πειραματικές διατάξεις ΕΣ και Π. Καταγραφή στο ηλεκτρόδιο P3 (αριστερό βρεγματικό).

Από τη σύγκριση των φασματικών κατανομών κάθε περιβάλλοντος με την κατάσταση ηρεμίας (σχήμα 5) προέκυψε μεγάλη και στατιστικά σημαντική ($p < .05$) μείωση της ισχύος των ρυθμών Άλφα (8-13 Hz) κατά τη μετάβαση από την κατάσταση ηρεμίας σε όλες τις πειραματικές διατάξεις και σε κάθε ηλεκτρόδιο καταγραφής. Επίσης, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (μεγαλύτερη ισχύς στην κατάσταση ηρεμίας) στην περιοχή των ρυθμών Βήτα (14-30 Hz).



Σχήμα 5. Φασματικές κατανομές ισχύος ανά συχνότητα για την πειραματική διάταξη EμΣ και την κατάσταση «ηρεμίας». Καταγραφή στο ηλεκτρόδιο O2 (δεξιό ινιακό).

Στους πίνακες 1 - 5 παρουσιάζονται τα ποσοστά επί τοις εκατό της ισχύος των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών (Δέλτα (<3.5 Hz), Θήτα (4-7.5 Hz), Άλφα (8-14 Hz), Βήτα (14-30 Hz), Γάμα (>30 Hz), ανά ηλεκτρόδιο και ανά πειραματική διάταξη (EμΣ – ΕΣ – Π). Τονίζεται η σχετική μείωση των ρυθμών Άλφα και Βήτα κατά τη μετάβαση από το Εικονικό Στερεοσκοπικό περιβάλλον στο Εικονικό Στερεοσκοπικό. Επίσης, επισημαίνεται η κοινή συμπεριφορά των ποσοστών ισχύος των εγκεφαλικών ρυθμών σε όλα τα ηλεκτρόδια μεταξύ των τριών πειραματικών διατάξεων.

Πίνακας 1. Ποσοστά ισχύος βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος ανά πειραματική διάταξη στο ηλεκτρόδιο P3.

Ηλεκτρόδιο P3			
Ρυθμός	Ποσοστά (%)		
	ΕμΣ	ΕΣ	Π
Δέλτα	18,6	22,8	35,7
Θήτα	7,7	6,1	10,5
Αλφα	10,5	4,2	7,8
Βήτα	10	7,1	7,8
Γάμμα	2	1,7	2

Πίνακας 2. Ποσοστά ισχύος βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος ανά πειραματική διάταξη στο ηλεκτρόδιο Pz.

Ηλεκτρόδιο Pz			
Ρυθμός	Ποσοστά (%)		
	ΕμΣ	ΕΣ	Π
Δέλτα	19,7	14,6	41
Θήτα	7,7	7	10,6
Αλφα	11,8	5,3	6,6
Βήτα	10	6,9	7
Γάμμα	2	2,6	1,8

Πίνακας 3. Ποσοστά ισχύος βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος ανά πειραματική διάταξη στο ηλεκτρόδιο P4.

Ηλεκτρόδιο P4			
Ρυθμός	Ποσοστά (%)		
	ΕμΣ	ΕΣ	Π
Δέλτα	13,6	10	31,4
Θήτα	5,3	3,3	10,1
Αλφα	9,7	6,1	6
Βήτα	8	6,4	5,9
Γάμμα	2	1,7	1,3

Πίνακας 4. Ποσοστά ισχύος βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος ανά πειραματική διάταξη στο ηλεκτρόδιο O1.

Ηλεκτρόδιο O1			
Ρυθμός	Ποσοστά (%)		
	ΕμΣ	ΕΣ	Π
Δέλτα	9,2	14	24,6
Θήτα	5,1	5,3	8,6
Αλφα	6,2	5,6	7,7
Βήτα	11,2	9,7	7,5
Γάμμα	4,6	4,2	3,2

Πίνακας 5. Ποσοστά ισχύος βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος ανά πειραματική διάταξη στο ηλεκτρόδιο O2.

Ηλεκτρόδιο O2			
Ρυθμός	Ποσοστά (%)		
	ΕμΣ	ΕΣ	Π
Δέλτα	11,1	17,4	28,4
Θήτα	4,8	5,4	8,2
Αλφα	6	4,6	5,7
Βήτα	11,4	10,3	7,6
Γάμμα	4,1	4	3,5

Συμπεράσματα - Συζήτηση

Παρατηρώντας τις συγκρίσεις των φασματικών κατανομών ισχύος των πειραματικών διατάξεων ΕμΣ και ΕΣ με την κατάσταση ηρεμίας γίνεται αντιληπτή μια μεγάλη (από τιμές της τάξεως των $0,25 \mu V^2$ σε τιμές της τάξεως των $0,02 \mu V^2$) και στατιστικά σημαντική ($p < .05$) πτώση της ισχύος των ρυθμών Άλφα (8-13 Hz) στις καταγραφές όλων των ηλεκτροδίων όταν το υποκείμενο κοιτάει. Η πτώση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ενεργοποίηση του ινιακού - οπτικού (ηλεκτρόδια O1 και O2) και βρεγματικού – συνειρμικού (ηλεκτρόδια P3, Pz και P4) φλοιού λόγω της αυξημένης εμπλοκής του υποκειμένου τόσο όσο αφορά στην ‘ενεργοποίηση’ του πρωτοταγούς οπτικού φλοιού (primary visual cortex) και την επεξεργασία της εισερχόμενης οπτικής πληροφορίας (Pfurtscheller & Klimesch 1990) όσο και στη διαδικασία αναγνώρισης των σχημάτων (Ergebnoglu et al. 2004). Η παρατήρηση αυτή αποτελεί και ισχυρή ένδειξη για τη σωστή λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού συστήματος κατά τη πειραματική διαδικασία, καθώς είναι αναμενόμενη η πτώση της ισχύος των ρυθμών Άλφα (αποσυγχρονισμός) όταν ένα υποκείμενο από την κατάσταση ηρεμίας (κλειστά μάτια) μεταβαίνει σε κατάσταση εισροής οπτικής πληροφορία (ανοιχτά μάτια) (Woertz, Pfurtscheller, & Klimesch 2004).

Παράλληλα, στις ίδιες συγκρίσεις φασματικών κατανομών (ΕμΣ – κατάσταση «ηρεμίας» και ΕΣ – κατάσταση ηρεμίας) ισχύος παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές πτώσεις της ισχύος των ρυθμών Βήτα (14-32 Hz) στις καταγραφές όλων των ηλεκτροδίων, που μπορούν να αποδοθούν στο ότι το υποκείμενο είχε εισέλθει σε μια κατάσταση ‘αναμονής’ του επερχόμενου οπτικού ερεθίσματος ή/και της εντολής του ερευνητή να ανοίξει τα μάτια του (Steriade 1993).

Επικεντρώνοντας στις καταγραφές των ηλεκτροδίων O1 και O2, τα οποία καταγράφουν τα δυναμικά στον ινιακό λοβό και τον ενεργοποιούμενο από οπτικά ερεθίσματα πρωτοταγή οπτικό φλοιό (Bear, Connors, & Paradiso 1996, Gerlic & Jausovec 1999), και περιοριζόμενοι στις μετρήσεις που αφορούν το ΕμΣ και το ΕΣ περιβάλλον, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < .05$) στην περιοχή των ρυθμών Άλφα (8-13 Hz) (μεγαλύτερες τιμές στο ΕμΣ) και στην περιοχή των ρυθμών Θήτα (4-7 Hz) (μεγαλύτερες τιμές στο ΕΣ) στο δεξιό ινιακό ηλεκτρόδιο O1. Οι διαφορές αυτές μπορούν να αποδοθούν στην πιο μεγάλη ενεργοποίηση περιοχών του οπτικού φλοιού για την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας στο ΕΣ – περιβάλλον (Berger 1929, Pollen & Trachtenberg 1972, Sowards & Sowards 1999). Σχετικές με την ισχύ των ρυθμών Άλφα έρευνες έχουν καταδείξει ότι αυτή έχει αντίστροφη σχέση με τη νοητική προσπάθεια (π.χ. Gerlic & Jausovec 1999). Στο αριστερό ινιακό ηλεκτρόδιο O2 οι διαφορές αυτές δεν εντοπίζονται κάτι που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Σχολιάζοντας τα ποσοστά της ισχύος των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών επί της συνολικής ισχύος του φάσματος (πίνακες 1 – 5) μπορούμε να παρατηρήσουμε κοινή συμπεριφορά των ποσοστών κατά τη μετάβαση από τη διάταξη ΕμΣ στη διάταξη ΕΣ με προεξάρχον χαρακτηριστικό τη μείωση των ρυθμών Άλφα.

Αν και η παρούσα έρευνα αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης και δεν μπορεί να οδηγήσει σε γενικευμένα συμπεράσματα, η απόφαση ότι το ΕΣ περιβάλλον οδήγησε το συγκεκριμένο υποκείμενο σε μεγαλύτερη νοητική εμπλοκή απ’ ότι το ΕμΣ, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη ισχυρή. Κρίνεται, δε δυνατό και απαραίτητο να διερευνηθεί περαιτέρω, με βελτιωμένη πειραματική διαδικασία και μεγάλο δείγμα, η χρήση της τεχνικής της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας για τη διεξαγωγή αντικειμενικών μετρήσεων και συγκρίσεων εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την επεξεργασία οπτικής πληροφορίας προερχόμενης από εικονικά, στερεοσκοπικά και μη, και πραγματικά περιβάλλοντα. Ήδη η ομάδα μας αξιοποιεί τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης για τη διεξαγωγή έρευνας με μεγαλύτερο δείγμα.

Τα αποτελέσματα αποτελούν μια πρώτη ένδειξη για τη μελέτη του ρόλου και την αξιοποίηση της στερεοσκοπίας, ειδικά σε ΕΕΠ που υποστηρίζουν γνωστικούς τομείς των φυσικών επιστημών στους οποίους η χωροαντιληπτικές ικανότητες παίζουν σημαντικό ρόλο για την οικοδόμηση της γνώσης.

Παραπομπές

- Κοντογεωργίου, Α. Μ. (2006). Η συμβολή της οπτικοποίησης στη διδασκαλία και κατανόηση της ατομικής δομής της ύλης. Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998). Η εικονική πραγματικότητα στην υποστήριξη της διδασκαλίας της φυσικής. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΗΣ, Αφιέρωμα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Η΄(26), 23-28.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. & Στρουμπούλης, Β. (2000), Διαμορφωτική αξιολόγηση εικονικού εκπαιδευτικού εργαστηρίου laser, στο Β. Κόμης (επ.) Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου, Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση, 382-386, Πάτρα.
- Backus, B. T. (2000). Stereoscopic vision: What's the first step? *Current Biology*, 10(19), 701-703.
- Bakas, Ch. and Mikropoulos, T. A. (2003), Design of virtual environments for the comprehension of planetary phenomena based on students' ideas, *International Journal of Science Education*, 25(8), 949-967.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (1996). *Neuroscience: Exploring the Brain*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Berger, H. (1929). Über das Elektroenkephalogramm des Menschen. *Journal of Psychology and Neurology*, 40, 160-179.
- Bischof, W.F. & Boulanger, P. (2003). Spatial navigation in virtual reality environments: An EEG analysis. *Cyberpsychology and Behaviour*, 6, 487-496.
- Crick, F. and Koch, C. (1990). Some reflections on visual awareness. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 55, 953-962.
- Dalgarno, B., Hedberg, J., Harper, B. (2002) The contribution of 3D environments to conceptual understanding. Διαθέσιμο (27/11/2006) στο: <http://www.ascilite.org.au/>.
- DeAngelis, G.C. (2000) Seeing in three dimensions: the neurophysiology of stereopsis. *Trends in Cognitive Science*, 4, 80-90.
- Duffy, F.H., Albert, M.S., McAnulty, G. and Garvey, A.J. (1984). Age-related differences in brain electrical activity of healthy subjects. *Annals of Neurology* 16, 430-438.
- Ergenoglu, T. et al. (2004). Alpha Rhythm of the EEG Modulates Visual Detection Performance in Humans. *Cognitive Brain Research*, 20, 376-383.
- Farrer, C. et al. (2003). Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *NeuroImage*. 18, 324-333.
- GTEC (2005). gBSanalyze Biosignal Analysis: User Manual. [Εγκατεστημένο λογισμικό]
- Gerlic, I., & Jausovec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational Technology Research and Development*, 47(3), 5-14.
- Klimesch, W., Pfurtscheller, G., Mohl, W., & Schimke, H. (1990). Event-related desynchronization, ERD-mapping and hemispheric differences for words and numbers. *International Journal of Psychophysiology*, 8, 297-308.
- Klimesch, W., Pfurtscheller, G., & Schimke, H. (1992). Pre- and post-stimulus processes in category judgement tasks as measured by event-related desynchronization (ERD). *Journal of Psychophysiology*, 6(3), 185-204.

- Kononen, M., & Partanen, J.V. (1993). Blocking of EEG alpha activity during visual performance in healthy adults. A quantitative study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87, 164-166.
- Mikropoulos, T. A. (1997), *Virtual Environments in Science Education*, International Conference Virtual Reality in Education & Training, 43 – 48, Loughborough, UK, June
- Mikropoulos, T. (2000). Brain Activity on Navigation in Virtual Environments. *Journal of Educational Computing Research*, 24(1), 1-12.
- Mikropoulos, T. A., Tzimas, E., Dimou, G. El. (2004), Objective Presence Measures through Electric Brain Activity, In M. A. Raya and B. R. Solaz (eds.) *Proceedings of the 7 th Annual International Workshop on Presence*, Valencia, 259-265.
- Moore, C. & Engel, S.A. (2001). Neural response to perception of volume in the lateral occipital complex, *Neuron*, 29, 277-286.
- Morar S. S., Macredie R. D., Cribbin T. (2002) An investigation of visual cues used to create and support frames of reference and visual search tasks in desktop virtual environments. *Virtual Reality: Research, Development and Applications*, 6(2), 140–150.
- Neill, R.A., & Fenelon, B. (1988). Scalp response topography to dynamic random dot stereograms. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 69,209-217.
- Pantelidis, V. S. (1993) Virtual reality in the classroom. *Educational Technology*, 33(4), 23-27.
- Pfurtscheller, G. & Klimesch, W. (1990). Topographical display and interpretation of event-related desynchronization during a visual- verbal task. *Brain Topography*, 3(1), 85-93.
- Pfurtscheller, G., Stancak, A., & Neuper, C. (1996) Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - an electrophysiological correlate of cortical idling: A review. *International Journal of Psychophysiology* 24(1-2), 39-46.
- Pollen, D. A., & Trachtenberg, M. C. (1972). Some problems of occipital alpha block in man. *Brain Research*, 41, 303-314.
- Sakata, H., Tsutsui, K., & Taira, M. (2005). Toward an understanding of the neural processing for 3D shape perception. *Neuropsychologia* 41, 151-161.
- Schier, M.A. (2000) Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration. *International Journal of Psychophysiology*. 37, 155-162.
- Sowards, T.V. & Sowards, M.A. (1999). Alpha-band oscillations in visual cortex: part of the neural correlate of visual awareness? *International Journal of Psychophysiology*, 32, 35-45.
- Singer, W., & Gray, C.M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 555–586.
- Skrandies, W. (1987) Visual persistence of stereoscopic stimuli: electric brain activity without perceptual correlate. *Vision Research*, 27(12), 2109–2118.
- Steriade M. (1993) Cellular substrates of brain rhythms. In: Niedermeyer, E., Lopes da Silva, F. (Eds.), *Electroencephalography: basic principles, clinical application and related fields*. Williams and Wilkins, Baltimore, 27-62.
- Winn, W. (1993). *A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality*. (HITLab Tech Report R-93-9) Seattle: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory.
- Woertz, M., Pfurtscheller, G., & Klimesch, W. (2004). Alpha power dependent light stimulation: dynamics of event-related (de)synchronization in human electroencephalogram. *Cognitive Brain Research*, 20(2), 256-260.