ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2010)

7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΤΠΕ «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»

Εγκεφαλικές διεργασίες σε στερεοσκοπικά εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα

Γιώργος Ζαχαρής, Βαγγέλης Τζίμας, Χρυσή Πριοβόλου, Τάσος Α. Μικρόπουλος

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ζαχαρής Γ., Τζίμας Β., Πριοβόλου Χ., & Μικρόπουλος Τ. Α. (2023). Εγκεφαλικές διεργασίες σε στερεοσκοπικά εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 055–062. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/4978

Εγκεφαλικές διεργασίες σε στερεοσκοπικά εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα

Γιώργος Ζαχαρής, Βαγγέλης Τζίμας, Χρυσή Πριοβόλου, Τάσος Α. Μικρόπουλος
gzacharis@grads.uoi.gr, me00620@cc.uoi.gr, chpriov@cc.uoi.gr, amikrop@uoi.gr
ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη

Η στερεοσκοπία αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας και φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας γυναικών με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) κατά τη διάρκεια παρατήρησης βασικών γεωμετρικών στερεών σε πραγματικό, τρισδιάστατο στερεοσκοπικό και δυσδιάστατο εικονικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα δείχνουν ομοιόμορφη τοπολογία της φασματικής κατανομής ισχύος στον εγκέφαλο και στα τρία περιβάλλοντα. Κατά την παρατήρηση, δεν απαιτήθηκε για κανένα περιβάλλον ιδιαίτερη προσπάθεια αύξησης της προσοχής και της εγρήγορσης. Το δυσδιάστατο περιβάλλον δημιούργησε περισσότερο άγχος και «προσμονή». Το τρισδιάστατο απαίτησε γενικά το λιγότερο νοητικό φόρτο ενεργοποιώντας μνημονικές λειτουργίες και οπτική επιλεκτική προσοχή, ενώ το πραγματικό θεωρήθηκε πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα χωρίς αύξηση του νοητικού φόρτου. Τα ευρήματα παρέχουν νέα δεδομένα για τις βιολογικές βάσεις της μάθησης και τη σχεδίαση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων.

Λέξεις κλειδιά: εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, στερεοσκοπία, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Εισαγωγή

Η στερεοσκοπία αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας (ΕΠ) και φαίνεται να έχει σημαντικό ρόλο σε όλους σχεδόν τους τομείς εφαρμογής της και κυρίως στα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα (ΕΕΠ) (Rosas et al., 2007). Στα 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 σε αυτό (Thompson et al., 2007).

Αν και υπάρχει αρκετός όγκος ερευνητικών δεδομένων για τη συνεισφορά των ΕΕΠ, λίγες έρευνες μελετούν την αποτελεσματικότητα των χαρακτηριστικών της ΕΠ στην εκπαίδευση (Mikropoulos, 2006). Η στερεοσκοπική όραση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη της οπτικοχωρικής δεξιότητας και τη συνεισφορά της στην κατανόηση των επιστημών. Ο Dede προτείνει τη στερεοσκοπική εμβύθιση ως ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ΕΠ που συμβάλλουν στην οικοδόμηση νοητικών μοντέλων και στην εννοιολογική αλλαγή (2009).

Η καταγραφή και ανάλυση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας με τη χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) κατά την αλληλεπίδραση ανθρώπου – περιβάλλοντος είναι δυνατό να δώσει σημαντικές πληροφορίες για τη σχεδίαση τρισδιάστατων ΕΕΠ. Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον έχει δείξει ότι η προσοχή των συμμετεχόντων αυξάνει στο στερεοσκοπικό εικονικό περιβάλλον (Mikropoulos, 2001). Οι IJsselsteijn και συνεργάτες (1998) αναφέρουν ότι η στερεοσκοπία έχει προστιθέμενη αξία σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές, μεταξύ των οποίων και η

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

εκπαίδευση, και αναμένεται να συμβάλει σε αυξημένη αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα.

Η μελέτη της στερεοσκοπικής όρασης μέσω της εγκεφαλικής δραστηριότητας είναι νέος και αναπτυσσόμενος τομέας. Το 2003 ο Hoffman και οι συνεργάτες του με μετρήσεις λειτουργικού μαγνητικού συντονισμού (fMRI) αναφέρουν ότι ένα στερεοσκοπικό ΕΠ ενισχύει την αίσθηση της παρουσίας. Ο Shoji (2006) χρησιμοποιώντας ΗΕΓ, μελετά την αντιληπτική μάθηση στο απομακρυσμένο οπτικό πεδίο και παράγοντες που συμβάλλουν στο αίσθηση της στερεοσκοπίας σε σχέση με νευροφυσιολογικές αλλαγές.

Τα βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με εγκεφαλική δραστηριότητα σε ΕΕΠ είναι λίγα, αναδεικνύοντας όμως τη δυναμική της μεθόδου για την κατανόηση γνωστικών διεργασιών και τη σχεδίαση αποτελεσματικών μαθησιακών περιβαλλόντων. Τα δεδομένα σχετικά με τη συμβολή της στερεοσκοπίας σε ΕΕΠ είναι ακόμα λιγότερα (Παπαχρήστος, 2006).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια παρατήρησης γεωμετρικών στερεών σε πραγματικό, τρισδιάστατο στερεοσκοπικό και δυσδιάστατο εικονικό περιβάλλον. Αναφορές σχετικά με την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την αλληλεπίδραση ανθρώπου με στερεοσκοπικά και μη στερεοσκοπικά ΕΕΠ, δεν έχουν βρεθεί. Η προσέγγιση της παρούσας εργασίας είναι αυτή του Rosas και των συνεργατών του που αναφέρουν «δεδομένου ότι η αίσθηση της στερεοσκοπίας τόσο στα πραγματικά όσο και στα εικονικά περιβάλλοντα έχει να κάνει με την αίσθηση της όρασης και των νοητικών διαδικασιών, πιστεύουμε ότι οι αντικειμενικές μετρήσεις, συνεπικουρούμενες ίσως και από υποκειμενικές, είναι απαραίτητες για την εκτίμηση της στερεοσκοπικής όρασης» (Rosas et al., 2007).

Μεθοδολογία

Ερευνητικός στόχος της εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια παρατήρησης γεωμετρικών στερεών σε πραγματικό, τρισδιάστατο στερεοσκοπικό και δυσδιάστατο εικονικό περιβάλλον.

Το δείγμα αποτέλεσαν 14 συμμετέχουσες, φοιτήτριες στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ηλικίας μεταξύ 19 και 22 ετών. Όλες ήταν δεξιόχειρες, χωρίς κάποια διαγνωσμένη μαθησιακή δυσκολία ή ψυχική νόσο, όπως ελέγχθηκε από κατάλληλο ερωτηματολόγιο. Οι φοιτήτριες 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. Η επιλογή υποκειμένων μόνο του ενός φύλου, έγινε για την αποφυγή καταγραφής διαφορετικών εγκεφαλικών σημάτων που πιθανώς οφείλονται σε διαφυλικές διαφορές και αποτελεί θέμα άλλου ερευνητικού σχεδίου της ομάδας.

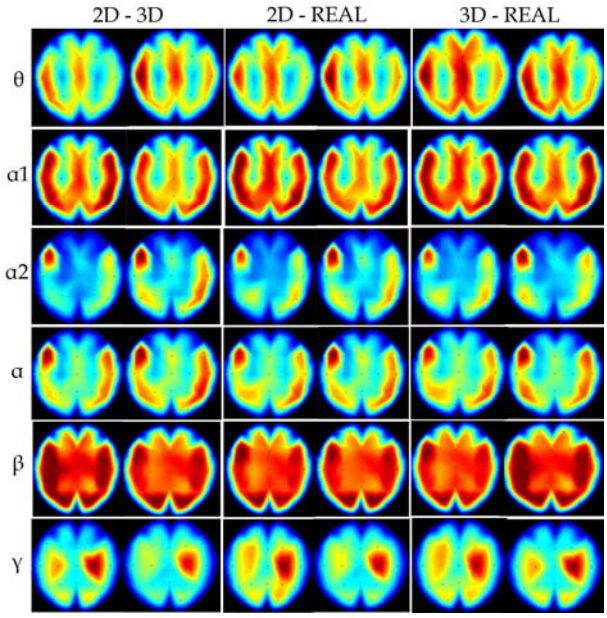
Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε την παρατήρηση χωρίς αλληλεπίδραση τριών περιβαλλόντων ίδιου περιεχομένου, που αποτελούσαν τέσσερα γεωμετρικά στερεά σώματα. Αυτά ήταν ένα τετράγωνο, μία πυραμίδα, μία σφαίρα και ένας πολυγωνικός κύλινδρος, όλα με ξύλινη υφή. Τα στερεά επιλέχθηκαν γιατί χρησιμοποιούνται σε διάφορες μορφές και συνθέσεις σε ποικίλα μαθησιακά περιβάλλοντα και αποτελούν οικεία αντικείμενα. Το πρώτο περιβάλλον ήταν πραγματικό (REAL), το δεύτερο εικονικό δυσδιάστατο (2D) προβαλλόμενο σε οθόνη και το τρίτο τρισδιάστατο και στερεοσκοπικό (3D) προβαλλόμενο μέσω στερεοσκοπικών γυαλιών.

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. Ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο στο μέτωπο χρησιμοποιήθηκε ως γείωση, και δύο στους λοβούς των

αυτιών ως αναφορά. Οι κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις των ματιών καταγράφηκαν διπολικά με χρήση δύο ηλεκτροδίων δεξιά και κάτω από το αριστερό μάτι, και δυο ηλεκτρόδιων που εφαρμόστηκαν στις εξωτερικές πλευρές των αυτών. Οι αντιστάσεις όλων των ηλεκτροδίων ήταν κάτω από 5 ΚΩ. Όσο οι συμμετέχουσες παρακολουθούσαν παθητικά τα τρία περιβάλλοντα καταγράφονταν τα ηλεκτρικά σήματα που παρήγαγε ο εγκεφαλικός τους φλοιός, ενώ άνοιγαν και έκλειναν τα μάτια τους μεταξύ των 10 επαναλήψεων για το κάθε περιβάλλον, κατόπιν εντολών που δέχονταν από τον ερευνητή προκειμένου να μειώνεται στο ελάχιστο η λήψη παρασίτων. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το σύστημα gBSanalyze και η ανάλυσή τους με τα λογισμικά EEGproccessing, 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), άλφα-1 (8-10Hz), άλφα-2 (11-12Hz), βήτα (13-32Hz) και γάμα (33-48Hz).

Αποτελέσματα

Οι τοπολογίες των εγκεφαλικών ρυθμών συγκριτικά ανά δύο περιβάλλοντα παρουσιάζονται στους φασματικούς χάρτες απόλυτης ισχύος του Σχήματος 1.



Σχήμα 1. Κατανομή ισχύος των εγκεφαλικών ρυθμών. Τα θερμά χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές, ενώ τα ψυχρά (μπλε, πράσινο) σε χαμηλές

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά φασματική περιοχή παραθέτοντας τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < .05$) ανά περιβάλλον. Τα σχόλια στους πίνακες αναφέρονται σε περιοχές του εγκεφάλου στις οποίες υπερέχει το αντίστοιχο περιβάλλον. Ο Πίνακας 1 δείχνει τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου στερεοσκοπικού (3D) περιβάλλοντος.

Πίνακας 1. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος

Ρυθμός	Δυσδιάστατο (2D)	Τρισδιάστατο (3D)
θήτα (4 – 7Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Αριστερή κροταφική, κεντρική, βρεγματική (T3-C3-P3), μέση κεντρική, βρεγματική (Cz-Pz) περιοχή
α1 (8 – 10Hz)	Αριστερή πρόσθια μετωπική (Fp1), αριστερή κεντρική (C3), δεξιά κεντρική (C4), βρεγματικές περιοχές	Δεν παρατηρείται διαφορά
α2 (11 – 12Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιά και αριστερή μετωπική-κεντρική-βρεγματική (F7, F3, F4-F8-C4), μέση κεντρική-βρεγματική (Cz-Pz), κροταφικές, ινιακές
άλφα (7.5 – 12.5Hz)	Αριστερή κεντρική- βρεγματική (C3-P3)	Αριστερή πρόσθια μετωπική-μετωπική (Fp1-F7- F3), δεξιές μετωπικές-κεντρικές-κροταφικές-βρεγματικές, μέση κεντρική (Cz), ινιακές
βήτα (13 – 32Hz)	Όλη εκτός από την αριστερή μετωπική (F7)	Αριστερή μετωπική (F7)
γάμα (33 – 48Hz)	Κροταφικές, μέση μετωπική (Fz), δεξιά κεντρική (F4), βρεγματικές, ινιακές	Αριστερές μετωπικές, δεξιά μετωπική (F8), αριστερή κεντρική (C3)

Όσον αφορά στην τοπολογία της εγκεφαλικής δραστηριότητας, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά της απόλυτης ισχύος σε όλους τους ρυθμούς (Σχήμα 1). Στο δυσδιάστατο περιβάλλον εμφανίζεται διάχυτος βήτα ρυθμός και μικρότερη θήτα δραστηριότητα σε κεντρικές, αριστερές μετωπικές και κροταφικές περιοχές. Επίσης, διακρίνεται ισχυρή δραστηριότητα άλφα-1, σε αντίθεση με την άλφα-2. Ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται ασθενής με εξαίρεση τη δεξιά κεντρική περιοχή. Στο τρισδιάστατο στερεοσκοπικό περιβάλλον οι ρυθμοί παρουσιάζουν παρόμοια τοπολογία με εξαίρεση τον α-2 ρυθμό που εξαπλώνεται στη δεξιά κροταφική και ινιακή περιοχή, όπως δείχνουν οι φασματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος με χρωματική κλίμακα που παρουσιάζουν τις εγκεφαλικές περιοχές που δραστηριοποιούνται (Σχήμα 1).

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ του δυσδιάστατου και πραγματικού περιβάλλοντος στις εγκεφαλικές περιοχές για τις έξι περιοχές συχνοτήτων.

Πίνακας 2. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος

Ρυθμός	Δυσδιάστατο (2D)	Πραγματικό (REAL)
θήτα (4 – 7Hz)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιές μετωπικές, δεξιές κροταφικές, αριστερή μετωπική (F7) περιοχή	Αριστερές κροταφικές, αριστερή βρεγματική-κεντρική (P3- C3), δεξιά βρεγματική (P4) περιοχή
α1 (8 – 10Hz)	Πρόσθια μετωπική, μετωπική, δεξιά κεντρική -κροταφική (C4-T4)	Αριστερή κροταφική- ινιακή-κεντρική-βρεγματική (T3- O1- C3- P3), δεξιά ινιακή (O2)
α2 (11 – 12Hz)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιά μετωπική (F8), αριστερή κροταφική (T5)	Αριστερή και μέση μετωπική (F7- F3-Fz), αριστερή κεντρική (C3), μέση κεντρική-βρεγματική (Cz-Pz), δεξιά κεντρική (C4)
άλφα (7.5 – 12.5Hz)	Πρόσθια μετωπική, δεξιά μετωπική-κροταφική (F4-F8-T4), αριστερή κροταφική (T5)	Κεντρική (C3, Cz, C4), αριστερή μετωπική (F3), αριστερή κροταφική (T3), ινιακή (O1, O2)

βήτα (13 – 32Hz)	Αριστερή πρόσθια μετωπική-κροταφική (Fp1-T5), μέση και δεξιά μετωπική (Fz, F4), κεντρικές, δεξιά κροταφική-βρεγματική (T6-P4)	Αριστερή μετωπική (Fp1), αριστερή-δεξιά κροταφική (T3-T4), αριστερή-μέση βρεγματική (P3, Pz), δεξιά ινιακή (O2)
γάμα (33 – 48Hz)	Σε όλες τις περιοχές εκτός της αριστερής κροταφικής (T5)	Αριστερή κροταφική (T5)

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

Ρυθμός	Τρισδιάστατο (3D)	Πραγματικό (REAL)
θήτα (4 – 7Hz)	Πρόσθια-δεξιά μετωπική (F4-F8), αριστερή κροταφική-κεντρική-μετωπική (T3-C3-F7- F3) περιοχή	Δεξιά κεντρική-κροταφική (C4-T6)
α1 (8 – 10Hz)	Αριστερές και δεξιές μετωπικές, αριστερή κεντρική (C3), δεξιά κροταφική (T6)	Μέση-αριστερή βρεγματική (Pz-P3), αριστερή κροταφική (T5)
α2 (11 – 12Hz)	Πρόσθια-δεξιά μετωπική (F8)-κροταφική (T6)	Αριστερές μετωπικές, αριστερή κροταφική (T3)
άλφα (7.5 – 12.5Hz)	Πρόσθιες μετωπικές, δεξιές μετωπικές-κροταφικές, αριστερή κεντρική (C3)	Αριστερή κροταφική-μέση-αριστερή βρεγματική (Pz, P3), δεξιά κεντρική (C4)
βήτα (13 – 32Hz)	Αριστερή μετωπική (F7, F3), μέση κεντρική (Cz), αριστερή κροταφική (T5)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), μέση-δεξιά μετωπική (Fz-F4), δεξιά κεντρική-κροταφική (C4-T4-T6), βρεγματικές, ινιακές
γάμα (33 – 48Hz)	Αριστερή-δεξιά μετωπική, αριστερή-δεξιά κεντρική (C3, C4), αριστερή βρεγματική (P3), δεξιά κροταφική (T6)	Αριστερή κροταφική (T3)

Χωρικά, η συμπεριφορά της απόλυτης ισχύος σε όλους τους ρυθμούς εμφανίζεται παρόμοια (Σχήμα 1). Και στα δύο περιβάλλοντα παρατηρείται διάχυτος βήτα και γάμα ρυθμός, ενισχυμένος θήτα στις κεντρικές και αριστερές κροταφικές περιοχές, αυξημένος άλφα στην αριστερή μετωπική, στις δεξιές μετωπικές, κεντρικές κροταφικές, καθώς και στις ινιακές περιοχές.

Συζήτηση και συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη διερευνά την εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια παρατήρησης τριών περιβαλλόντων με ίδιο περιεχόμενο, αλλά διαφορετική προέλευση. Η φασματική ανάλυση των σημάτων ΗΕΓ στις περιοχές θήτα, άλφα, βήτα και γάμα συνδέεται με συγκεκριμένες γνωστικές διεργασίες, οι οποίες μέχρι σήμερα έχουν μελετηθεί μόνο σε πραγματικά περιβάλλοντα και συνθετικά, αλλά όχι εικονικά. Τα ευρήματα οδηγούν σε συμπεράσματα, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι συχνότητες του θήτα ρυθμού εμφανίζονται αρκετά ισχυρές με παρόμοια τοπολογία τόσο στο δυσδιάστατο όσο και στο τρισδιάστατο περιβάλλον με εξάπλωση σε όλο το κεφάλι. Το γεγονός ότι ο θήτα ρυθμός εμφανίζει αυξημένη ισχύ στη δεξιά περιοχή του εγκεφάλου στο δυσδιάστατο περιβάλλον σε σχέση με το πραγματικό, πιθανώς σημαίνει ότι οι συμμετέχουσες αύξησαν το νοητικό τους φόρτο σε μια προσπάθεια εγρήγορσης και συγκέντρωσης στο δυσδιάστατο αφού καθώς η διεργασία εξελίσσονταν, ο φόρτος εργασίας από την άποψη της διατήρησης της προσοχής αυξήθηκε όσον αφορά στις οπτικοχωρικές

δεξιότητες (Caldwell et al., 2003). Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του θήτα ρυθμού στην αριστερή κροταφική περιοχή κατά την παρατήρηση του πραγματικού περιβάλλοντος έναντι του δυσδιάστατου δεν είναι αναμενόμενη. Αντίθετα, η στατιστικά σημαντική υπεροχή του τρισδιάστατου έναντι του πραγματικού ερμηνεύεται ως αύξηση της προσοχής και του οπτικού προσανατολισμού σε αυτό (Basar et al., 2001). Το γεγονός ότι ο θήτα ρυθμός και στα τρία περιβάλλοντα δεν εμφανίζεται αυξημένος στις μετωπικές περιοχές, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διεργασία που οι συμμετέχουσες παρακολούθησαν δεν ήταν ιδιαίτερα απαιτητική.

Γενικά, η αύξηση του άλφα ρυθμού συσχετίζεται με καταστάσεις χαλάρωσης στις περισσότερες των εγκεφαλικών λειτουργιών, ενώ η δραστηριότητά του μειώνεται κατά την εγρήγορση. Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται γενικότερα αυξημένος με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις στο τρισδιάστατο έναντι του δυσδιάστατου περιβάλλοντος, αλλά με εντελώς διαφορετικά πρότυπα στους υπορυθμούς άλφα-1 και άλφα-2. Και στα δύο περιβάλλοντα ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται κυρίως στη δεξιά κροταφική περιοχή καθώς και στην αριστερή μετωπική, ενώ είναι ασθενής στην ινιακή περιοχή. Η τελευταία παρατήρηση θεωρείται αναμενόμενη, αφού η ινιακή περιοχή ενεργοποιείται σε οπτικά ερεθίσματα.

Ο υπορυθμός άλφα-1 είναι σχεδόν σε όλο το κεφάλι υψηλότερος με στατιστική σημαντικότητα στο τρισδιάστατο περιβάλλον σε σχέση με το πραγματικό. Αυτό πιθανώς σημαίνει την προσπάθεια των συμμετεχουσών να αυξήσουν την προσοχή και την εγρήγορσή τους στο τρισδιάστατο έναντι του πραγματικού περιβάλλοντος (Jausovec et al., 2000).

Ο υπορυθμός άλφα-2 είναι υψηλότερος στο τρισδιάστατο έναντι του δυσδιάστατου περιβάλλοντος στις δεξιές κροταφικές περιοχές, όπως και στην αριστερή μετωπική (F7). Η διαφοροποίηση είναι εντονότερη στην ινιακή περιοχή (Σχήμα 1), γεγονός που σηματοδοτεί διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία σε οπτικοχωρικές δραστηριότητες (Cremades et al., 2004). Η μείωση του άλφα-2 στις ινιακές περιοχές για το δυσδιάστατο περιβάλλον συνεπάγεται περισσότερη αισθητηριακή επεξεργασία και πιθανώς σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας σε αυτό. Ίσως, ο εγκέφαλος απαιτεί μεγαλύτερη δραστηριότητα για την αποκωδικοποίηση τρισδιάστατων στερεών όταν το ερέθισμα παρουσιάζεται σε μία δυσδιάστατη οθόνη. Επίσης, ο υπορυθμός άλφα-2 είναι στατιστικά υψηλότερος στο δυσδιάστατο περιβάλλον έναντι του πραγματικού στις δεξιές προμετωπιαίες και μετωπικές περιοχές. Αυτό υπονοεί ότι το πραγματικό περιβάλλον, εκτός από πρωτογενή οπτική επεξεργασία ενεργοποίησε και «ανώτερες» εγκεφαλικές λειτουργίες, όπως η μνήμη (Klimesh, 1999). Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και από τη σύγκριση του τρισδιάστατου με το πραγματικό περιβάλλον. Το τρισδιάστατο πιθανόν να απαίτησε περισσότερη οπτική επεξεργασία σε σχέση με το πραγματικό. Αυτό σημαίνει επεξεργασία κυρίως οπτικών πληροφοριών, αναμενόμενο για τα αποκλειστικά οπτικά ερεθίσματα και των τριών περιβαλλόντων (Gremades et al., 2004). Η παρατήρηση αυτή ερμηνεύεται ως αύξηση της προσοχής και του οπτικού προσανατολισμού σε αυτό έναντι του τρισδιάστατου (Scerbo et al., 2001).

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται γενικά ιδιαίτερα ισχυρός και τοπολογικά εξαπλωμένος και στα τρία περιβάλλοντα. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τη μειωμένη παρουσία του άλφα. Ο αποσυγχρονισμός του άλφα ρυθμού σχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ η βήτα δραστηριότητα με την αντίθετη συμπεριφορά από την άλφα δηλώνει ότι αυξάνουν οι απαιτήσεις εργασίας (Papanikolaou et al., 1986). Η στατιστικά σημαντική αύξηση του βήτα ρυθμού στο τρισδιάστατο περιβάλλον εντοπίζεται σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές και μάλλον συνδέεται με νοητική εργασία (Kiroy et al., 1996). Επίσης, η αύξηση του βήτα στις

πρόσθιες περιοχές σχετίζεται με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης κάτι που ενισχύει την λιγότερο χαλαρή κατάσταση των συμμετεχουσών στο τρισδιάστατο περιβάλλον που υποδεικνύει η μορφή των άλλων ρυθμών (Jacobs et al., 1996). Πιθανώς, οι συμμετέχουσες ανέμεναν «κάτι να συμβεί» στο τρισδιάστατο περιβάλλον και η προσοχή τους ήταν αυξημένη.

Σε αντίθεση με τον άλφα, ο ρυθμός γάμα που τοπολογικά εξαπλώνεται παρόμοια και στα τρία περιβάλλοντα, αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Η συμμετοχή βρεγματο-ινιακών περιοχών (Σχήμα 1) είναι αναμενόμενη, αφού υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών και συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με αντιληπτικούς μηχανισμούς προσοχής (Müller et al., 2000; Tallon-Baudry, 2004). Η μειωμένη ισχύς του ρυθμού γάμα στο τρισδιάστατο περιβάλλον συμφωνεί με την συμπεριφορά του άλφα ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό με τις λιγότερες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη χαλάρωση. Είναι σαφής η στατιστικά σημαντική υπεροχή του δυσδιάστατου περιβάλλοντος έναντι του πραγματικού σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Η παρατήρηση σημαίνει ότι το δυσδιάστατο περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber & Matthias, 2005), κάτι που πιθανά οφείλεται στην μη πιστή αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, και στα τρία περιβάλλοντα έλαβαν χώρα οπτικοχωρικές διεργασίες κατά τις οποίες δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για αύξηση της προσοχής και της εγρήγορσης κατά την επεξεργασία πρωτογενών οπτικών δεδομένων. Παράλληλα, παρατηρείται παρόμοια εν γένει τοπολογία της φασματικής κατανομής της ισχύος και στα τρία περιβάλλοντα, γεγονός που ερμηνεύεται ως ενεργοποίηση παρόμοιων εγκεφαλικών λειτουργιών. Εντούτοις, οι σημαντικές διαφορές στις τιμές της φασματικής ισχύος υποδηλώνουν ορισμένες διαφοροποιήσεις. Το δυσδιάστατο περιβάλλον φαίνεται να δημιουργεί μεγαλύτερο άγχος, νοητικό φόρτο ή «προσμονή». Αυτό δεν ερμηνεύεται ότι στο δυσδιάστατο περιβάλλον έγιναν αντιληπτές οι τρεις διαστάσεις, αλλά ότι οι συμμετέχουσες πιθανώς αναζητούσαν την τρίτη διάσταση σε ένα περιβάλλον δύο διαστάσεων. Το τρισδιάστατο περιβάλλον απαίτησε γενικά το λιγότερο νοητικό φόρτο. Ωστόσο ενεργοποίησε τον μετωπικό φλοιό απαιτώντας μνημονικές λειτουργίες και οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber & Matthias, 2005), πιθανώς επειδή ήταν κάτι νέο ή επειδή οι συμμετέχουσες είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία ή λόγω του ότι παρουσιάστηκε πρώτο και ίσως ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των συμμετεχουσών, ιδιαίτερα σε σχέση με τα άλλα δύο περιβάλλοντα. Το πραγματικό περιβάλλον θεωρήθηκε πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα για αυτό παρουσίασε αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Ωστόσο, δεν αύξησε γενικά το νοητικό φόρτο πιθανώς λόγω της απλότητας και οικειότητας των αντικειμένων.

Η παρούσα μελέτη είναι διερευνητική και παρέχει νέα δεδομένα για την εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων. Η έρευνα συνεχίζεται με την παρατήρηση περιβαλλόντων με συγκεκριμένο εκπαιδευτικό περιεχόμενο, την προσθήκη κίνησης και την προσπάθεια μελέτης συγκεκριμένων γνωστικών δεξιοτήτων.

Αναφορές

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schurmann, M. (2001). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 241-248.

Caldwell, J. A., Prazinko, B., & Caldwell, J. L. (2003). Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. *Clinical Neurophysiology,* 114, 23- 31.

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), 569-579.

Gruber, T., & Matthias, M. (2005). Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG. *Cerebral Cortex,* 15, 109 -116.

Dede, C. (2009). Immersive Interfaces for Engagement and Learning. *Science*, 323(5910), 66-69.

Hoffman, H. G., Richards, T., Coda, B., Richards, A., & Sharar, S. R. (2003b). The illusion of presence in immersive virtual reality during an fMRI brain scan. *CyberPsychology and Behavior*, 6, 127-132.

IJsselsteijn, W., de Ridder, H., Hamberg, R., Bouwhuis, D., & Freeman, J. (1998). Perceived depth and the feeling of presence in 3DTV. *Displays*, 18, 207-214.

Jacobs, G. D., Benson, H., & Friedman, R. (1996). Topographic EEG mapping of the relaxation response. *Biofeedback and Self-Regulation,* 21(2), 121-129.

Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology,* 36, 73-88.

Kiroy, V. N., Warsawskaya, L. V., & Voynov, V. B. (1996). EEG after prolonged mental activity. *International Journal of Neuroscience,* 85, 31-43.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Auinger, P., & Winkler, T. (1999). 'Paradoxical' alpha synchronization in a memory task. *Cognitive Brain Research,* 7, 493 501.

Mikropoulos, T. (2001). Brain activity on navigation in virtual environments. *Journal of Educational Computing Research*, 24(1), 1-12.

Mikropoulos, T.A. (2006). Presence: a unique characteristic in educational virtual environments. *Virtual Reality*, 10(3), 197 – 206.

Müller, M. M., Gruber, T., & Keil, A. (2000). Modulation of induced gamma band activity in the human EEG by attention and visual information processing. *International Journal of Psychophysiology*, 38, 283-299.

Papanikolaou, A. C., Loring, D. W., Deutsch, G., & Eisenberg, H. M. (1986). Task-related EEG asymmetries: a comparison of alpha blocking and beta enhancement. *International Journal of Neuroscience,* 30, 81-85.

Rosas H, Vargas W, Ceron A, Dominguez D, & Cardenas A. (2007). Psychophysical approach to the measurement of depth perception in stereo vision. *Virtual Reality,* 4563, HCII, 358–366.

Scerbo, M., Freeman, F., Mikulka, P., Parasuraman, R., Di Nocero, F., & Prinzel, L. (2001). *The efficacy of psychophysiological measures for implementing adaptive technology*. NASA Technical Report TP-2001-211018.

Shoji, H., & Ozaki, H. (2006). Neurophysiological correlates of pattern recognition in the peripheral visual field. In M. S. Corrigan (ed.), *Pattern recognition in biology* (pp. 205-220). New York: Nova Science Publisher, Inc.

Tallon-Baudry, C. (2004). Attention and awareness in synchrony. *Trends in Cognitive Science,* 8, 523-525.

Thompson, M., Thompson, J., & Wenqing, W. (2007). *Brodmann Areas (BA), 10-20 Sites, Primary Functions.* ADD Centre, Biofeedback Institute of Toronto, American Applied NeuroScience Institute.

Παπαχρήστος, Ν. (2006). *Εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση γεωμετρικών σχημάτων*. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης.