

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ
ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ:
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΜΠΑΚΟΥ**

Μ. Παπαηλιού¹, Π. Λουκάς¹, Ε. Μαυρομιχαλάκη¹, S. Dimitrova², E. Babayev³

¹Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα

²Solar-Terrestrial Influences Laboratory, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

³Institute of Physics, Azerbaijan National Academy of Sciences, The Republic of Azerbaijan

Περίληψη

Σ' αυτή την εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μελέτη που διεξάγουν σε συνεργασία τρεις ερευνητικές ομάδες (Αθήνα – Ελλάδα, Μπακού – Αζερμπαϊτζάν και Σόφια – Βουλγαρία) σχετικά με την αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού σε γεωμαγνητικές διαταραχές και μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας μέσω των μεταβολών ανθρώπινων φυσιολογικών παραμέτρων, όπως συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, καρδιακό ρυθμό, κτλ. Αυτή η μελέτη αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από 15 Ιουλίου 2006 έως και 31 Μαΐου 2008. Ημερήσιες τιμές του καρδιακού ρυθμού και των διαστημάτων RRavg, Rrmin και RRmax, όπως έχουν καταγραφεί για επτά υγιή άτομα στο Εργαστήριο Ηλιοβιολογίας, στο Ιατρικό Κέντρο INAM στο Μπακού/Αζερμπαϊτζάν, αναλύθηκαν σε σχέση με ημερήσιες μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως μετράται στο Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών όπως επίσης και με ημερήσιες μεταβολές των γεωμαγνητικών δεικτών Dst και Ap. Η περίοδος 4 – 22 Δεκεμβρίου 2006 παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα και μεγάλα γεγονότα κοσμικής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα έχει καταγραφεί μια σειρά μειώσεων Forbush, από τις 6 Δεκεμβρίου έως και το τέλος του μήνα και ένα πρωτονικό γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την επίγεια αύξηση κοσμικής ακτινοβολίας (GLE) στις 13 Δεκεμβρίου 2006. Μια σημαντική μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις 15 Δεκεμβρίου κατέληξε σε γεωμαγνητική καταιγίδα, που καταγράφηκε και από τον Σταθμό της Αθήνας (κατώφλι δυσκαμψίας 8.53 GV). Στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για να καθοριστεί η επίδραση των γεωμαγνητικών μεταβολών και των μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους (για κάθε άτομο ξεχωριστά και για όλη την ομάδα). Όπως προκύπτει οι μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό και τα διαστήματα RRavg, Rrmin και RRmax συνδέονται με τα υψηλά επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας και τις έντονες μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας.

I. Εισαγωγή

Η υγεία είναι κατά γενική παραδοχή το πιο σημαντικό στοιχείο που επηρεάζει τις ζωές των ανθρώπων και σε πολλές περιπτώσεις και εκείνη που καθορίζει σε ένα μεγάλο ποσοστό τις δραστηριότητές τους. Από τότε που ο άνθρωπος ξεκίνησε να εξερευνά, να καταγράφει και να επεξεργάζεται το περιβάλλον του προσπάθησε να αναζητήσει συσχετισμούς των διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων και των μεταβολών τους με την κατάσταση της υγείας του. Τέτοιοι συσχετισμοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος και κατά συνέπεια στην πρόληψη και θεραπεία διαφόρων ασθενειών.

Ο άνθρωπος ζει και είναι μέρος ενός μεγαλύτερου φυσικού και κοσμικού συστήματος με το οποίο αλληλεπιδρά χωρίς πάντοτε να έχει συνείδηση του τρόπου με τον οποίο γίνεται αυτό. Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί η διερεύνηση του κατά πόσο επηρεάζονται οι ανθρώπινες φυσιολογικές παράμετροι (καρδιακός ρυθμός, αρτηριακή συστολική και διαστολική πίεση, κτλ) από εξωγενείς συνθήκες, περιβαλλοντικές, γεωμαγνητικές, ατμοσφαιρικές και άλλες που ξεφεύγουν από τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας, αλλά ωστόσο επιδρούν έμμεσα ή άμεσα, όπως είναι η κοσμική ακτινοβολία και η ηλιακή δραστηριότητα.

Οι διαταραχές του γεωμαγνητικού πεδίου, όπως είναι οι μαγνητικές καταιγίδες, μπορούν να επηρεάσουν το νευρικό σύστημα στον άνθρωπο, καθώς έχουν συσχετιστεί με εξάρσεις άγχους και νευρικές

αντιδράσεις στους ανθρώπους με αποτέλεσμα την αύξηση των ατυχημάτων στις μεταφορές (Ashikaliev et al., 1995). Τα ατυχήματα των τρένων που οφείλονται σε μηχανικές βλάβες δε φαίνεται να συσχετίζονται με τον διαστημικό καιρό, τα ατυχήματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα ωστόσο έχουν στατιστικά σημαντικό συσχετισμό, ενώ και οι μεταβολές στην κοσμική ακτινοβολία, όπως είναι οι μειώσεις Forbush έχουν συσχετιστεί με τη μέση συχνότητα δυσλειτουργιών στα τρένα (Dorman, 2001).

Επιπρόσθετα βρέθηκαν περιοδικότητες στα καταγεγραμμένα καρδιαγγειακά περιστατικά και εξετάζεται η σχέση τους με τις περιοδικότητες των γεωμαγνητικών φαινομένων και του ηλιακού κύκλου (Cornelissen et al., 2005). Πολλές μελέτες διερεύνησαν τις περιοδικότητες των περιστατικών εμφραγμάτων του μυοκαρδίου και των διακυμάνσεων των καρδιακών ρυθμών και τις συσχέτισαν με την περιοδικότητα της ηλιακής δραστηριότητας (11ετής κύκλος) και τις μαγνητικές καταιγίδες. Ένα διεθνές έργο, το BIOCOS (από τις λέξεις BIOSphere και COSmos) επιχειρεί τη συντονισμένη παρακολούθηση, καταγραφή και ανάλυση σωματικών παραμέτρων της ανθρώπινης φυσιολογίας σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες και σε συνδυασμό με τα γεωμαγνητικά φαινόμενα και την ηλιακή δραστηριότητα (Cornelissen et al., 2002).

Ο αριθμός των αιφνίδιων καρδιακών θανάτων συσχετίστηκε με τα ημερήσια επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και η κοσμική ακτινοβολία θα μπορούσε να συμπεριληφθεί ως ένας από τους παράγοντες που ρυθμίζουν την ανθρώπινη ομοίωση, όπως προέκυψε από δεδομένα δύο ετών στην περιοχή του Μπακού στο Αζερμπαϊτζάν (Stoupelet et al., 2006). Επιπλέον, μελετώντας την κατανομή των θανάτων και την κοσμοφυσική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια 180 μηνών στη Λιθουανία, βρέθηκε αξιοσημείωτη συσχέτιση μεταξύ του ολικού μηνιαίου αριθμού των θανάτων και δεικτών της κοσμικής ακτινοβολίας, ενώ αντίστροφη συσχέτιση βρέθηκε με την ηλιακή δραστηριότητα. Η μηνιαία γεωμαγνητική δραστηριότητα βρέθηκε να συσχετίζεται με τα τροχαία ατυχήματα, τις ισχαιμικές καρδιοπάθειες και θανάτους από εμφράγματα, μη καρδιαγγειακές αιτίες και τροχαία ατυχήματα (Stoupelet et al., 2007).

Καρδιαγγειακά περιστατικά στο σταθμό πρώτων βοηθειών στο Κλαϊπέντα της Λιθουανίας συσχετίστηκαν με τις τιμές 10 κοσμοφυσικών παραμέτρων τη στιγμή που συνέβησαν (Stoupelet et al., 2002). Ο αριθμός των περιστατικών που χρειάστηκαν πρώτες βοήθειες συσχετίστηκαν με τα μηνιαία επίπεδα της περιβαλλοντικής φυσικής δραστηριότητας. Εκτός από τις καρδιακές προσβολές, όλες οι υπό μελέτη παθολογίες βρέθηκαν σημαντικά συσχετισμένες με την ροή κοσμικών πρωτονίων υψηλών ενεργειών και αντίστροφα συσχετισμένες με την ηλιακή δραστηριότητα. Δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο ο αντίστροφος συσχετισμός της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας να προκύπτει από τον αντίστροφο συσχετισμό των παραμέτρων αυτών με τη ροή πρωτονίων υψηλών ενεργειών, η οποία παίζει ένα σημαντικό ρόλο σε γενικά, αλλά και πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης καρδιαγγειακής ομοιότητας.

Η επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σε καρδιαγγειακές παραμέτρους ήταν το αντικείμενο και σε προηγούμενες μελέτες (Stoupelet, 1999). Η αρτηριακή πίεση, συστολική και διαστολική, μετρήθηκε σε μια ομάδα υπερτασικών και σε άλλη υγιών εθελοντών. Τις μέρες υψηλής γεωμαγνητικής δραστηριότητας, οι υπερτασικοί και οι υγιείς είχαν υψηλότερη διαστολική πίεση σε σχέση με τις ήπιες γεωμαγνητικές μέρες (Stoupelet, 1980).

Σοβαρές ενδείξεις για την επίδραση των μεταβολών των γεωμαγνητικών δεικτών στην ανθρώπινη φυσιολογία οδήγησαν σε περαιτέρω έρευνες για την επίδραση των τοπικών γεωμαγνητικών καταιγίδων στην αρτηριακή πίεση (Dimitrova et al., 2004): τόσο η διαστολική, όσο και η συστολική πίεση αυξήθηκαν σημαντικά σε έντονες τοπικές και πλανητικές καταιγίδες. Ένα επιπλέον ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε ήταν οι διαφορές στις αντιδράσεις ανάμεσα στα δύο φύλα. Οι γυναίκες έδειξαν μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου, όπως και τα άτομα που βρίσκονταν υπό φαρμακευτική αγωγή. Μελέτες κατά τη διάρκεια έντονων ηλιακών γεγονότων έχουν αποδείξει τη συσχέτιση των μεταβολών στον καρδιακό ρυθμό με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Papaïliou et al., 2009), ενώ ο συσχετισμός αυτός βρέθηκε και πάλι μεγαλύτερος στις γυναίκες από τους άντρες.

Εκτός από τις καρδιολογικές παραμέτρους, μελετήθηκε επίσης η επίδραση των γεωμαγνητικών φαινομένων, της κοσμικής ακτινοβολίας και της ηλιακής δραστηριότητας σε άλλα πεδία της ανθρώπινης φυσιολογίας. Ο διαστημικός καιρός φάνηκε να επιδρά σε κάποιες παραμέτρους πνευματικής απόδοσης και υγείας σε αεροπορικό προσωπικό (Dzvonik et al., 2006). Βρέθηκε ότι οι καρδιακοί ρυθμοί σε φόρτο είναι χαμηλότεροι σε περιόδους μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας από ότι σε περιόδους ελάχιστης ηλιακής δραστηριότητας, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τη διαστολική πίεση. Η ηλιακή δραστηριότητα συσχετίστηκε και με άλλες ψυχολογικές και εγκεφαλικές παραμέτρους, ενώ προέκυψε η περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης αυτής ακόμα και σε επίπεδο κυττάρων.

Οι επιδράσεις των αλλαγών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην κατάσταση λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου ήταν και το αντικείμενο μελέτης που έγινε στην περιοχή του Μπακού στο Αζερμπαϊτζάν (Babayev and Allahverdiyeva, 2007) και επιβεβαίωσε ότι τουλάχιστον σε γεωγραφικές περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών, η ανθρώπινη φυσιολογία και ψυχολογία επηρεάζεται από τις

γεωμαγνητικές διαταραχές. Στην ίδια μελέτη βρέθηκε ότι τα επίπεδα άγχους, η ικανότητα εργασίας και συγκέντρωσης επηρεάζονται από τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, κάνοντας έτσι σαφές ότι η κατανόηση των φυσικών δεσμών ανάμεσα στο διαστημικό καιρό και την ανθρώπινη φυσιολογία είναι αναγκαία για θέματα πρόληψης και θεραπείας γνωστών σωματικών και ψυχολογικών ασθενειών.

Σε κάθε περίπτωση όπως φαίνεται υπάρχει συσχέτιση των κοσμικών και γεωφυσικών παραμέτρων με την ανθρώπινη υγεία και είναι απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα για τον όσο πιο σαφή προσδιορισμό της σχέσης αυτής. Στη μελέτη αυτή θα εξεταστεί αν ο συσχετισμός αυτός επιβεβαιώνεται, δηλαδή αν οι μεταβολές των γεωμαγνητικών δεικτών και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας συσχετίζονται με ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους.

II. Δεδομένα

Τα δεδομένα για την ένταση κοσμικής ακτινοβολίας (CRI) προήλθαν από τον Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Ο σταθμός (Super 6NM-64) παρέχει υψηλής ποιότητας δεδομένα σε αληθινό χρόνο (real-time) με διακριτική ικανότητα μιας ώρας, ενός λεπτού, ή ενός δευτερολέπτου και εκπληρώνει όλες τις σύγχρονες απαιτήσεις επεξεργασίας και παρουσίασης δεδομένων, ώστε να είναι εύκολη η άμεση χρήση τους. Ο σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας μπήκε σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2000. Βρίσκεται σε υψόμετρο 260 m, έχει κατακόρυφο κατόφλι μαγνητικής δυσκαμψίας 8.53GV και είναι μοναδικός στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ανατολικής Μεσογείου Θάλασσας.

Τα δεδομένα για τη γεωμαγνητική δραστηριότητα (GMA) που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ήταν οι γεωμαγνητικοί δείκτες Ap και Dst για την περίοδο από τις 15 Ιουλίου 2006 έως τις 31 Μαρτίου 2008, τις ημέρες για τις οποίες υπήρχαν και ιατρικά δεδομένα (δηλαδή καθημερινά εκτός Κυριακής). Συνολικά καταγράφηκαν γεωμαγνητικά δεδομένα για 626 ημέρες. Για τον γεωμαγνητικό δείκτη Dst χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Παγκόσμιο Κέντρο Γεωμαγνητικών Δεδομένων στο Κιότο Ιαπωνίας και αντλήθηκαν για την πιο πάνω περίοδο από την online βάση δεδομένων (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>). Η γεωμαγνητική δραστηριότητα χωρίστηκε σε 5 επίπεδα (I0, I, II, III και IV) ανάλογα με το μέγεθος της ημερήσιας μέσης τιμής του δείκτη Dst (Πίνακας I). Στον Πίνακα I αναγράφεται ο αριθμός των ημερών για το κάθε επίπεδο, δηλαδή πόσες ημέρες από το χρονικό διάστημα της έρευνας κατατάσσονται σε κάθε επίπεδο γεωμαγνητικής δραστηριότητας.

Πίνακας I. Οι γεωμαγνητικοί δείκτες Dst σε nT, τα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με αυτούς και ο αριθμός των ημερών για κάθε επίπεδο, από το διάστημα 15 Ιουλίου 2007 έως 31 Μαρτίου 2008.

Τιμές δείκτη Dst, nT	Dst ≥ 0	-20 ≤ Dst < 0	-50 ≤ Dst < -20	-100 ≤ Dst < -50	Dst > -100
Επίπεδο δείκτη Dst	I0	I	II	III	IV
Αριθμός Ημερών	176	378	71	1	0

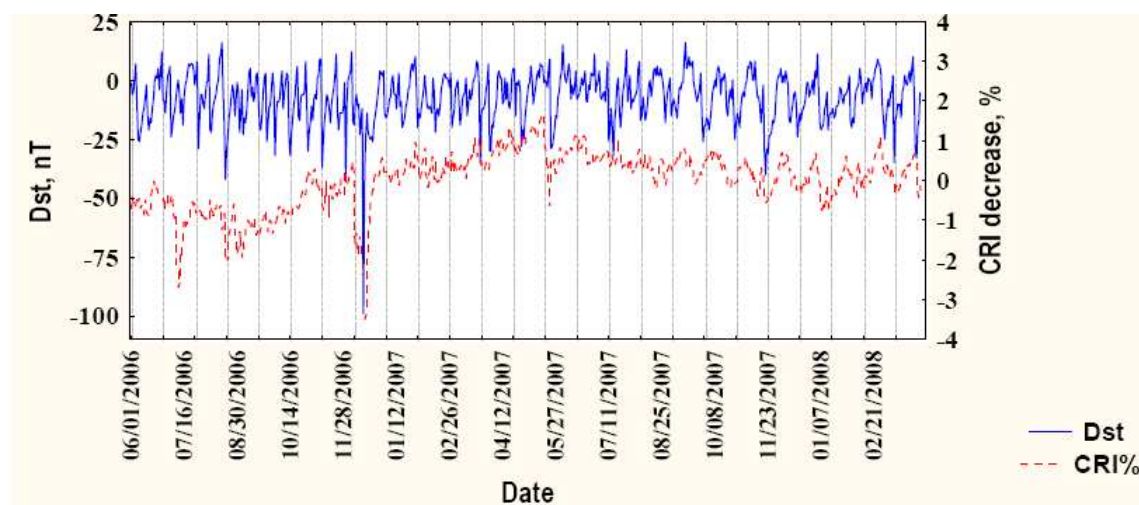
Για τις μέρες που χαρακτηρίζονται από θετικές τιμές του δείκτη Dst, εισήχθη το επίπεδο “I0”, επειδή κατά την χρονική περίοδο της έρευνας υπήρχαν πολλές μέρες με χαμηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα. Ο λόγος που συμπεριλήφθησαν και αυτές οι ημέρες στην ανάλυση είναι κυρίως επειδή υπάρχουν ενδείξεις ότι και οι πολύ μικρές διακυμάνσεις ή ακόμα και οι μηδενικές διακυμάνσεις του γεωμαγνητικού πεδίου μπορεί να έχουν επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η ποσοστιαία μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως επίσης και του γεωμαγνητικού δείκτη Dst για το υπό εξέταση διάστημα παρουσιάζονται στο Σχ. 1. Όπως φαίνεται σημειώθηκε μια μείωση στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας της τάξης του -4% στις 15 Δεκεμβρίου 2006, ενώ η αντίστοιχη τιμή του δείκτη Dst ήταν -99nT.

Αντίστοιχα, για τον γεωμαγνητικό δείκτη Ap τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση προέρχονται από το Κέντρο Πρόγνωσης Διαστημικού Καιρού που βρίσκεται στην πόλη Μπόλντερ των Η.Π.Α. (http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices.html). Και πάλι, η γεωμαγνητική δραστηριότητα χωρίστηκε στα ίδια πέντε επίπεδα (I0, I, II, III και IV) ανάλογα με το μέγεθος του δείκτη Ap (Πίνακας II). Στον Πίνακα II υπάρχει ο αναλυτικός διαχωρισμός των πέντε επιπέδων για τον δείκτη Ap, καθώς και ο αριθμός των ημερών για κάθε επίπεδο για την περίοδο της έρευνας.

Πίνακας II. Οι γεωμαγνητικοί δείκτες A_p , τα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με αυτούς και ο αριθμός των ημερών που κατατάχθηκαν σε κάθε επίπεδο, από το διάστημα 15 Ιουλίου 2007 έως 31 Μαρτίου 2008.

Τιμές δείκτη A_p	$A_p < 8$	$8 \leq A_p < 15$	$15 \leq A_p < 30$	$30 \leq A_p < 50$	$50 \leq A_p$
Επίπεδο δείκτη A_p	Ι0	I	II	III	IV
Αριθμός Ημερών	373	161	83	7	2

Τα ιατρικά δεδομένα της μελέτης αυτής προέκυψαν μετά από μετρήσεις σε μια ομάδα 7 υγιών ατόμων στην πόλη του Μπακού στο Αζερμπαϊτζάν (γεωγραφικό πλάτος: $40^{\circ}23'$ Βόρεια, γεωγραφικό μήκος: $49^{\circ}51'$ Ανατολικά) για το διάστημα από τις 15 Ιουλίου 2006 μέχρι τις 31 Μαρτίου 2008. Την ομάδα αποτελούσαν 4 γυναίκες και 3 άνδρες που προσφέρθηκαν εθελοντικά και είχε, το 2007, μέσο όρο ηλικίας τα 31,6 έτη.



Σχήμα 1. Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CRI decrease %) και μεταβολές του δείκτη Dst για την χρονική περίοδο του πειράματος.

Τα άτομα αυτά για το πιο πάνω διάστημα και καθημερινά, εκτός από Κυριακές, υπόκειντο σε ιατρικές εξετάσεις και ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ). Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης άλλων υποκειμενικών ή αντικειμενικών παραγόντων (π.χ. περιβαλλοντικών συνθηκών, τεχνητών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, προσωπικών προβλημάτων κλπ) στο αποτέλεσμα, οι μετρήσεις διεξάγονταν σε ειδικό απομονωμένο δωμάτιο σχεδιασμένο για ιατρικές εξετάσεις και με ανέσεις που προσέφεραν στους εθελοντές την ευκαιρία να χαλαρώσουν πριν την εξέταση. Κανένα από τα μέλη της ομάδας των εθελοντών δεν είχε κάποιου είδους πληροφόρηση για τις συνθήκες του διαστημικού καιρού πριν και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, λήφθηκε υπόψη και η κατάσταση της φυσιολογίας και της ψυχολογίας των ατόμων αυτών και σε περίπτωση κάποιου παραπόνου ή προβλήματος (π.χ. άγχος, συναισθηματική ένταση, κάποια έκτακτη παθολογία όπως γρίπη κλπ) οι εξετάσεις είτε δεν γίνονταν, είτε δε συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση. Αυτά τα μικρά κενά δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα του πειράματος.

Από τις καταγραφές αυτές και την πολύ-φασματική ανάλυση σε υψηλής ποιότητας ΗΚΓ 12 καναλιών προέκυψαν οι μετρήσεις των καρδιακών ρυθμών (Heart Rate – HR) σε παλμούς το λεπτό (beats per minute – bpm) και των διαστημάτων RR σε msec για κάθε άτομο. Πιο συγκεκριμένα για τα διαστήματα RR, οι μετρήσεις που καταγράφηκαν αφορούν τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή του διαστήματος RR (RRmax και RRmin αντίστοιχα) σε msec, καθώς και την μέση τιμή (RRavg) για όλη τη χρονική διάρκεια του κάθε ΗΚΓ. Συνολικά από όλη την ομάδα των επτά ατόμων καταγράφηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για ανάλυση 1673 ψηφιακές μετρήσεις για κάθε είδος φυσιολογικής παραμέτρου (HR, RRmax, RRmin, RRavg).

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος STATISTICA, ver.8.0.550.0 (Copyright © StatSoft. Inc. 1984 – 2008).

III. Ανάλυση δεδομένων

Για τη μελέτη της επίδρασης του κάθε παράγοντα - π.χ. επίπεδο Ap - σε κάθε παράμετρο - π.χ. RRavg - έγινε ανάλυση για κάθε ημέρα μέτρησης της παραμέτρου RRavg. Δηλαδή για συγκεκριμένη μέτρηση της παραμέτρου RRavg σε κάποια ημερομηνία θεωρήθηκαν επτά διαφορετικές μετρήσεις για το επίπεδο Ap, μία για κάθε ημέρα: από τρεις, δύο και μία μέρα πριν (date+3, date+2 και date+1 αντίστοιχα), ανήμερα (date 0) και μία, δύο και τρεις μέρες μετά (date-1, date-2, date-3 αντίστοιχα). Με τον τρόπο αυτό μελετάται και η επίδραση που μπορεί να υπάρχει πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από κάποια γεωμαγνητική διαταραχή ή αλλαγή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.

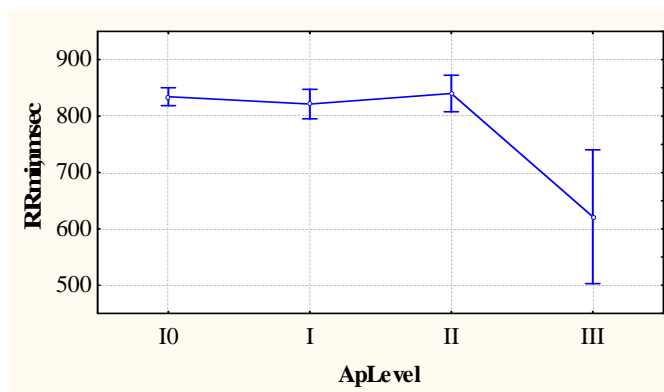
Αρχικά υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson r και τα επίπεδα εμπιστοσύνης p-level για κάθε συντελεστή μεταξύ των μεταβλητών HR, RRmax, RRmin, RRavg και των μεταβλητών Ap, επίπεδο Ap (ApLevel), Dst, επίπεδο Dst (DstLevel), ένταση CRI, μείωση στην ένταση CRI (CRIDecrease) και ποσοστιαία μείωση στην ένταση CRI (CR%). Η ανάλυση αυτή έγινε για κάθε άτομο της ομάδας ξεχωριστά (p1, p2, p3, p4, p5, p6 και p7), όπου λήφθηκαν υπόψη κάθε φορά οι μετρήσεις των ανθρωπίνων φυσιολογικών παραμέτρων μόνο του κάθε ατόμου ξεχωριστά, αλλά και για όλα τα άτομα μαζί (all data). Στον Πίνακα III παρουσιάζονται ενδεικτικά οι συντελεστές συσχέτισης για το άτομο p1 και την ημέρα -2 των μετρήσεων. Όπως παρατηρείται οι συντελεστές συσχέτισης του καρδιακού ρυθμού και των διαστημάτων RR εμφανίζουν αντίθετα πρόσημα, το οποίο επαληθεύει και την φυσική σχέση ανάμεσα στον καρδιακό ρυθμό και το διάστημα RR: όσο πιο μεγάλος είναι ο καρδιακός ρυθμός (περισσότεροι παλμοί ανά δευτερόλεπτο) τόσο μικρότερα είναι τα διαστήματα RR.

Πίνακας III. Οι συντελεστές συσχέτισης Pearson και τα επίπεδα εμπιστοσύνης για κάθε συντελεστή για το άτομο p1 και την ημέρα -2 (όσοι συντελεστές σημειώνονται με * είναι στατιστικά σημαντικοί).

	Ap	Ap Level	Dst	Dst Level	CRI	CRdecrease	CR%
HR	0,1303* p = 0,041	0,1669* p = 0,009	-0,1462* p = 0,022	0,1691* p = 0,008	-0,2875* p = 0,000	-0,2875* p = 0,000	-0,2875* p = 0,000
RRmax	-0,1193 p = 0,062	-0,1372* p = 0,031	0,0987 p = 0,123	-0,1044 p = 0,102	0,2629* 0	0,2629* 0	0,2629* 0
RRmin	-0,1157 p = 0,070	-0,1552* p = 0,015	0,1814* p = 0,004	-0,2074* p = 0,001	0,2760* 0	0,2760* 0	0,2760* 0
RRavg	-0,1288* p = 0,044	-0,1575* p = 0,013	0,1582* p = 0,013	-0,1831* p = 0,004	0,2998* 0	0,2998* 0	0,2998* 0

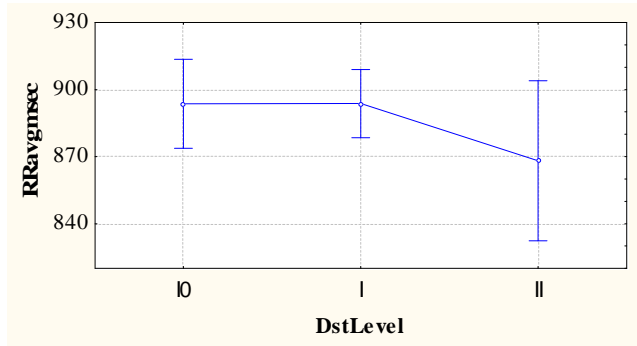
Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος ANOVA, δηλαδή η ανάλυση της διακύμανσης κατά έναν παράγοντα. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή «παράγοντες», θεωρήθηκαν το επίπεδο Ap (ApLevel), το επίπεδο Dst (DstLevel) και η ποσοστιαία μείωση στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CR %). Ως εξαρτημένες μεταβλητές θεωρήθηκαν οι φυσιολογικές παράμετροι HR, RRmax, RRmin, RRavg. Με τη μέθοδο ANOVA ελέγχθηκε η επίδραση κάθε ενός από τους παράγοντες σε κάθε μία από τις υπό μελέτη εξαρτημένες μεταβλητές.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της παραμέτρου RRmin για τα διάφορα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, όπως καθορίζονται από τον γεωμαγνητικό δείκτη Ap. Όπως παρατηρείται για έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα (επίπεδο III) η τιμή της παραμέτρου RRmin είναι ελάχιστη. Ομοίως παρατηρείται και για την μεταβολή της παραμέτρου RRavg σε σχέση με τον γεωμαγνητικό δείκτη Dst (Σχήμα 3).

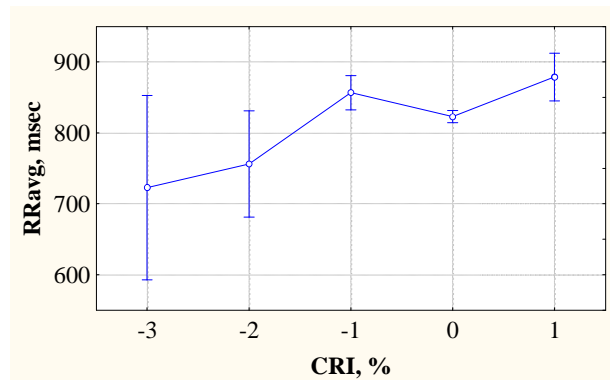


Σχήμα 2. Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδο Ap) στην παράμετρο RRmin του ατόμου p3 και την ημέρα -2 (\pm 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

Ελάχιστη τιμή παρουσιάζουν τα διαστήματα RR και κατά την διάρκεια έντονων μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (μειώσεις Forbush), όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4, όπου φαίνεται η μεταβολή της παραμέτρου RRavg σε σχέση με την ποσοστιαία μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.

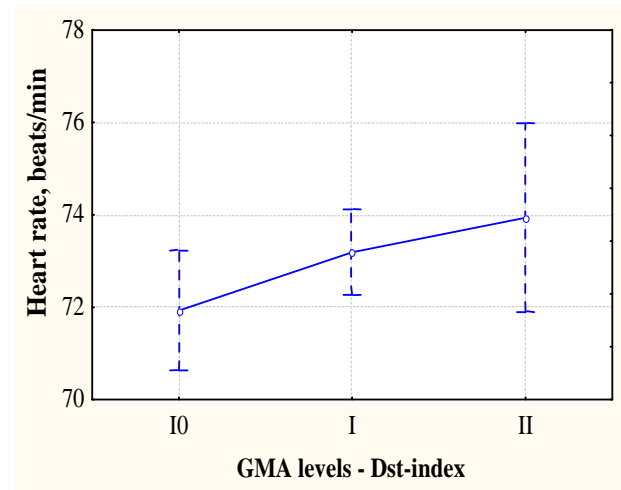


Σχήμα 3. Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδο Dst) στην παράμετρο RRavg του ατόμου p6 και την ημέρα +1 (\pm 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

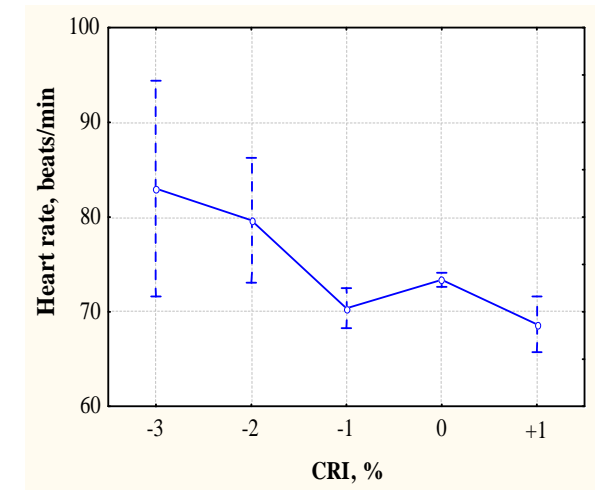


Σχήμα 4. Επίδραση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στην παράμετρο RRmin του ατόμου p4 (\pm 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

Αντίθετα ο καρδιακός ρυθμός παρουσιάζει την αντίστροφη συμπεριφορά καθώς παίρνει την μέγιστη τιμή του στα υψηλά επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Σχ. 5) αλλά και σε έντονες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχ. 6). Αυτό, άλλωστε συμφωνεί και με την αντίστροφη φυσική σχέση που παρουσιάζουν ο καρδιακός ρυθμός και τα διαστήματα RR.



Σχήμα 5. Επίδραση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό του ατόμου p4 (\pm 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

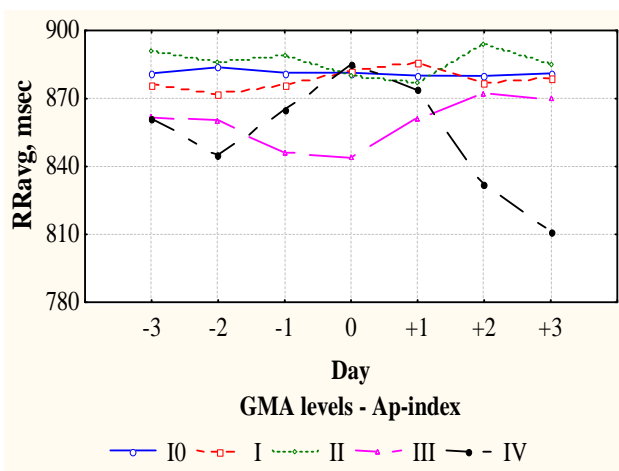


Σχήμα 6. Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδο Dst) στον καρδιακό ρυθμό του ατόμου p6 (\pm 95% διάστημα εμπιστοσύνης).

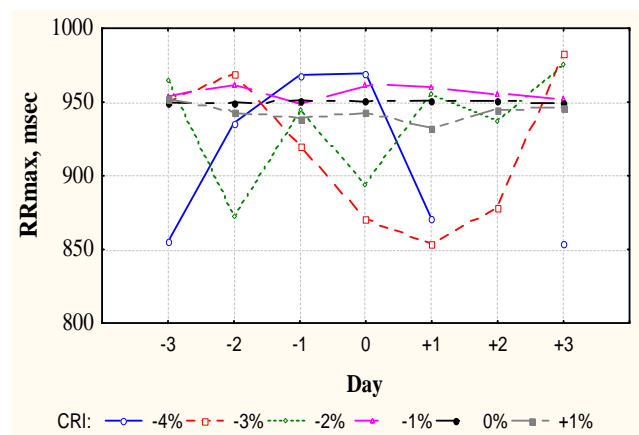
Η μέθοδος ANOVA χρησιμοποιήθηκε ώστε να προκύψουν τα επίπεδα εμπιστοσύνης (p-values) που περιγράφουν την επίδραση του επιπέδου της γεωμαγνητικής δραστηριότητας αλλά και της ποσοστιαίας μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό και τα διαστήματα RR για κάθε ένα άτομο ξεχωριστά αλλά και για ολόκληρη την ομάδα για τις ημέρες πριν, ανήμερα και μετά τις ημέρες των γεωμαγνητικών γεγονότων και των μειώσεων της κοσμικής ακτινοβολίας. Στον Πίνακα III φαίνεται η επίδραση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό, η οποία βρέθηκε στατιστικά σημαντική βρέθηκε στατιστικά σημαντική από τρεις μέρες πριν μέχρι και 3 μέρες μετά το κάθε γεγονός.

Πίνακας IV. Τιμές *p*-value από την ανάλυση ANOVA για την μελέτη της επίδρασης του παράγοντα ποσοστιαία μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στην παράμετρο καρδιακό ρυθμό για όλα τα άτομα και όλες τις ημέρες.

Day	p – values (% CR decrease)							
	All	HRp ₁	HRp ₂	HRp ₃	HRp ₄	HRp ₅	HRp ₆	HRp ₇
-3	0,683	0,04109*	0,456	0,51278	0,0003*	0,386	0,83263	0,59987
-2	0,592	0,02374*	0,461	0,29720	0,0002*	0,512	0,33882	0,03362*
-1	0,952	0,21960	0,301	0,10578	0,003*	0,197	0,88865	0,054
0	0,362	0,04282*	0,627	0,04118*	0,0003*	0,660	0,15542	0,25059
+1	0,7	0,11133	0,714	0,00208*	0,00007*	0,712	0,14920	0,04507*
+2	0,411	0,05431	0,308	0,11183	0,00012*	0,074	0,04838*	0,17716
+3	0,692	0,16539	0,339	0,07233	0,0002*	0,455	0,02983*	0,28813

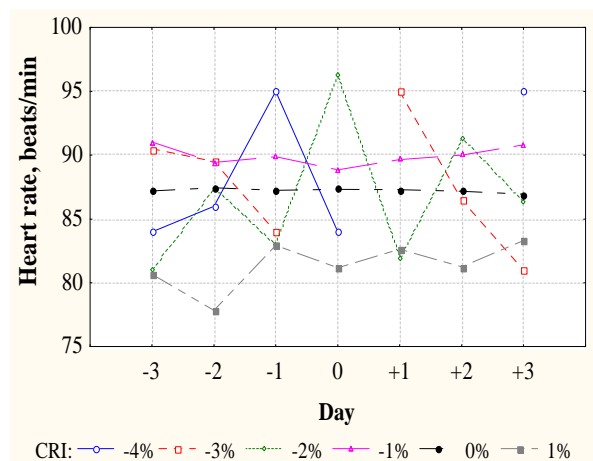
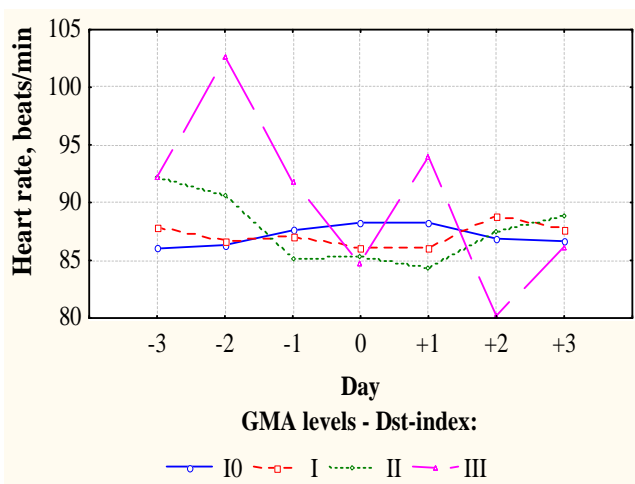


Σχήμα 7. Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, μέσω του δείκτη Ap, στην παράμετρο RRavg, για όλα τα άτομα και για όλες τις ημέρες.



Σχήμα 8. Επίδραση των μεταβολών στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας στην παράμετρο RRmax για όλα τα άτομα και για όλες τις ημέρες.

Στα φαίνονται σχήματα 7 και 8 φαίνονται οι μεταβολές των παραμέτρων RRavg και RRmax με τους παράγοντες Ap και CR%, αντίστοιχα, για τις ημέρες πριν, ανήμερα και μετά τις μεταβολές των περιβαλλοντικών παραγόντων. Παρατηρείται ότι για τα υψηλά επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδα Ap III και IV) και για μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (-3% και -4%) παρουσιάζονται και οι πιο έντονες μεταβολές των παραμέτρων RRavg και RRmax.



Σχήμα 9. Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, μέσω του δείκτη Dst, στον καρδιακό ρυθμό, για το άτομο p1 και για όλες τις ημέρες. **Σχήμα 10.** Επίδραση των μεταβολών στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό για το άτομο p1 και για όλες τις ημέρες.

Αντίστοιχα φαίνονται να είναι και τα αποτελέσματα για τον καρδιακό ρυθμό και τις μεταβολές σε σχέση με την γεωμαγνητική δραστηριότητα (Σχήμα 9) και με τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχήμα 10). Ο καρδιακός ρυθμός σε ήρεμες περιόδους (επίπεδο Dst I0 και μεταβολή στην ένταση κοσμικής ακτινοβολίας σχεδόν 0%) δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες μεταβολές. Αντίθετα κατά την διάρκεια έντονης δραστηριότητας οι μεταβολές του πριν και μετά το γεγονός είναι σημαντικές.

IV. Συμπεράσματα

Στο παρελθόν έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες για την εύρεση συσχετισμών ανάμεσα σε παραμέτρους της ανθρώπινης φυσιολογίας και στις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου, της κοσμικής ακτινοβολίας και άλλων φυσικών παραμέτρων. Όπως έχει βρεθεί (Dimitrova, 2008; Dimitrova et al., 2004a) η συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση αυξάνεται με την αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σε επίπεδο δεικτών Ap και Dst. Τα αποτελέσματα για τον καρδιακό ρυθμό δεν προέκυψαν σημαντικά. Επίσης έχει μελετηθεί η επίδραση γεωμαγνητικών διαταραχών στον καρδιακό ρυθμό και τα διαστήματα RR (Stoilova et al., 2002; Stoilova and Dimitrova, 2007) όπου και προέκυψαν περισσότερες αυξημένες τιμές του διαστήματος RRavg στις περιπτώσεις έντονης γεωμαγνητικής δραστηριότητας.

Οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας και οι μειώσεις Forbush φάνηκε να επιδρούν στον καρδιακό ρυθμό όπως προέκυψε και από άλλες μελέτες. Κατά την διάρκεια των έντονων ηλιακών γεγονότων τον Δεκέμβριο 2006 βρέθηκε στατιστικά σημαντικός συσχετισμός μεταξύ της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και του καρδιακού ρυθμού (Papailiou et al., 2010).

Στην συγκεκριμένη εργασία για την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και των μεταβολών στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας βρέθηκε πιο συχνά στατιστικά σημαντική στον καρδιακό ρυθμό απ' ότι στα διαστήματα RR. Επίσης περισσότερα στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα προέκυψαν για την επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους, απ' ότι για την επίδραση των γεωμαγνητικών μεταβολών. Από την ξεχωριστή ανάλυση για κάθε άτομο ξεχωριστά προέκυψαν αρκετές φορές διαφορετικά αποτελέσματα, κάτι που δείχνει ότι οι περιβαλλοντικές μεταβολές μπορεί να έχουν διαφορετική επίδραση στη φυσιολογία του κάθε ατόμου.

Σε κάθε περίπτωση η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει συσχέτιση των κοσμικών και γεωφυσικών παραμέτρων με την ανθρώπινη υγεία και είναι απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα για τον όσο πιο σαφή προσδιορισμό της σχέσης αυτής.

Βιβλιογραφία

Ashikaliev Ya. F. et al., 1995, The influence of heliogeophysical parameters on ecology, *Biofizika (Biophysics)*, 40, 1031 – 1037

Babayev E. S. and Allahverdiyeva A. A., 2007, Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies, *Advances in Space Research*, Volume 40, Issue 12, 2007, 1941-1951

Cornelissen G. et al., 2002, Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 64, Issue 5-6, 707-720

Cornelissen G. et al., 2005, Geographic and extraterrestrial aspects of morbidity and/or mortality patterns from myocardial infarction and stroke, *Biomedicine & Pharmacotherapy* 59 (2005) S68 – S75

Dimitrova S., 2008, Different geomagnetic indices as an indicator for geo-effective solar storms and human physiological state, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 70, Issues 2-4, 420-427

Dimitrova S. et al., 2004a, Influence of Local Geomagnetic Storms on Arterial Blood Pressure, *Bioelectromagnetics*: 00:1-7 (2004)

Dimitrova S. et al., 2004b, Effect of Local and Global Geomagnetic Activity on Human Cardiovascular Homeostasis, *Archives of Environmental Health: An International Journal*, Volume 59, Number 2 / February 2004, 84 – 90

Dorman L. I. et al., 2001, Cosmic rays as indicators of space weather influence on the incidence of myocardial infarction, brain stroke, car and train accidents, *Proceedings of ICRC 2001*, 3511 – 3514

Dzvonik O. et al., 2006, A monitoring of space weather effects on some parameters of mental performance and health in aviation personnel, *Studia Psychologica*, 48, 2006, 4

Papailiou M. et al., 2009, Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during the December 2006 solar extreme events, *Advances in Space Research*, Volume 43, Issue 4, 16 February 2009, 523-529

Papailiou M. et al., 2009, Analysis of changes of cardiological parameters in middle latitude region in relation to geomagnetic disturbances and cosmic ray variations, *Proc. of 7th International Conference of the Balkan Physical Union*, AIP, doi:10.1063/1.3322548

Stoilova I. et al., 2002. Geomagnetic field variations and human physiology. In: *Book of Abstracts, Third Balkan Geophysical Congress*, Sofia, Bulgaria, 122–123.

Stoilova I. and Dimitrova S., 2007, Geophysical variables and human health and behavior, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70 (2008) 428–435

Stoupel E., 1980, Solar – terrestrial prediction: aspects for preventive medicine. In: *Proceedings Solar-terrestrial Predications Workshop: Boulder, Co., National Ocean Atmospheric Administration. Space Environment Laboratory, USAF Geophysical Laboratory*, 1980; 4: G-29-G-40

Stoupel E., 1999, Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters, *Journal of Clinical and Basic Cardiology* 1999; 2 (Issue 1), 34 – 40

Stoupel E. et al., 2006, Clinical Cosmobiology – Sudden Cardiac Death and Daily/Monthly Geomagnetic, Cosmic Ray and Solar Activity – the Baku Study (2003 – 2005), *Sun and Geosphere*, 2006, 1(2):13 – 16

Stoupel E. et al., 2007, Clinical cosmobiology: distribution of deaths during 180 months and cosmophysical activity. The Lithuanian study, 1990 – 2004 The role of cosmic rays, *Medicina (Kaunas)* 2007; 43(10)