



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»

«Environment and Health. Capacity building for Decision Making»

Επιστημονική Υπεύθυνη και Διευθύντρια: Αν Καθ. Π. Νικολοπούλου-Σταμάτη

**‘Επίδραση των παραμέτρων του διαστημικού καιρού στον
καρδιακό ρυθμό’**

Όνομα: Ιωαννίδου Σοφία
Αριθμός μητρώου: 2010694
Ιδιότητα: Φυσικός

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ελένη Μαυρομιχαλάκη

Αθήνα 2012

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ.
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΜΕ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»**

«Environment and Health. Capacity building for Decision Making»

Επιστημονική υπεύθυνη και Διευθύντρια: Αν. Καθ. Π. Νικολοπούλου-Σταμάτη

**‘Επίδραση των παραμέτρων του διαστημικού καιρού στον
καρδιακό ρυθμό’**

Όνομα: Ιωαννίδου Σοφία

Αριθμός μητρώου: 2010694

Ιδιότητα: Φυσικός

Τριμελής επιτροπή ΜΔΕ

Επιβλέπουσα: Ελένη Μαυρομιχαλάκη

Υπογραφή επιβλέπουσας

Πρόεδρος: Πολυξένη Νικολοπούλου-Σταμάτη

Μέλος: Ευαγγελία Πρωτόπαπα

Αθήνα 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
Abstract	3
Εισαγωγή.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	8
ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	8
1. Κοσμική Ακτινοβολία	8
1.1 Πηγές κοσμικής ακτινοβολίας.....	9
1.2 Συνιστώσες κοσμικής ακτινοβολίας.....	10
1.3 Καταιγισμοί	11
1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης	19
1.5.1 Υψόμετρο	19
1.5.2 Γεωγραφικό πλάτος.....	21
1.5.3 Ηλιακός κύκλος και ηλιακή δραστηριότητα	22
1.5.4 Άλλοι παράγοντες	24
1.6 Διαμόρφωση κοσμικής ακτινοβολίας	24
1.7 Ημερήσια μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας	25
1.8 Επίγειες επαυξήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (GLEs)	25
1.9 Μειώσεις Forbush	27
1.10 Ενδιαφέρον για τις Κοσμικές Ακτίνες.....	29
1.11 Το μαγνητικό πεδίο της Γης.....	31
1.11.1 Η δομή του γεωμαγνητικού πεδίου	32
1.11.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη του γεωμαγνητικού πεδίου	35
1.12 Γεωμαγνητικές καταιγίδες	38
1.12.1 Ηλιακή δραστηριότητα και γεωμαγνητικές καταιγίδες.....	42
1.13 Γεωμαγνητικά παρατηρητήρια	43
1.14 Οι γεωμαγνητικοί δείκτες	44
1.14.1 Οι γεωμαγνητικοί δείκτες K, Kp, ap και Ap	45
1.14.2 Ο γεωμαγνητικός δείκτης Dst	47
1.15 Διαστημικός καιρός.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ	51
Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ.....	51
2. Η Καρδιά.....	51

2.1 Ανατομία της καρδιάς	51
2.2 Λειτουργία της καρδιάς.....	53
2.3 Καρδιά και καρδιακός παλμός.....	57
2.4 Ηλεκτροκαρδιογράφημα.....	59
2.5 Υγείας Καρδιά.....	62
2.6 Ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες εκπομπής του ανθρώπινου σώματος και περιβάλλον.....	62
2.7 Αλληλεπίδραση ιονίζουσας ακτινοβολίας με την ύλη.....	63
2.7.1 Αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ύλη	63
2.7.2 Βιολογική δράση της ιονίζουσας ακτινοβολίας.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ III	66
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ	66
3.1 Εισαγωγή	66
3.2 Βασικές Αρχές Στατιστικής Ανάλυσης.....	71
3.2.1 Στατιστικές υποθέσεις.....	71
3.2.2 Συσχετισμοί: Ισχύς και αξιοπιστία	72
3.2.3 Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p-level.....	74
3.2.4 Η μέθοδος ANOVA.....	75
3.3 Συλλογή δεδομένων.....	78
3.3.1 Συλλογή δεδομένων καρδιακού ρυθμού	78
3.3.2 Συλλογή δεδομένων γεωμαγνητικών παραμέτρων.....	87
3.3.3 Συλλογή δεδομένων Κοσμικής Ακτινοβολίας	87
3.4 Σταθμός Νετρονίων της Αθήνας.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV	93
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	93
4.1 Εισαγωγή.....	93
4.2 Στατιστική επεξεργασία	93
4.3 Ανάλυση και Αποτελέσματα	94
4.4 Συζήτηση	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V	119
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	119
Αναφορές	122
Αναφορές στο διαδίκτυο.....	134
Πίνακας συντομογραφιών	135

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Περιβάλλον και Υγεία, Διαχείριση Περιβαλλοντικών Θεμάτων με Επιπτώσεις στην Υγεία", της Ιατρικής Σχολής του ΕΚΠΑ και πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ. Η εργασία αυτή ανακοινώθηκε στο Συνέδριο 'Space Weather Effects on Humans: Space and Earth' που έγινε στη Μόσχα (3-7 Ιουνίου 2012) και ετοιμάζεται να σταλεί για δημοσίευση σε διεθνές επιστημονικό περιοδικό.

Κάτω από από αυτές τις συνθήκες, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών κα. Ελένη Μαυρομιχαλάκη για την πολύτιμη βοήθεια, την καθοδήγηση και τη συμπαράστασή της καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η αδιάλειπτη επικοινωνία, οι συμβουλές και οι υποδείξεις της υπήρξαν καθοριστικές για την πραγμάτωσή της. Την ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου και τη σέβομαι τόσο ως επιστήμονα όσο και ως άνθρωπο, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλον αυτόν τον καιρό και σε προσωπικό επίπεδο.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα όλη την ομάδα κοσμικής ακτινοβολίας του Τομέα Πυρηνικής φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Πανεπιστημίου της Αθήνας για την υποστήριξη και τη βοήθειά τους και προσωπικά την υποψήφια διδάκτορα Μαρία-Χριστίνα Παπαηλιού, για την σημαντική συμβολή της στην παρούσα εργασία και τη φιλική στάση της. Ακόμη, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους ιατρούς συνεργάτες Διευθυντή της Β καρδιολογικής κλινικής του γενικού κρατικού νοσοκομείου Νίκαιας κύριο Αποστόλου Θ. καθώς και στον υπεύθυνο του εργαστηρίου των Holters κύριο Παραβολιδάκη Κ. Αναφορικά με τα ιατρικά δεδομένα που προήλθαν από το Πανεπιστημιακό νοσοκομείο της Κρήτης, ευχαριστώ θερμά τον επικ. καθηγητή κ. Σημαντηράκη Ε. και τους φοιτητές της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης Κουρεμέτη Μ. και Ρεντίφη Λ. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα "Περιβάλλον και Υγεία, Διαχείριση Περιβαλλοντικών Θεμάτων με επιπτώσεις στην Υγεία" και

κυρίως την επιστημονική υπεύθυνη και διευθύντρια του προγράμματος Αναπληρώτρια καθηγήτρια παθολογοανατομίας κ. Νικολοπούλου- Σταμάτη Π. για την βοήθειά τους και τις πολύτιμες γνώσεις που αποτελούν έναυσμα για περαιτέρω μελέτη στον τομέα που με ενδιαφέρει. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζει σε όλες τις επιλογές μου και τον σύντροφό μου Μιχάλη για την υπομονή, στήριξη και την έμπρακτη βοήθειά του με πολύτιμες συμβουλές και επεμβάσεις στην επεξεργασία και συγγραφή της παρούσας εργασίας, αλλά κυρίως για την ψυχολογική του συμπαράσταση στις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν όλον αυτόν τον καιρό.

Abstract

In the recent past years, accumulating evidence suggests a link between space weather parameters and human homeostasis. Specifically, it seems that solar and geomagnetic disturbances (geomagnetic activity- GMA), as well as cosmic ray intensity (CRI) variations affect specific human physiological parameters, including heart rate (HR) and arterial blood pressure that are related with cardiovascular outcomes and heart diseases. Also, cosmophysical parameters have been associated with morbidity caused by vehicle accidents, strokes and disturbances in the circadian rhythm. In this work, we sought to examine the potential association between heart rate variations and specific cosmophysical activities. The study was conducted at the Nuclear and Particle Physics Section of Physics Department of National and Kapodistrian University of Athens under the supervision of the Professor Helen Mavromichalaki. The study is experimental; a sample of 190 individuals treated at the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece, were assessed from July 2011 to June 2012. The heart rate of the subjects was recorded hourly by a Holter monitor, while the hourly variations of the cosmic ray intensity and the geomagnetic index Dst were measured by the Neutron Monitor Station of the Athens University and the Kyoto Observatory, respectively. Statistical methods included ANalysis Of VAriance (ANOVA) and Multiple Linear Regression analysis. A statistically significant effect of both cosmic ray and geomagnetic activity on heart rate was observed (negative and positive correlation, respectively). Also, in some cases we observed a correlation between heart rate variations in the course of the day and the diurnal anisotropy of cosmic ray intensity. Our findings indicate that changes in space weather parameters could be possibly related to heart rate variations. The determination of the potential effect of cosmophysical parameters on the cardiac rhythm, might broaden our knowledge in terms of prediction and management of the health outcomes and in turn may be helpful on the decision making regarding the protection of specific groups of the population that are exposed regularly in the conditions of space weather, such as air craft crews as well as vulnerable groups of the population on Earth. Studies with larger sample and follow up may be warranted.

Εισαγωγή

Η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία απασχόλησε από νωρίς τους επιστήμονες. Ήδη ο Ιπποκράτης στο έργο του "περί αέρων, υδάτων και τόπων", καθόρισε συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος που επιδρούν στην υγεία του ανθρώπου με συγκεκριμένο τρόπο. Ειδικότερα μεταξύ άλλων παραγόντων συνέδεσε την ανθρώπινη υγεία με το κλίμα, τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, το νερό, την εποχή και τον προσανατολισμό των πόλεων (που καθορίζει τους ανέμους), έτσι έκανε επιδημιολογικές μελέτες σε πληθυσμούς και κατάφερε να συνδέσει συγκεκριμένα νοσήματα με ότι πιο κοινό υπήρχε- τον εισπνεόμενο αέρα και τις κλιματικές συνθήκες. Σήμερα πολλές από τις παρατηρήσεις του Ιπποκράτη έχουν επιβεβαιωθεί και η επιστημονική πρόοδος και στον τομέα της υγείας γνωρίζει αλματώδη άνθηση. Γιατροί, επιδημιολόγοι, παθολόγοι, βιολόγοι, χημικοί και φυσικοί, αλλά και άλλες συναφείς ειδικότητες έχουν ενώσει τις δυνάμεις τους για την κατανόηση των παθοφυσιολογικών μηχανισμών της επίδρασης του περιβάλλοντος στην υγεία του ανθρώπου. Σκοπός είναι η αναγνώριση των εμπλεκόμενων μηχανισμών και οδών, ώστε να οδηγήσει σε σωστό σχεδιασμό τόσο για πρόληψη όσο και για θεραπεία και μετριασμό των επιπτώσεων στην υγεία.

Τα τελευταία χρόνια στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ενδείξεις για ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ του Διαστημικού Καιρού και της ανθρώπινης ομοιόστασης. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η γεωμαγνητική δραστηριότητα (GMA) και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CRI) επιφέρουν μεταβολές σε ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους, όπως είναι ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση και σχετίζονται με καρδιαγγειακές παθήσεις, όπως αρρυθμίες και στεφανιαία νόσο. Επίσης, οι γεωμαγνητικές παράμετροι φαίνεται να συνδέονται και με νοσηρότητα από άλλους παράγοντες, όπως τροχαία ατυχήματα, εγκεφαλικά επεισόδια, και διαταραχές στον κίρκαδιανό ρυθμό.

Στην παρούσα εργασία, στοχεύουμε να εξετάσουμε την ενδεχόμενη συσχέτιση των μεταβολών του καρδιακού ρυθμού με κοσμοφυσικές δραστηριότητες. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας Ε. Μαυρομιχαλάκη. Η μελέτη είναι πειραματική και αφορά σε ένα

δείγμα 190 ατόμων, τα δεδομένα αυτά προήλθαν από ασθενείς στην Β' Καρδιολογική Κλινική του Γενικού Κρατικού Νοσοκομείου Νίκαιας και της αντίστοιχης κλινικής του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Ηρακλείου κατά την περίοδο Ιουλίου 2011 έως Ιούνιο 2012. Ο καρδιακός ρυθμός των ασθενών-υποκειμένων εξετάστηκε σε ωριαία βάση με χρήση ηλεκτροκαρδιογραφήματος Holter, ενώ οι ωριαίες τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από τον σύγχρονο σταθμό συνεχούς καταμέτρησης κοσμικής ακτινοβολίας του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://cosray.phys.uoa.gr>, A.N.MO.D.A.P), ενώ για την γεωμαγνητική δραστηριότητα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Dst, λαμβανόμενος από online real time δεδομένα του Kyoto Observatory (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html). Η συσχέτιση των γεωμαγνητικών παραμέτρων και του καρδιακού ρυθμού εξετάστηκε με αναλύσεις πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης και διακύμανσης (ANOVA). Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση τόσο της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όσο και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τον καρδιακό ρυθμό (αρνητική και θετική συσχέτιση αντίστοιχα). Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις φαίνεται συσχέτιση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια της ημέρας με την ημερήσια (diurnal) ανισοτροπία της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι αλλαγές στις παραμέτρους του διαστημικού καιρού μπορούν πιθανώς να σχετίζονται με μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό. Ο προσδιορισμός της πιθανής επίδρασης των κοσμοφυσικών παραμέτρων στον καρδιακό ρυθμό, ενδεχομένως να οδηγήσει σε νέους δρόμους για την πρόβλεψη και διαχείριση επιπτώσεων και κατ' επέκτασιν λήψη μέτρων για την προστασία ιδιαίτερων ομάδων πληθυσμού που εκτίθενται περισσότερο στις συνθήκες του Γεωπεριβάλλοντος, όπως τα πληρώματα αεροσκαφών, αλλά και ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού της Γης μας. Μελέτες με μεγαλύτερο δείγμα και χρονοσειρές εξέτασης ενδεχομένως συμβάλλουν προς την κατεύθυνση αυτή.

Ο λόγος που επιλέχθηκε η εξέταση των παραγόντων αυτών του διαστημικού καιρού, είναι γιατί αφορούν σε παράγοντες φυσικούς και συνεπώς δεν μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν, όμως η γνώση τους είναι σημαντική καθώς επηρεάζουν τη ζωή του ανθρώπου τόσο σε θέματα δραστηριοτήτων, όσο και την ίδια του την υγεία. Είναι γνωστή η επίδραση του διαστημικού καιρού στα ανθρώπινα τεχνολογικά επιτεύγματα, ενώ πολλά είναι τα ερωτήματα που απασχολούν τα τελευταία χρόνια

τους επιστήμονες αναφορικά με την ανθρώπινη υγεία. Ολοένα και περισσότερες είναι οι έρευνες που δημοσιεύονται και συνδέουν την κοσμική ακτινοβολία με καρκίνους και καταρράκτη των ματιών. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν άμεση εφαρμογή όχι μόνο για την ασφάλεια των πληρωμάτων στο διάστημα, αλλά και για τα πληρώματα αεροσκαφών που πετούν σε μεγάλα ύψη. Πολλές είναι οι μελέτες τα τελευταία χρόνια που αναφέρονται σε συνέπειες υγείας στη Γη και συγκεκριμένα σε επίδραση του διαστημικού καιρού σε ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους. Εμείς επιλέξαμε ως παράμετρο μελέτης τον καρδιακό ρυθμό. Ο καρδιακός ρυθμός είναι μια ευαίσθητη φυσιολογική παράμετρος που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες ενδογενείς και εξωγενείς γι' αυτό η χρήση του ως παράμετρος αναφοράς θεωρείται αμφίβολη. Από την άλλη πλευρά ο καρδιακός ρυθμός είναι μια παράμετρος που αντικατοπτρίζει τη λειτουργία της καρδιάς και ταυτόχρονα μπορεί να μετρηθεί με άμεσο και εύκολο τρόπο, τα χαρακτηριστικά αυτά την καθιστούν χρήσιμη για την πραγμάτωση μελετών όπως η παρούσα. Επίσης, καίριας σημασίας λόγοι που μας οδήγησαν στη μελέτη παραμέτρων της καρδιάς ήταν αφενός το γεγονός ότι η πλέον στατιστικά σημαντική αιτία θανάτου του γενικού πληθυσμού είναι ασθένειες του καρδιαγγειακού συστήματος κι αφετέρου το ότι η λειτουργία της καρδιάς από τη φύση της οφείλεται σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία είναι πιθανώς πιο ευαίσθητα στις παραμέτρους του διαστημικού καιρού που μελετάμε. Ο προσδιορισμός της πιθανής επίδρασης των κοσμοφυσικών παραμέτρων στον καρδιακό ρυθμό, ενδεχομένως να οδηγήσει σε νέους δρόμους για την πρόβλεψη και διαχείριση επιπτώσεων και κατ' επέκτασιν λήψη μέτρων για την προστασία ιδιαίτερων ομάδων πληθυσμού που εκτίθενται περισσότερο στις συνθήκες του Γεωπεριβάλλοντος, όπως τα πληρώματα αεροσκαφών, αλλά και ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού της Γης μας.

Η εργασία αυτή αποτελείται από πέντε κεφάλαια και την βιβλιογραφία.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ I της εργασίας αναλύονται οι έννοιες της κοσμικής ακτινοβολίας, της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και του διαστημικού καιρού.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ II περιγράφεται η λειτουργία της καρδιάς.

Το ΚΕΦΑΛΑΙΟ III πραγματεύεται τις μεθόδους και τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Το ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV περιλαμβάνει όλη την πειραματική διαδικασία και την ανάλυση που έγινε στα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ V συμπυκνώνονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για τη συνέχιση αυτής της έρευνας.

Τέλος παρατίθενται οι αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν από την διεθνή βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1. Κοσμική Ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία είναι ενεργητικά υποατομικά σωματίδια με μεγάλο εύρος τιμών, της τάξης ($10^6 - 10^{21}$ eV) και η ακριβής προέλευση τους είναι έως τώρα ακόμη άγνωστη. Οι κοσμικές ακτίνες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα πρωτογενή και τα δευτερογενή σωματίδια. Όταν οι πρωτογενείς κοσμικές ακτίνες εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης, συγκρούονται με τα μόρια της ατμόσφαιρας, κυρίως οξυγόνο και άζωτο και ένας καταρράκτης δισεκατομμυρίων ελαφρύτερων σωματιδίων παράγεται, αυτά είναι τα δευτερογενή σωματίδια. Οι κοσμικές ακτίνες βρίσκονται παντού, και αρκετές δεκάδες προσκρούουν και εισέρχονται στο σώμα μας κάθε στιγμή. Το σώμα μας δέχεται μια μέση δόση ακτινοβολίας περίπου ίση με 2.4mSv κάθε χρόνο, εξαιτίας των κοσμικών ακτίνων. Η ένταση των πρωτογενών και των δευτερογενών κοσμικών σωματιδίων, είναι γνωστή ως ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας- Cosmic Ray Intensity (CRI). Πολύ ενεργητικά σωματίδια ανιχνεύονται κυρίως από επίγειους μετρητές. Γενικά, η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης ανακλά μερικώς την κοσμική ακτινοβολία μακριά από τη Γη και η ικανότητα θωράκισης του μαγνητικού πεδίου είναι πιο αποτελεσματική πάνω από τον ισημερινό παρά πάνω από τους πόλους. Επιπλέον, το μαγνητικό πεδίο του Ηλιου μπορεί να εκτρέψει τα κοσμικά σωματίδια μακριά από τη Γη, και η ικανότητα αυτή εξαρτάται από τη φάση του Ηλιακού κύκλου. Όταν η ηλιακή δραστηριότητα είναι μικρή (ηλιακό ελάχιστο), το μαγνητικό πεδίο είναι λιγότερο αποτελεσματικό στο να εκτρέπει τα σωματίδια. Από την άλλη πλευρά, ο Ήλιος εκπέμπει ενεργητικά σωματίδια (ηλιακές εκλάμψεις, στεμματικές εκπομπές μάζας), που συμβάλλουν στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Η ένταση αυτή επηρεάζεται, επίσης, από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία και η πίεση (Olbert, 1953).

1.1 Πηγές κοσμικής ακτινοβολίας

Η κοσμική ακτινοβολία είναι ροή σωματιδίων με πολύ μεγάλη ενέργεια, τα οποία κινούνται περίπου με την ταχύτητα του φωτός. Τα σωματίδια αυτά είναι ηλιακής, γαλαξιακής και εξωγαλαξιακής προέλευσης. Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κατά το 98% από πρωτόνια και πυρήνες και κατά 2% από ηλεκτρόνια. Από τα πρωτόνια και τους πυρήνες έχουμε 87% πρωτόνια, 12% πυρήνες ηλίου και 1% βαρύτερους πυρήνες (Μαυρομιχαλάκη, 2005).

Επικρατεί η άποψη ότι κάποιες κοσμικές ακτίνες επιταχύνονται στον γαλαξία μας και κάποιες έξω από αυτόν. Η προέλευση των πολύ ενεργητικών ακτίνων (μεγαλύτερες από 10^{19} eV), όμως παραμένει ακόμη άγνωστη. Το γεγονός αυτό οφείλεται, μεταξύ άλλων, στο ότι για σωματίδια τόσο υψηλών ενεργειών υπάρχουν ελάχιστα στατιστικά στοιχεία, αφού αυτά τα σωματίδια φτάνουν στη Γη με ρυθμό 1 σωματίδιο/Km²/ (Mursula and Usoskin, 2003). Μέχρι σήμερα έχουν ανιχνευτεί πολύ λίγα σωματίδια με ενέργειες μεγαλύτερες των 10^{20} eV. Κατά πάσα πιθανότητα αυτά τα σωματίδια έχουν εξωγαλαξιακή προέλευση και ενδεχομένως να επιταχύνονται στους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (AGNs) και σε ραδιογαλαξίες. Αυτές οι πηγές δύνανται να παραγάγουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας ικανά να επιταχύνουν τα σωματίδια σε αυτές τις ενέργειες.

Τα σωματίδια με ενέργειες από 10^{10} eV μέχρι 10^{14} eV θεωρείται ότι προέρχονται από πηγές μέσα στο γαλαξία μας. Μάλιστα, πιο πιθανή πηγή για αυτά τα σωματίδια θεωρούνται τα κρουστικά κύματα που προκαλούνται από εκρήξεις υπερκαινοφανών. Κατά τις εκρήξεις υπερκαινοφανών, ο πυρήνας ενός παλιού αστεριού εκρήγνυται, απελευθερώνει μεγάλο ποσόν ενέργειας και σωματιδίων στο διάστημα και γίνεται υπόλειμμα (remnant). Αυτά τα υπολείμματα εντοπίζονται στο διάστημα από ένα σύννεφο αερίου (nebula) που παραμένει στην περιοχή της έκρηξης. Σε αυτή την περίπτωση, τα σωματίδια σκεδάζονται κατά μήκος του κινούμενου κρουστικού κύματος και σε κάθε σκέδαση κερδίζουν ενέργεια. Μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχαν παρατηρήσεις που να επιβεβαιώνουν την παραπάνω θεωρία. Οι υπερκαινοφανείς θεωρούνταν ως η πιο πιθανή πηγή σωματιδίων με τέτοιες ενέργειες γιατί ο αριθμός τους στο γαλαξία μας ήταν αρκετά μεγάλος και γιατί η ενέργεια που

εκλύεται σε μία τέτοια έκρηξη είναι υπεραρκετή για να επιταχύνει σωματίδια σε ενέργειες μέχρι και 10^{14} eV .

Όπως προαναφέρθηκε τα σωματίδια με ενέργειες πάνω από 10^{14} eV και μέχρι 10^{19} eV θεωρείται ότι έχουν εξωγαλαξιακή προέλευση.

Τέλος, τα σωματίδια με ενέργειες μικρότερες από 10^{10} eV είναι ηλιακής προέλευσης, για το λόγο αυτό η ροή των κοσμικών ακτίνων σε αυτές τις ενέργειες διαμορφώνεται έντονα από την ηλιακή δραστηριότητα. Οι ηλιακές εκλάμψεις είναι πηγές των ηλιακών κοσμικών ακτίνων, έτσι γίνονται εκρήξεις στον ήλιο που εκπέμπουν ενεργητικά σωματίδια στο διάστημα. Το γεγονός καταγράφεται στη Γη περίπου μετά από 9 λεπτά.

Συνοψίζοντας, ως κοσμική ακτινοβολία νοούνται σωματίδια πολύ υψηλών ενεργειών που προέρχονται από εξωγήινες πηγές. Η προέλευσή τους είναι ακόμη άγνωστη, είναι ξεκάθαρο όμως ότι οι κοσμικές ακτίνες προέρχονται κυρίως έξω από το ηλιακό σύστημα, αλλά μέσα από τον γαλαξία. Λίγα σωματίδια μόνο προέρχονται από την ηλιακή δραστηριότητα και σχετίζονται με έντονα ηλιακά γεγονότα. Γενικότερα η προέλευση της κοσμικής ακτινοβολίας δεν είναι δυνατό να εξηγηθεί διεξοδικά. Με βάση όμως τις μέχρι σήμερα γνώσεις μας μπορούμε να πούμε ότι προέρχεται από τις εξής πηγές: σταθεροί αστέρες, όπως είναι ο Ήλιος, καινοφανείς και υπερκαινοφανείς αστέρες, αστέρες εκλάμψεων και παλλόμενοι αστέρες και διαστρική ύλη.

1.2 Συνιστώσες κοσμικής ακτινοβολίας

Η κοσμική ακτινοβολία διακρίνεται σε τρεις συνιστώσες, τις γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες, τις ηλιακές κοσμικές ακτίνες και τις ανώμαλες κοσμικές ακτίνες. Οι γαλαξιακές προέρχονται από πηγές εκτός του ηλιακού μας συστήματος και αφορούν στα πιο ενεργητικά σωματίδια με ενέργειες έως και 10^{21} eV . Αποτελούνται κατά βάση από νετρόνια, από 7-10% από He και κατά 1% από βαρύτερους πυρήνες.

Οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες με ενέργειες μικρότερες από 1 GeV υφίστανται την ηλιακή διαμόρφωση. Έτσι τα έντονα ηλιακά φαινόμενα θωρακίζουν τη Γη από τις κοσμικές ακτίνες των ενεργειών αυτών. Τα ηλιακά ενεργητικά σωματίδια, προέρχονται κυρίως από ηλιακές εκλάμψεις. Οι στεμματικές εκπομπές μάζας και τα κρουστικά κύματα στο διαπλανητικό μέσο δύναται επίσης να παράγουν τέτοια σωματίδια. Οι ηλιακές κοσμικές ακτίνες έχουν ενέργειες συνήθως μέχρι μερικές εκατοντάδες MeV/νουκλεόνιο και μερικές φορές μέχρι και λίγα GeV/νουκλεόνιο. Η σύσταση των ηλιακών κοσμικών ακτίνων είναι παραπλήσια με εκείνη των γαλαξιακών, δηλαδή κυριαρχούν τα πρωτόνια, το 10% περίπου είναι He και οι βαρύτεροι πυρήνες απαντούν σε ποσοστό <1%. Κατά τη διάρκεια ισχυρών ηλιακών εκλάμψεων η ροή των ηλιακών κοσμικών ακτίνων στη Γη μπορεί να αυξηθεί και 100% για ώρες ή και μέρες. Τέλος, οι ανώμαλες ακτίνες προέρχονται από το μεσοαστρικό χώρο πέρα από την ηλιόπαυση. Δημιουργούνται από άτομα του μεσοαστρικού αερίου τα οποία εισέρχονται στην ηλιόσφαιρα και ιονίζονται. Στη συνέχεια παρασύρονται από το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο καθώς φορτισμένα και φτάνουν μέχρι και το κρουστικό κύμα της ηλιόπαυσης όπου σκεδάζονται και έτσι επιταχύνονται σε μεγάλες ενέργειες. Η σύσταση των ανώμαλων κοσμικών ακτίνων είναι αρκετά διαφορετική από των προηγούμενων, αφού αποτελούνται από περισσότερο He σε σχέση με τα πρωτόνια και από περισσότερο οξυγόνο από ό,τι άνθρακα.

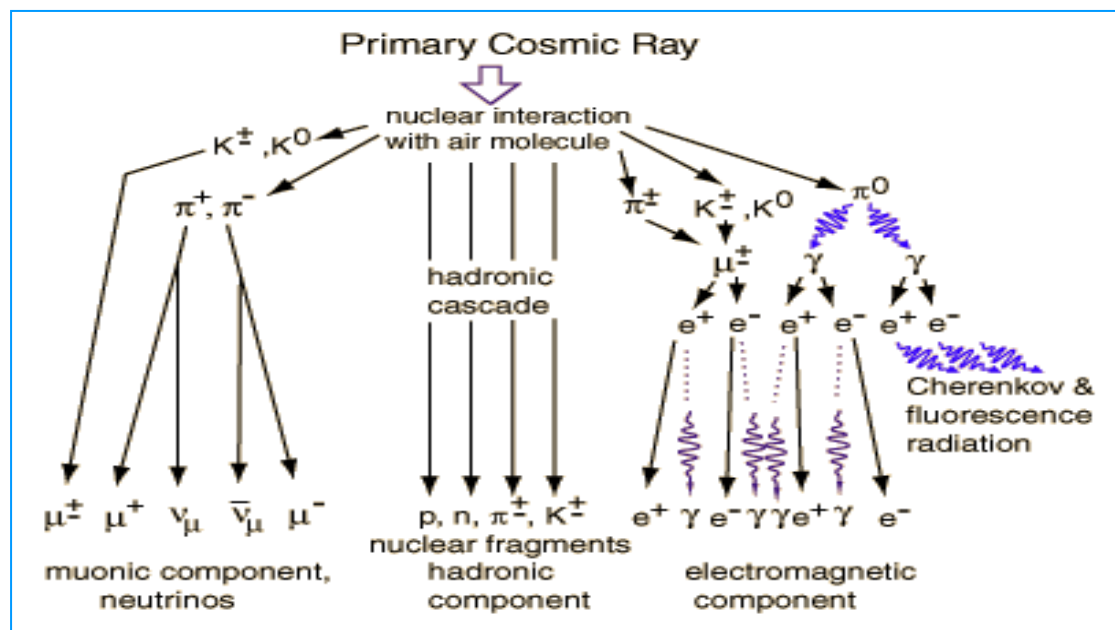
1.3 Καταιγισμοί

Η κοσμική ακτινοβολία διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Η πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία συνίσταται σε εκείνα τα σωματίδια που φτάνουν στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας από το διάστημα (Longair, 1990). Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, πυρήνες και τα αντισωματίδια τους. Ως πρωτογενή κοσμική ακτινοβολία εννοούμε την ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας, πριν υποστούν τα σωματίδια της πυρηνικές αλληλεπιδράσεις εξαιτίας της γήινης ατμόσφαιρας. Έχει διαπιστωθεί ότι η ακτινοβολία που φτάνει από το διάστημα αποτελείται από πρωτόνια σε ποσοστό

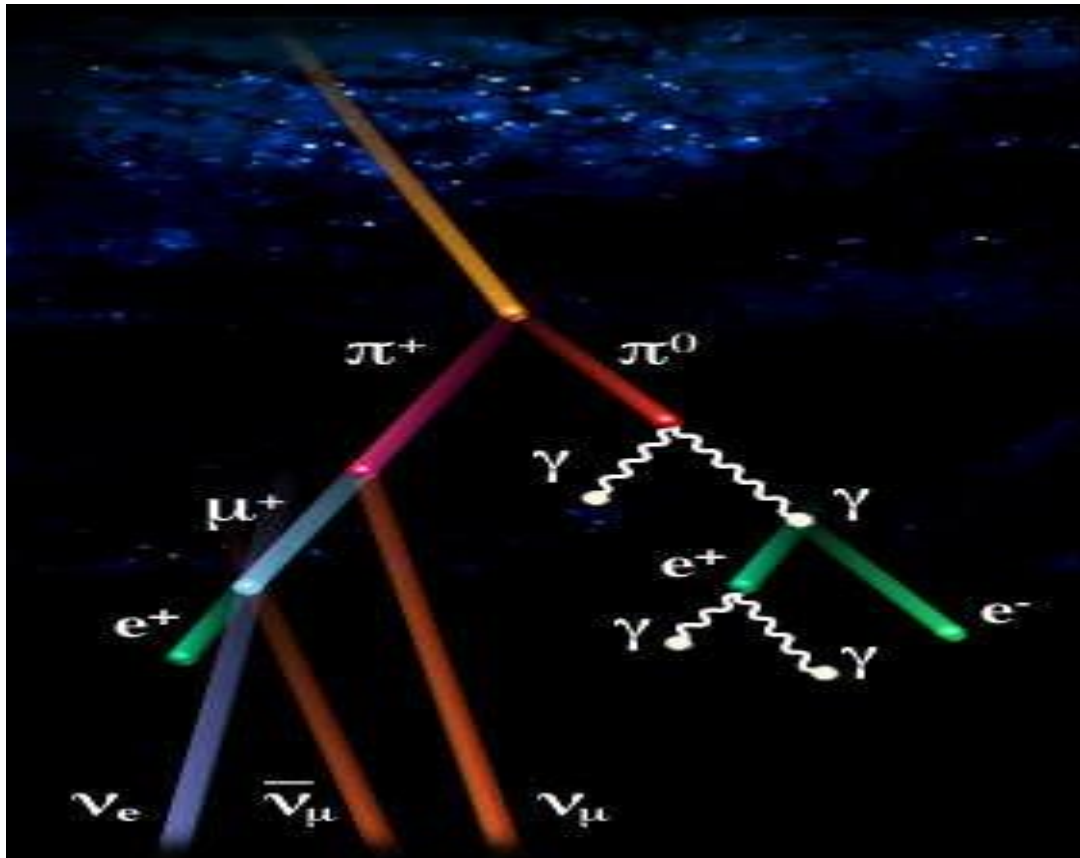
85%, σωματίδια α 5%, στοιχεία Li, Be, B σε ποσοστό 0,1%, C, N, O, F σε ποσοστό 0,42%, Fe και βαρέα υπερουράνια στοιχεία σε ποσοστό 0,04% καθώς και ακτίνες γ και νετρόνια σε ποσοστό 1 με 2% και οι ενέργειές τους κυμαίνονται στην ευρεία περιοχή ενεργειών 10^6eV - 10^{21}eV . Τελευταία έχουν παρατηρηθεί και ακόμα ψηλότερες ενέργειες. Τα περισσότερα είναι σχετικιστικά σωματίδια με ενέργειες συγκρίσιμες ή και λίγο μεγαλύτερες από τις μάζες τους. Λίγα είναι υπερσχετικιστικά με ενέργειες πάνω από 10^{20}eV (περίπου 20Joules), δηλαδή 11 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από την ενέργεια της μάζας ηρεμίας του πρωτονίου. Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία αναφέρεται στο σύνολο των σωματιδίων και των θραυσμάτων που παράγονται από την αντίδραση των πρωτογενών κοσμικών ακτίνων με τα μόρια της γήινης ατμόσφαιρας. Η δευτερογενής ακτινοβολία διακρίνεται σε τρεις συνιστώσες (Εικ.1.1) τη νουκλεονική, τη σκληρή ή μεσονική και τη μαλακή ή ηλεκτρονική – φωτονική συνιστώσα. Η νουκλεονική αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Εξαιτίας της ποικιλίας των αντιδράσεων μπορεί να προσδιοριστεί δύσκολα αλλά είναι η πιο σταθερή συνιστώσα. Η σκληρή ή μεσονική συνιστώσα είναι πολύ διεισδυτική κι αποτελείται από μεσόνια. Μάλιστα είναι τόσο διεισδυτική που μόλυβδος πάχους ενός μέτρου ελαττώνει την ένταση της στο μισό. Τέλος, έχουμε την μαλακή ή ηλεκτρονική – φωτονική συνιστώσα που όπως φαίνεται αποτελείται από ηλεκτρόνια και φωτόνια, ενώ απορροφάται αποκλειστικά από μόλυβδο πάχους μόνο 10 εκατοστών. Η δευτερογενής ΚΑ στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελείται από μίονια (80%), ηλεκτρόνια (18%) και πρωτόνια και νετρόνια (1-2%). Τα σωματίδια των κοσμικών ακτίνων καθώς εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα δημιουργούν νουκλεονικούς καταγισμούς, οι οποίοι είναι το σύνολο των σωματιδίων που παράγονται από τις αντιδράσεις που προκαλούν οι πρωτογενείς κοσμικές ακτίνες μαζί με τις αντιδράσεις που προκαλούνται από αυτά τα δευτερογενή σωματίδια. Οι αρχικοί πυρήνες των κοσμικών ακτίνων που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, θρυμματίζονται (spallation) και παράγονται μικρότεροι πυρήνες (θραύσματα), πρωτόνια, νετρόνια, φορτισμένα πιόνια και ουδέτερα πιόνια. Από αυτά οι δευτερογενείς πυρήνες και τα φορτισμένα πιόνια συνεχίζουν να πολλαπλασιάζονται μέσω διαδοχικών συγκρούσεων μέχρι που η ενέργεια ανά σωματίδιο πέφτει κάτω από εκείνη που απαιτείται για την παραγωγή πιονίου. Τα μίονια στην ουσία δεν προκαλούν πυρηνικές αντιδράσεις και χάνουν ενέργεια κυρίως μέσω του ιονισμού. Τα μίονια που έχουν χαμηλή ενέργεια μετατρέπονται σε ποζιτρόνια, ηλεκτρόνια και νετρίνα του

μιονίου μέσω των αντιδράσεων $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ και $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$.

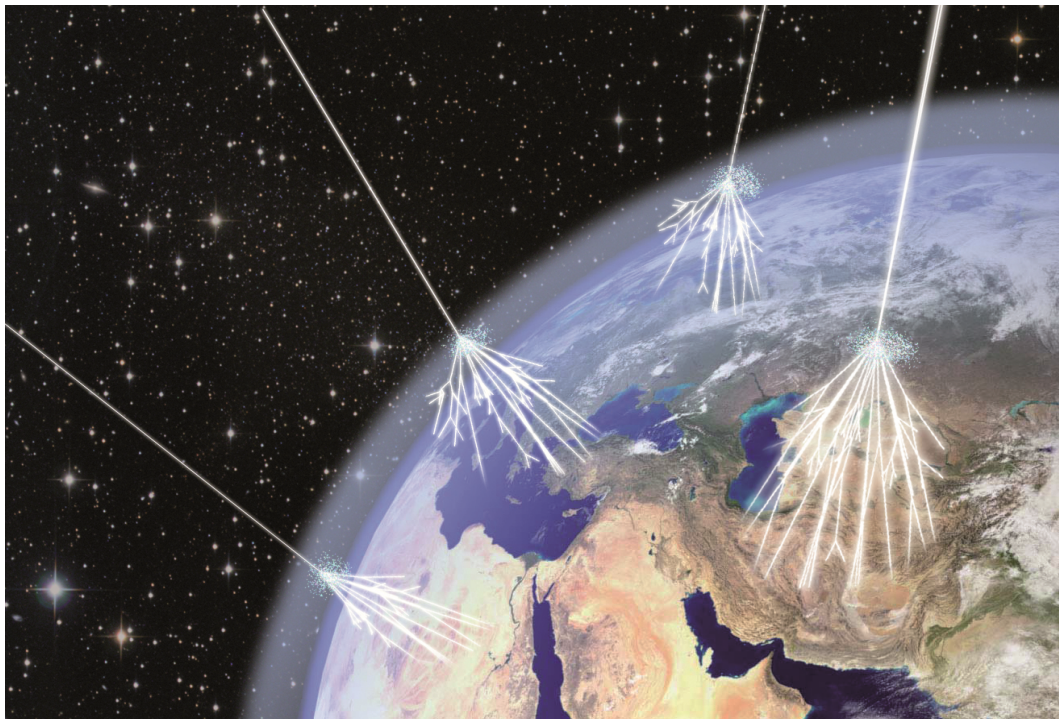
Κάποια μίονια παράγονται με πολύ μεγάλες ενέργειες στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας πριν ακόμη τα πόνια αρχίσουν να τα παράγουν μέσω των πυρηνικών αντιδράσεων. Αυτά τα μίονια είναι πολύ διεισδυτικά γιατί δεν συμμετέχουν σε πυρηνικές αντιδράσεις και οι ενεργειακές τους απώλειες λόγω ιονισμού είναι πολύ μικρές. Έτσι φτάνουν στην επιφάνεια της Γης αλλά και σε κάποια βάθη σχεδόν ανεπηρέαστα.



Εικόνα 1.1 Νουκλεονικός καταγισμός- συνιστώσες ακτινοβολίας



Εικόνα 1.2 Καταιγισμός



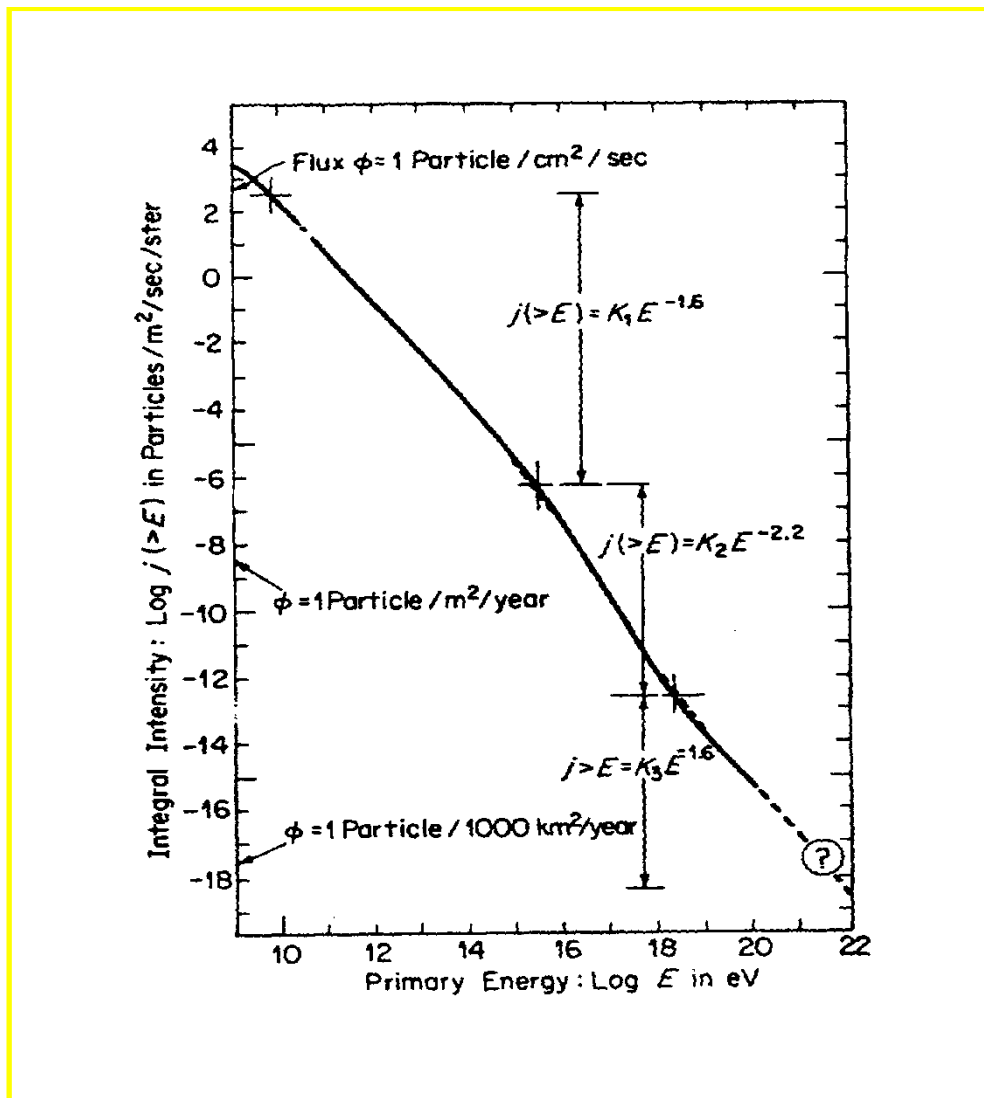
Εικόνα 1.3 Καλλιτεχνική αναπαράσταση των κοσμικών ακτίνων στη Γη

1.4 Ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων

Η ροή κοσμικών ακτινών με ενέργεια μεγαλύτερη από 1 GeV μειώνεται καθώς η ενέργεια αυξάνει. Το ενεργειακό φάσμα των σωματιδίων είναι το ίδιο με το τυπικό φάσμα των υψηλών ενεργειών σωματιδίων των γαλαξιακών και εξωγαλαξιακών ραδιοπηγών. Το αδιαμόρφωτο ενεργειακό φάσμα των ΚΑ μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση $N(E)dE = kE^{-\gamma}dE$ (1.1) όπου $\gamma \cong 2.5-2.7$. Η σχέση αυτή εφαρμόζεται σε πρωτόνια, ηλεκτρόνια και πυρήνες με ενέργειες 10^9-10^{14} eV. Η σχέση αυτή της ροής των σωματιδίων με το σχετικιστικό αέριο που υπάρχει στο ενδοαστρικό αέριο, προκύπτει μέσω δύο τύπων παρατήρησης της σύγχροτρον ακτινοβολίας των ηλεκτρονίων των ΚΑ που μετριέται στην ραδιο-κυματική ζώνη και της γαλαξιακής εκπομπής γ-ακτίνων σε ενέργειες $E \geq 100$ MeV που αποδίδεται στη διάσπαση των π^0 που δημιουργούνται από τις συγκρούσεις των ΚΑ με τα άτομα και τα μόρια του ενδοαστρικού αερίου. Το ότι αυτοί οι δύο διαφορετικοί τύποι παρατηρήσεων μπορούν να εφαρμοσθούν επιτυχώς δηλώνει ότι τα σωματίδια ΚΑ στο όριο της ατμόσφαιρας είναι μέρος μόνο του πληθυσμού των ΚΑ στο Γαλαξία. Λογαριθμίζοντας τη σχέση αυτή παίρνουμε το ακόλουθο διάγραμμα (Εικ.1.4) που είναι το ολοκληρωμένο φάσμα της κοσμικής ακτινοβολίας, η ευθεία του οποίου έχει κλίση ίση με γ που ονομάζεται φασματικός εκθέτης

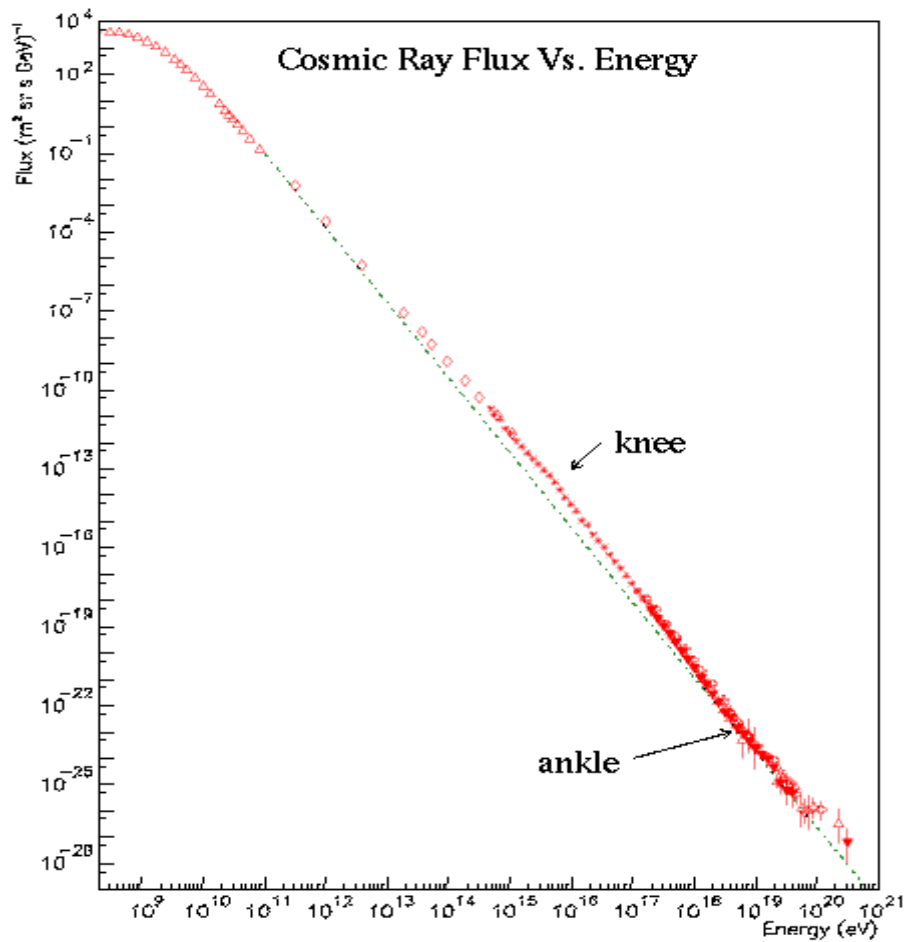
$$\log J(E) = f(\log E)$$

Η τιμή του γ μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλονται οι ενέργειες των ΚΑ από 10^{10} eV έως 10^{21} eV.



Εικόνα 1.4 Ολοκληρωμένο ενεργειακό φάσμα των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων

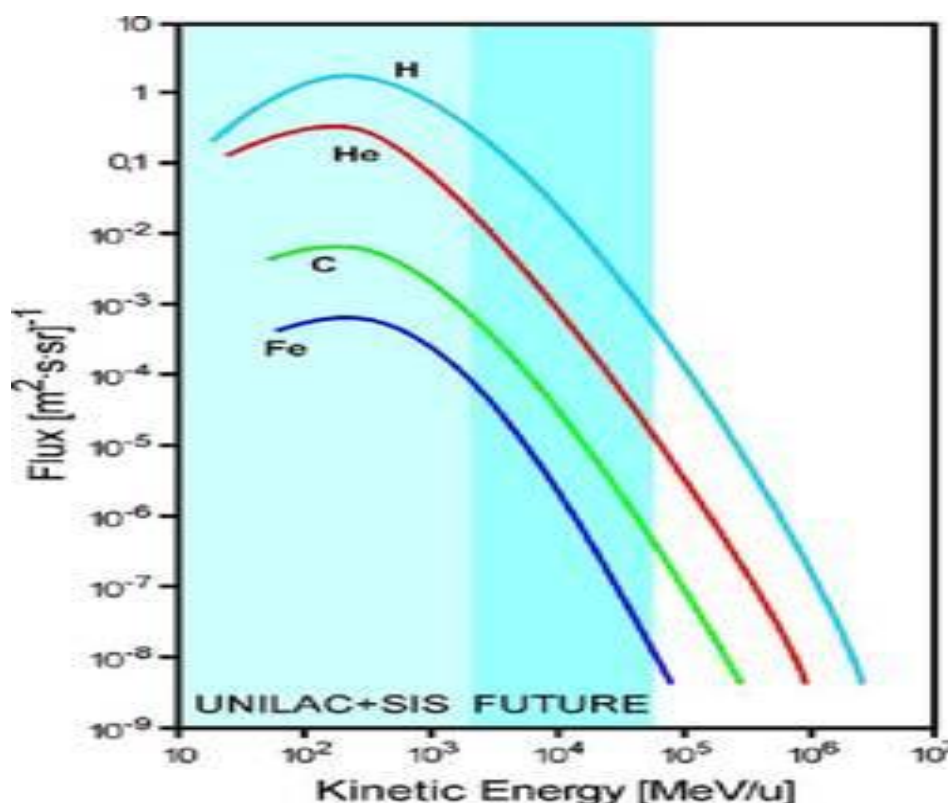
Ανάλογα με την τιμή του εκθέτη (γ) το φάσμα χωρίζεται σε τμήματα (*Mursula and Usoskin, 2003*). Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει τα σωματίδια με ενέργειες $< 10^{10} \text{ eV}$. Αυτές οι κοσμικές ακτίνες υπόκεινται στη διαμόρφωση από την ηλιακή δραστηριότητα (πιο εμφανής στο διαφορικό φάσμα, *Εικ. 1.5*). Εδώ η σχέση έντασης και ενέργειας δεν ακολουθεί νόμο δύναμης.



Εικόνα 1.5 Διαφορικό φάσμα γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων

Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει τα σωματίδια με ενέργειες στην περιοχή $10^{10} \text{ eV} - 10^{15} \text{ eV}$. Εδώ ο φασματικός εκθέτης έχει τιμή $\gamma \approx 2.7$. Περίπου στην ενέργεια των 10^{15} eV το φάσμα γίνεται πιο απότομο και ο φασματικός εκθέτης παίρνει την τιμή $\gamma \approx 3.1$. Αυτό το σημείο στο φάσμα όπου ο φασματικός εκθέτης αλλάζει τιμή ονομάζεται γόνατο (knee). Η τιμή αυτή του εκθέτη διατηρείται μέχρι την ενέργεια των 10^{20} eV . Η πιο απότομη μείωση της έντασης των κοσμικών ακτίνων μετά το γόνατο μπορεί να ερμηνευθεί ως εξής (auger.physics.wisc.edu/physics.php) : λόγω της αύξησης της γυροακτίνας των σωματιδίων, οι κοσμικές ακτίνες μπορούν να διαφύγουν πιο εύκολα από το γαλαξία για ενέργειες πάνω από μια κρίσιμη τιμή. Το φάσμα στην ενέργεια των 10^{20} eV

γίνεται πιο επίπεδο, αλλά τα δεδομένα για αυτή την περιοχή των ενεργειών είναι αρκετά περιορισμένα. Το σημείο όπου αλλάζει πάλι ο φασματικός εκθέτης ονομάζεται αστράγαλος (ankle).



Εικόνα 1.6 Διαφορικό ενεργειακό φάσμα για τα διάφορα στοιχεία

Το ψηλών ενεργειών τμήμα του φάσματος αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σωματιδίων ολικής ενέργειας E ανά πυρήνα, αφού ο διαχωρισμός του φορτίου σ' αυτές τις ενέργειες είναι δύσκολος οπότε μετράται η ολική ενέργεια, ενώ το χαμηλών ενεργειών τμήμα του φάσματος δείχνει τον αριθμό των νουκλεονίων σαν συνάρτηση της ενέργειας ανά νουκλεόνιο. Η απουσία σωματιδίων πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας χαμηλών ενεργειών πλησίον της Γης ονομάζεται “κατώφλι” (cut-off) του φάσματος για ψηλά γεωμαγνητικά πλάτη. Σωματίδια με $E_k \leq 1\text{ GeV/πυρήνα}$ μπορούν να φθάσουν στη Γη μόνο σε ψηλά γεωμαγνητικά πλάτη.

Παρατηρούμε ότι στις χαμηλές ενέργειες ($E < 1\text{ GeV}$) υπάρχει ένα κατώφλι (cut-off) και το φάσμα αποκλίνει από τη μορφή της κατανομής που έχουμε στις ψηλότερες ενέργειες. Η ενέργεια και το σχήμα του κατωφλίου εξαρτάται από τη

φάση του ηλιακού κύκλου και μάλιστα παρατηρήθηκε ότι χαμηλές ροές ενεργειακών σωματιδίων χαμηλής ενέργειας έχουμε κατά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση παρουσιάζονται αυξημένες ροές. Παρατηρούμε δηλαδή μια έντονη εξάρτηση από την ηλιακή δραστηριότητα. Η εξάρτηση αυτή έγκειται στην αλληλεπίδραση και διάχυση των κοσμικών ακτίνων από τον ηλιακό άνεμο κατά την πορεία τους προς τη Γη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηλιακή διαμόρφωση (solar modulation) της ροής των κοσμικών ακτίνων. Φαίνεται ότι όσο πιο έντονη είναι η ηλιακή δραστηριότητα τόσο πιο έντονες είναι οι διαταραχές του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου που εμποδίζουν τη διάδοση των σωματιδίων χαμηλών ενεργειών ($E < 1 \text{ GeV}$) ως την επιφάνεια της Γης.

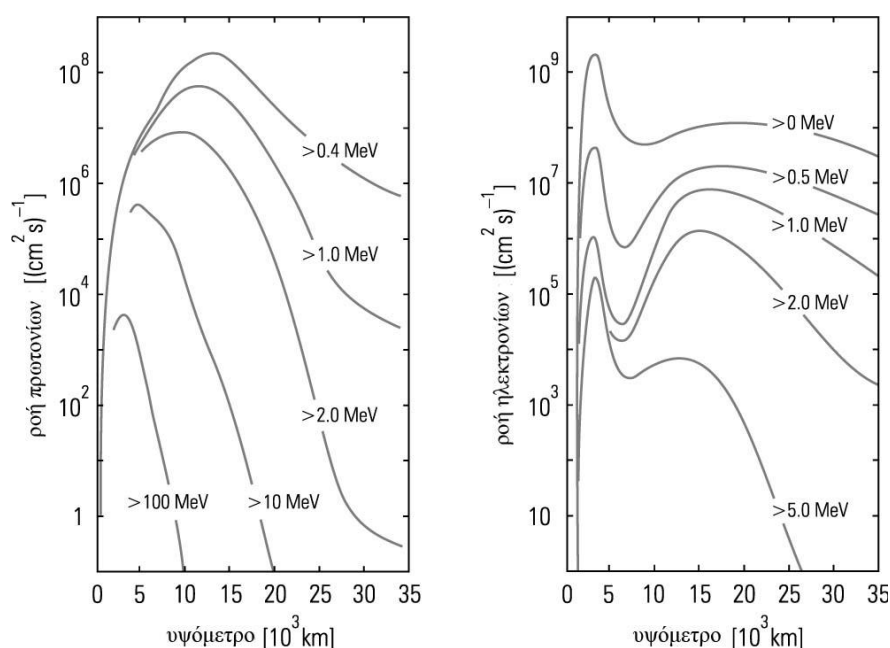
1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας στην Γη. Αυτοί είναι το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος και ο ηλιακός κύκλος.

1.5.1 Υψόμετρο

Τόσο η ένταση όσο και η σύσταση της κοσμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται με το υψόμετρο. Συγκεκριμένα η ένταση της ακτινοβολίας, όπως είναι αναμενόμενο, αυξάνει με το υψόμετρο. Συνεπώς οι άνθρωποι που ζουν σε μεγάλα ύψη (βουνά), εκτίθενται περισσότερο στην κοσμική ακτινοβολία και η μέση ετήσια δόση του λόγω της πηγής αυτής αυξάνεται σημαντικά συγκρινόμενη με αυτή στην επιφάνεια της θάλασσας. Περισσότερη ακτινοβολία δέχονται οι επιβάτες αλλά κυρίως τα πληρώματα αεροσκαφών λόγω του υψομέτρου και της συχνής έκθεσής τους σε αυτό. Μάλιστα στα υπερατλαντικά ταξίδια η έκθεση είναι μεγαλύτερη τόσο λόγω του γεγονότος ότι πραγματοποιούνται σε μεγαλύτερο υψόμετρο όσο και για το λόγο ότι η διάρκεια έκθεσης αυξάνεται, αφού η διάρκεια του ταξιδιού είναι μεγάλη (Beck et al, 2007). Η ατμόσφαιρα δρα σαν ασπίδα προστασίας στις κοσμικές

ακτίνες αφού μπορεί και απορροφά ένα μεγάλο μέρος τους. Με αποτέλεσμα η έκθεση κάτω από τη Γήινη ατμόσφαιρα να είναι σημαντικές τάξεις μεγέθους μικρότερη από την έκθεση εκτός αυτής. Έτσι καταλαβαίνουμε πως η έκθεση των αστροναυτών κατά τη διάρκεια των αποστολών είναι καθοριστικής σημασίας.

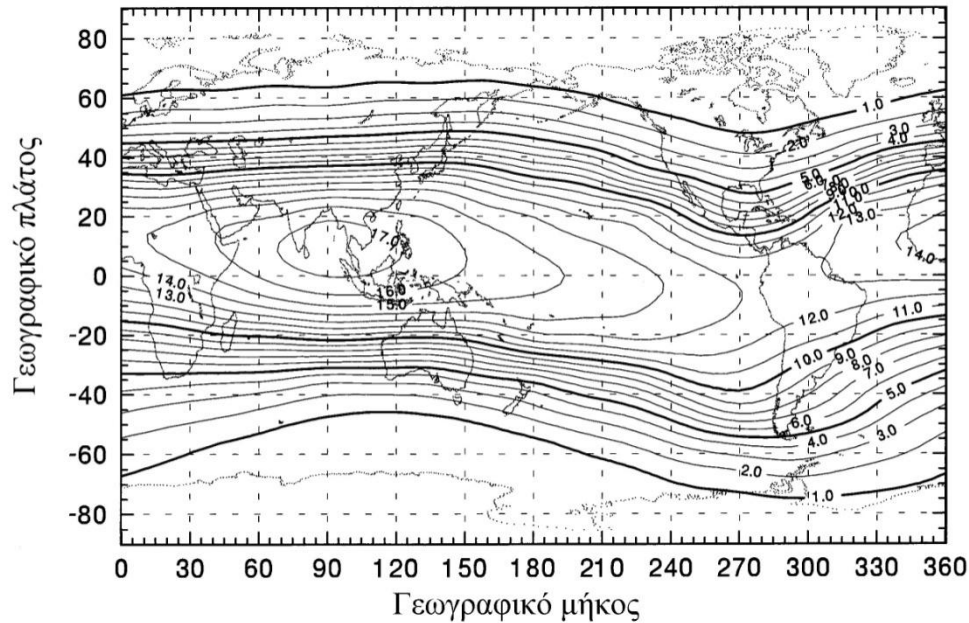


Εικόνα 1.7 Η κατανομή της ροής πρωτονίων και ηλεκτρονίων της κοσμικής ακτινοβολίας διαφόρων ενεργειών στην γήινη ατμόσφαιρα

Τα σωματίδια που καταγράφονται σε έναν επίγειο μετρητή κοσμικών ακτίνων είναι κυρίως δευτερογενή που παράγονται από τις πυρηνικές διασπάσεις των πρωτογενών κοσμικών σωματίων με τα μόρια της γήινης ατμόσφαιρας. Η μελέτη της φύσης αλλά και της πολλαπλασιαστικότητας των σωματίων που παράγονται μέσα στην ατμόσφαιρα είναι ένα από τα κύρια προβλήματα της κοσμικής ακτινοβολίας. Διάφοροι μετεωρολογικοί παράγοντες, όπως η πίεση και η θερμοκρασία, αλλά και η κατάσταση της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ένταση της μεσονικής συνιστώσας και το υψόμετρο που αυτή δημιουργείται, ενώ η επίδραση των παραγόντων αυτών στη νουκλεονική συνιστώσα είναι αμελητέα.

1.5.2 Γεωγραφικό πλάτος

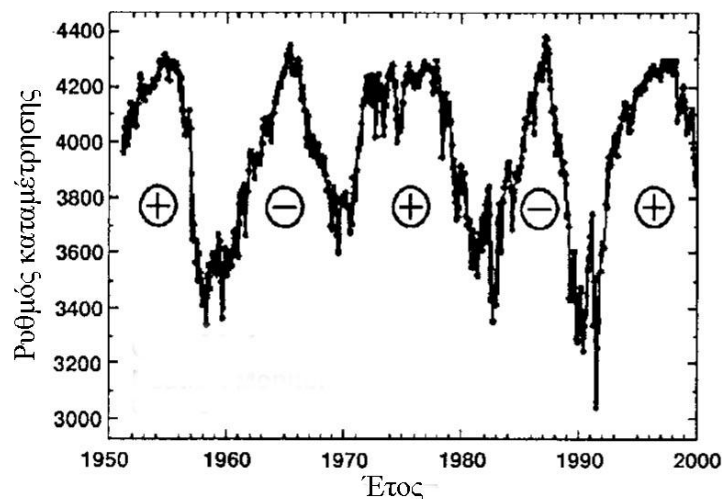
Όπως σημειώθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, το μαγνητικό πεδίο της Γης δρα σαν φυσική ασπίδα ενάντια στα φορτισμένα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας αλλά και τα σωματίδια που καταφέρνουν να περάσουν στην επιφάνεια της Γης, να εξαρτώνται από τον τρόπο που διαμορφώνεται το μαγνητικό πεδίο και κατά συνέπεια από το γεωμαγνητικό πλάτος. Στις περιοχές κοντά στον ισημερινό μόνο η κοσμική ακτινοβολία με ενέργεια άνω των 15 GeV μπορεί να διαπεράσει το γεωμαγνητικό πεδίο έως την ανώτατη ατμόσφαιρα. Το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαπερνά το πεδίο, σταδιακά αυξάνει όσο αυξάνει και το γεωγραφικό πλάτος από τον ισημερινό μέχρι τις πολικές περιοχές, μέχρι την περιοχή των πόλων όπου κοσμικές ακτίνες όλων των ενεργειών ανιχνεύονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Έτσι η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος άμεσα. Το αν ένα σωματίο κοσμικής ακτινοβολίας μπορεί να περάσει τη γήινη μαγνητόσφαιρα και να ανιχνευθεί στην επιφάνεια της Γης, εξαρτάται τόσο από την ενέργειά του, όσο και από το φορτίο του, την ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς του και το γεωμαγνητικό πεδίο. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου επί την γυρομαγνητική ακτίνα του φορτισμένου σωματιδίου, που ισούται με την ορμή του σωματιδίου ανά μονάδα φορτίου, ονομάζεται μαγνητική δυσκαμψία και είναι ένα μέτρο του κατά πόσο μπορεί ένα σωματίο να διαπεράσει κάθετα την γήινη μαγνητόσφαιρα. Στην Εικόνα 1.8 φαίνεται η κατανομή για την ελάχιστη μαγνητική δυσκαμψία που πρέπει να έχει ένα σωματίο που εισέρχεται κάθετα στη γήινη μαγνητόσφαιρα προκειμένου να ανιχνευθεί στα διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη (*Smart & Shea, 2008*). Φαίνεται ότι το μέγιστο του κατωφλίου δυσκαμψίας είναι στον μαγνητικό ισημερινό και το ελάχιστο είναι κοντά στους μαγνητικούς πόλους, ενώ οι συνεχείς μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου της Γης επιδρούν και στην κατανομή του κατωφλίου δυσκαμψίας (*Bhattacharyya & Mitra, 1997*).



Εικόνα 1.8 Η κατανομή του κατωφλίου μαγνητικής δυσκαμψίας σε GeV σύμφωνα με τις μετρήσεις του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field) το 2000

1.5.3 Ηλιακός κύκλος και ηλιακή δραστηριότητα

Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας που ανιχνεύεται στη Γη έχει βρεθεί αντιστρόφως ανάλογη του ενδεκαετούς ηλιακού κύκλου (Shea & Smart, 2000), με μια καθυστέρηση περίπου ενάμιση έτους ενώ υπάρχουν και διαφορές ανάμεσα σε ηλιακούς κύκλους μονού και ζυγού αριθμού και την επίδρασή τους στην ανιχνεύσιμη ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Mavromichalaki et al., 1988). Οι πηγές της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας βρίσκονται έξω από το ηλιακό σύστημα και η εξάπλωση της κοσμικής ακτινοβολίας στην ηλιόσφαιρα ελέγχεται από τις διαταραχές του ηλιακού πλάσματος, ενώ οι αναταραχές μέσα στο πλάσμα είναι συνάρτηση της ηλιακής δραστηριότητας.



Εικόνα 1.9 Η μεταβολή στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας για πέντε ηλιακούς κύκλους, όπως μετρήθηκε από τον ανιχνευτή νετρονίων στο Climax, Κολοράντο, Η.Π.Α.

Εκτός από την γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία, υπάρχουν περιστασιακές προσωρινές αυξήσεις στην ακτινοβολία που δέχεται ο άνθρωπος από το διάστημα που σχετίζονται με την ηλιακή δραστηριότητα. Με τον όρο ηλιακά πρωτονικά γεγονότα (solar proton events - SPE) εννοούμε αυτές τις αυξήσεις που συμβαίνουν εντονότερα κατά τη διάρκεια των επτά χρόνων γύρω από ένα μέγιστο του ηλιακού κύκλου και έχουν τυπική διάρκεια μερικών ωρών (*Bazilevskaya, 2005*). Ένα ηλιακό πρωτονικό γεγονός είναι η απότομη αύξηση του πληθυσμού των πρωτονίων με ένταση μεγαλύτερη από $10 \text{ σωματία/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$ (pfu) και ενέργεια μεγαλύτερη από 10 MeV, όπως μετρούνται από τους δορυφόρους στην τροχιά της Γης (1AU). Γενικά τα SPE έχουν χαμηλότερο ενεργειακό φάσμα από την γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία με την πλειονότητα τους να έχουν πρωτόνια ενεργειών μεταξύ 10 και 100 MeV και δεν είναι ανιχνεύσιμα στην επιφάνεια της Γης. Περίπου το 15% των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων έχουν πρωτόνια με ενέργειες από 450 MeV μέχρι και μερικά GeV και ανιχνεύονται σε μετρητές εδάφους μέχρι και στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Οι αυξήσεις αυτές διαρκούν αρκετές ώρες και ονομάζονται επίγειες επαυξήσεις κοσμικής ακτινοβολίας (ground level enhancement – GLE). Τα GLEs αναλύονται σε ξεχωριστή παράγραφο παρακάτω.

1.5.4 Άλλοι παράγοντες

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας κυρίως στο επίπεδο της θάλασσας. Έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες για την ημερονύχτια μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας αλλά και για την επιρροή μετεωρολογικών φαινομένων στην ένταση της. Παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός μέτρησης των κοσμικών ακτίνων κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι συνήθως 3-4 % μεγαλύτερος απ' ό τι την ημέρα, ενώ μελετήθηκε επίσης και η επιρροή των μετεωρολογικών μετώπων και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Mok & Cheng, 2000).

1.6 Διαμόρφωση κοσμικής ακτινοβολίας

Η κοσμική ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλη ισοτροπία και σταθερότητα σε γαλαξιακή κλίμακα. Ο Ήλιος και ο ενδοπλανητικός χώρος από όπου περνά για να φτάσει στη Γη, ασκούν βαθιά επίδραση ακόμα και σε ηλιοκεντρικές αποστάσεις των 10 AU. Έτσι παρουσιάζονται ανισοτροπίες και μεταβολές τόσο στο ενεργειακό φάσμα όσο και στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Επίσης οι κινήσεις του Ήλιου και της Γης δημιουργούν αξιόλογες μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας συναρτήσει του χώρου.

Οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας συναρτήσει του χώρου, του χρόνου και της ενέργειας ονομάζονται διαμόρφωση αυτής. Οι μεταβολές διακρίνονται σε:

1. Περιοδικές
 - 1.1.1. 11ετής κύκλος (και 22 ετής κύκλος)
 - 1.1.2. 27 ημερών μεταβολή
 - 1.1.3. ημερήσια μεταβολή
2. Μη περιοδικές
 - 2.1. μειώσεις Forbush

2.2. μικρής κλίμακας μεταβολές (π.χ. GLEs)

Από αυτές θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία οι μειώσεις Forbush και η ημερήσια ανισοτροπία.

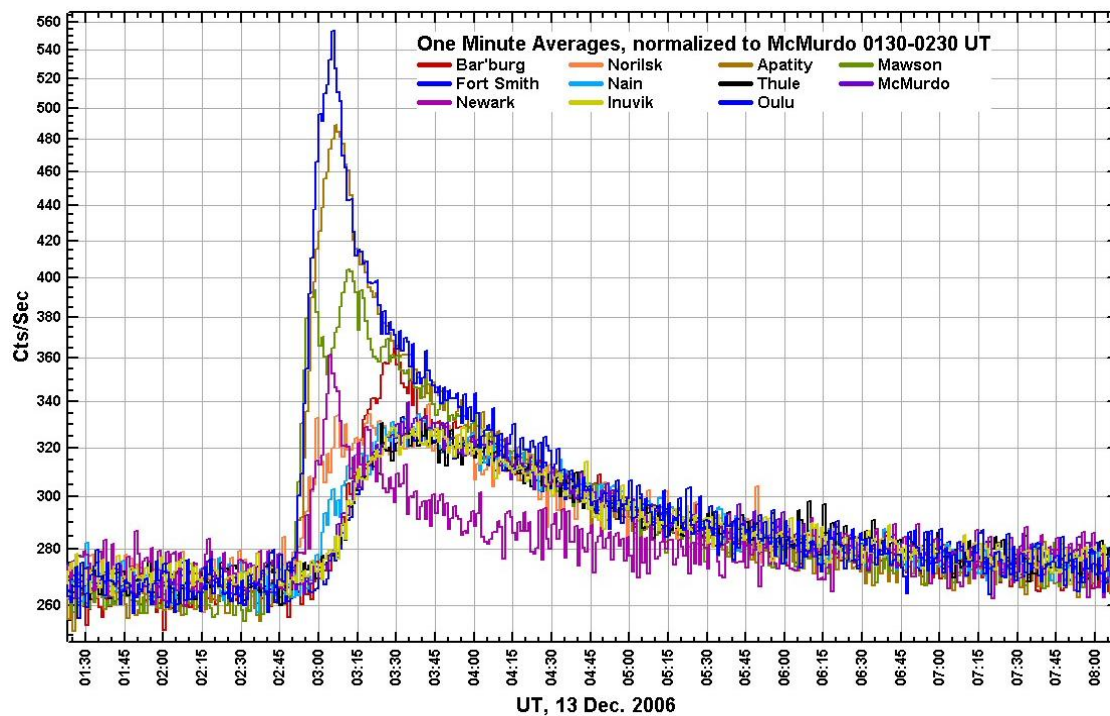
1.7 Ημερήσια μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας

Από το 1938 έχει σημειωθεί η ύπαρξη ενός μεγίστου στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας τις πρώτες απογευματινές ώρες. Πρόκειται για μεταβολή με περιοδικότητα 24 ωρών και αποτελεί φαινόμενο τοπικού χρόνου. Η ανισοτροπία των πρωτογενών κοσμικών ακτίνων, που προκαλούν και την ημερήσια μεταβολή στη Γη, έχει μεταβλητό χαρακτήρα και συσχετίζεται με τον 11 ετή κύκλο. Το μέσο πλάτος της ημερήσιας ανισοτροπίας είναι 0.4%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να φτάσει και το 1.5%. Η διεύθυνση της μέγιστης έντασης είναι η 18:00hr ως προς τη γραμμή Γης- Ήλιου (*Μαυρομιχαλάκη 2005*). Η θεωρία μεταφοράς- διάχυσης όπως έχει επεκταθεί σήμερα και στις γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες δίνει μια ικανοποιητική εξήγηση στις μεταβολές και στην ποικιλία των χρόνων της μέγιστης έντασης της αυξημένης ημερήσιας ανισοτροπίας.

1.8 Επίγειες επαυξήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (GLEs)

Οι επίγειες επαυξήσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας είναι σύντομες αυξήσεις στους ρυθμούς καταμέτρησης σωματιδίων από τους μετρητές νετρονίων (*Εικ.1.10*) και συνδέονται με την άφιξη πολλών ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων. Αυτό οφείλεται κυρίως σε ηλιακές εκλάμψεις, οπότε και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας μπορεί να αυξηθεί μέχρι και πάνω από το 100% (*Mursula and Usoskin, 2003*). Η ένταση επιστρέφει στα κανονικά επίπεδα μέσα σε δέκατα του λεπτού έως και μέσα σε μερικές μέρες, όταν πλέον η διαδικασία επιτάχυνσης των σωματιδίων θα έχει σταματήσει και αυτά θα έχουν διασκορπιστεί στο διαπλανητικό χώρο. Επειδή τα

ηλιακά σωματίδια έχουν ενέργειες μέχρι το πολύ 1 GeV, τέτοια γεγονότα δεν είναι παρατηρήσιμα από σταθμούς κοσμικής ακτινοβολίας κοντά στον ισημερινό, όπου τα σωματίδια με χαμηλές ενέργειες δεν μπορούν να διασχίσουν το γεωμαγνητικό πεδίο. Αντίθετα, αυτά τα γεγονότα είναι ανιχνεύσιμα από τους μετρητές νετρονίων σε πολικούς σταθμούς.



Εικόνα 1.10 Επίγεια επαύξηση κοσμικής ακτινοβολίας 13 Δεκεμβρίου 2006
(neutronm.bartol.udel.edu/main.html)

Τα φαινόμενα GLE μελετώνται διεξοδικά λόγω της μεγάλης τους επίδρασης στις ανθρώπινες δραστηριότητες, εφόσον πρόκειται ουσιαστικά για βομβαρδισμό της γήινης επιφάνειας με σχετικιστικής ενέργειας σωματίδια. Οι πρόσφατες επίγειες επαυξήσεις κοσμικής ακτινοβολίας το 2005 και το 2006, έδωσαν την ευκαιρία για τη μελέτη της σχέσης τους με τις μειώσεις Forbush (*Braun et al., 2009; Angelov et al. 2009*), της χρονικής τους εξέλιξης και της σχέσης τους με τον ηλιακό κύκλο (*Butikofer et al., 2009*), αλλά και της μοντελοποίησής τους (*Plainaki et al., 2009*).

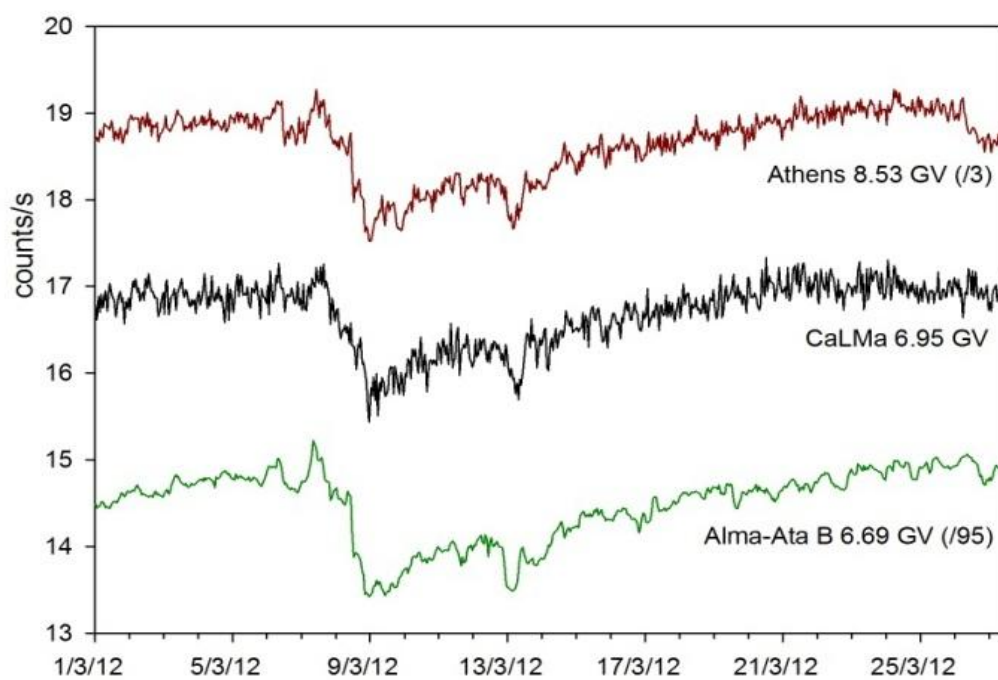
1.9 Μειώσεις Forbush

Οι μειώσεις Forbush είναι σύντομες μειώσεις της έντασης της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας στις ενέργειες κάτω από 10^9 eV (Εικ. 1.11) και οφείλονται στη διάδοση κρουστικών κυμάτων μέσα στην ηλιόσφαιρα. Τέτοια κρουστικά κύματα είναι π.χ. αυτά που προκαλούνται από στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας. Η μείωση Forbush συμβαίνει σε δύο στάδια (Barnden, 1973; Fluckiger, 1985) το πρώτο είναι μία μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας λόγω της διέλευσης του μετώπου του κρουστικού κύματος (προμείωση) και ακολουθείται από μία δεύτερη μεγαλύτερη μείωση καθώς ο παρατηρητής εισέρχεται μέσα στο υλικό που εκτοξεύθηκε από τον ήλιο και προκάλεσε το κρουστικό κύμα.

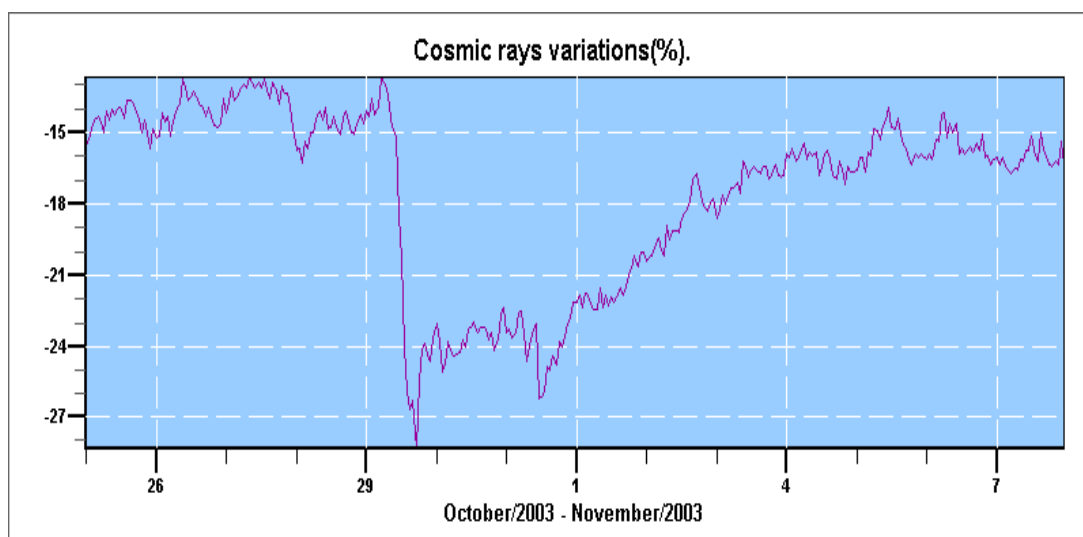
Η ελάττωση της έντασης είναι τουλάχιστον στο 5% και συμβαίνει μέσα σε λίγες ώρες μέχρι και 2 ημέρες (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Η επάνοδος προς τα φυσιολογικά επίπεδα της έντασης διαρκεί μερικές μέρες ή εβδομάδες. Αποτελεί φαινόμενο παγκόσμιου χρόνου (U.T.). Η επαλληλία μερικών μειώσεων Forbush ονομάζεται καταιγίδα, χωρίς όμως να είναι αμφιμονοσήμαντη η σχέση τους.

Ο μηχανισμός των μειώσεων Forbush είναι ουσιαστικά ο ίδιος με εκείνον της 11ετούς ηλιακής διαμόρφωσης της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας. Το μαγνητικό πεδίο που φέρεται παγωμένο στον ηλιακό άνεμο, θωρακίζει μαγνητικά τη Γη και τα φορτισμένα σωμάτια της γαλαξιακής ακτινοβολίας εκτρέποντάς τα προς τα έξω. Η εκτροπή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο εντονότερη είναι η εκπομπή του ηλιακού πλάσματος. Είναι αυξημένη κατά το μέγιστο της 11ετους περιόδου του Ηλιου και κατά τις έκτακτες δραστηριότητες του.

Χαρακτηριστικά των μειώσεων Forbush είναι ότι προηγείται μικρή μείωση η λεγόμενη προμείωση της τάξης των 1-3% που εμφανίζεται 3-18 ημέρες πριν από την κύρια φάση του γεγονότος. Πριν από την μείωση παρατηρείται προαύξηση 1-2% που προκύπτει από την ανάκλαση της κοσμικής ακτινοβολίας στο ωστικό κύμα του Ηλιακού Ανέμου. Η ανάληψη συνήθως ακολουθεί εκθετική μορφή, ενίοτε ευθεία. Και το μέγεθος της μείωσης Forbush εξαρτάται από τη φάση του ηλιακού κύκλου.



Εικόνα 1.11 Μείωση Forbush όπως καταγράφεται από διάφορους σταθμούς



Εικόνα 1.12 Μείωση Forbush παρατηρήθηκε μεταβολή 21% στην Αθήνα, 10/2003.

1.10 Ενδιαφέρον για τις Κοσμικές Ακτίνες

Οι κοσμική ακτινοβολία επηρεάζει τη ζωή ακόμη και στην Γη, έτσι η μελέτη της απασχόλησε πολλούς επιστήμονες ήδη από τις αρχές του 1900. Οι κοσμικές ακτίνες είναι μια άλλη άποψη της πολύπλοκης σχέσης της Γης με τον υπόλοιπο Κόσμο. Έτσι επιστήμονες προσπαθούν να απαντήσουν πως η ηλιακή δραστηριότητα και οι κοσμικές ακτίνες επιδρούν σε συνθήκες στην επιφάνεια της Γης, όπως ο καιρός και το κλίμα. Αντίστοιχα με τον καιρό στην μετεωρολογία, ορίζεται και ο διαστημικός καιρός. Επίσης, η κοσμική ακτινοβολία ως σωματιδιακή, αλληλεπιδρά με την ύλη και η αλληλεπίδραση με την ύλη και την ενέργεια δίνει πολλές πληροφορίες για το είδος και την ενέργεια των σωματιδίων της ακτινοβολίας. Οι γνώσεις μας αναφορικά με την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη συνέβαλαν προς τη μελέτη αυτή. Επιπλέον, η κοσμική ακτινοβολία είναι σημαντικότερη όσο ψηλότερα πηγαίνουμε, έτσι εκτός από την σημαντική έκθεση σε κοσμική ακτινοβολία για τους οργανισμούς έξω από τη θωράκιση του μαγνητικού πεδίου της Γης, οι οργανισμοί που πετούν ψηλά εκτίθεται σε ενεργητικά σωματίδια των κοσμικών ακτίνων πολλές φορές περισσότερο, από ότι στην επιφάνεια της θάλασσας. Έτσι η έκθεση των πιλότων και των πληρωμάτων αεροσκαφών στην κοσμική ακτινοβολία απασχολεί πολύ τους επιστήμονες, λόγω των πιθανών επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει στην υγεία τους. Οι πιθανές επιπτώσεις υγείας όπως μεταβολές του καρδιακού ρυθμού, αθηροσκλήρυνση, καταρράκτης των ματιών και αυξημένη πιθανότητα για εμφάνιση κάποιων τύπων καρκίνου στα πληρώματα αεροσκαφών, έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές (Papailiou *et al*, 2011; Yu T, 2011; Kagami S, 2009). Μιας και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη έξω από την ατμόσφαιρα της Γης αναμένεται να έχει μεγαλύτερη επίπτωση στην υγεία των αστροναυτών και συνεπώς θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στον σχεδιασμό των διαστημοπλοίων ώστε να μπορούν να μεταφέρουν με ασφάλεια τους ανθρώπους στα διαπλανητικά ταξίδια. Η έκθεση στην κοσμική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια διαστημικών πτήσεων οδηγεί σε προβλήματα υγείας που ποικίλουν από οξεία σε μακράς εμφάνισης αποτελέσματα. Τα οξεία ήπια αποτελέσματα αφορούν σε διάρροια, ναυτία και εμετό και συνήθως είναι αναστρέψιμα, ενώ πιο σοβαρές επιπτώσεις περιλαμβάνουν καταστροφή του

κεντρικού νευρικού συστήματος, ο κίνδυνος για "δηλητηρίαση" από και ο θάνατος είναι μεγάλος σε αυτού του είδους τις πτήσεις (*Biomedical Results From Apollo - Radiation Protection and Instrumentation*).

Ακόμη, η μελέτη των κοσμικών ακτίνων θεωρείται σημαντική αν αναλογιστεί κανείς ότι ένα και μόνο σωματίδιο μπορεί να επιφέρει την καταστροφή κάποιου ηλεκτρονικού συστήματος (Single event upset- μπορεί να καταστρέψει τις βασικές μονάδες της μνήμης, Latch up- που συμβαίνει στους υπολογιστές των δορυφόρων) ή να αλλάξει κάποιο χρωμόσωμα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα ενεργητικά σωματίδια των κοσμικών ακτίνων μπορούν να επιδράσουν στις ραδιο-τηλεπικοινωνίες και να προκαλέσουν διάβρωση σε σωληνώσεις. Με την αύξηση των ιόντων της ιονόσφαιρας τα ράδιο-κύματα απορροφούνται και οι ράδιο-μεταφορές αποτυγχάνουν. Σωληνώσεις από βορρά προς νότο σε μεγάλα πλάτη υπόκεινται σε διάβρωση από μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα που αυξάνονται από μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο από τον ηλιακό άνεμο. Στις 3 Μαρτίου 1989 συνέβη ένα black-out για εννέα ώρες σε περίοδο μεγάλης ηλιακής και μαγνητικής δραστηριότητας που κατεγράφη από Μετρητές Νετρονίων. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι οι κοσμικές ακτίνες μπορούν να χρησιμεύσουν για πρόβλεψη της καταστροφής από την ηλιακή δραστηριότητα ώστε οι εταιρείες να μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο. Έτσι τα σωματίδια των κοσμικών ακτίνων επηρεάζουν τη ζωή στη Γη είτε επιδρώντας στα τεχνολογικά συστήματα είτε στην υγεία του ανθρώπου (καρκίνοι, καταρράκτης, γενετικές μεταλλάξεις).

Από την άλλη πλευρά χάρη στις κοσμικές ακτίνες οι αρχαιολόγοι και οι γεωλόγοι μπορούν να κάνουν εκτιμήσεις και να χρονολογήσουν διάφορα υλικά.. Επίσης, οι κάτοικοι περιοχών με μεγάλα γεωγραφικά πλάτη απολαμβάνουν τα φωτεινά σήματα (σέλας), που οφείλονται εν μέρει στην κοσμική ακτινοβολία.

Η μέτρηση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία διερεύνησης της σχέσης μεταξύ της Γης και του υπολοίπου Σύμπαντος.



Εικόνα 1.13 Βόρειο Σέλας

1.11 Το μαγνητικό πεδίο της Γης

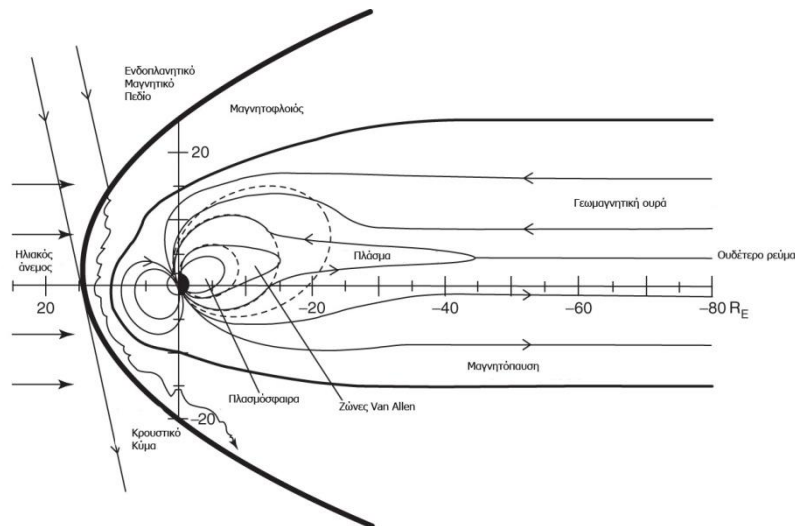
Το μαγνητικό πεδίο της Γης μπορεί να προσεγγιστεί με ένα έκκεντρο μαγνητικό διπολικό πεδίο (Bartels, 1936; Bochev, 1969) που παράγεται από ένα δίπολο, το οποίο σύμφωνα με προσεγγιστικούς υπολογισμούς του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field), το 2000 βρισκόταν σε απόσταση 540 km από το κέντρο της Γης και είχε προβολή στην επιφάνεια της Γης με γεωγραφικό πλάτος $21,8^{\circ}\text{N}$ και γεωγραφικό μήκος $143,4^{\circ}\text{W}$. Τα στοιχεία αυτά συνεχώς μεταβάλλονται με ρυθμό και κατεύθυνση που βρίσκονται υπό συνεχή έρευνα (Ladynin & Porona, 2009), όπως άλλωστε μεταβάλλονται και οι γεωγραφικές συντεταγμένες των δύο πόλων του μαγνητικού πεδίου. Ως μαγνητικούς πόλους θεωρούμε τα σημεία εκείνα στα οποία οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές σχηματίζουν γωνία 90° με την επιφάνεια του εδάφους και έχουν μηδενική οριζόντια συνιστώσα. Είναι γνωστό ότι οι δύο μαγνητικοί πόλοι όχι μόνο δεν ταυτίζονται με τους γεωγραφικούς πόλους του πλανήτη, αλλά έχουν συντεταγμένες που μεταβάλλονται συνεχώς. Ωστόσο, ο άξονας μεταξύ των δύο μαγνητικών πόλων σχηματίζει γωνία περίπου $11,3^{\circ}$ με τον άξονα περιστροφής της Γης. Σύμφωνα με την Γεωλογική Υπηρεσία του Καναδά, οι συντεταγμένες του μαγνητικού Βόρειου Πόλου το 2005 ήταν $82,7^{\circ}\text{N}$ και $114,4^{\circ}\text{W}$ και σύμφωνα με την κυβερνητική υπηρεσία γεωεπιστήμης

της Αυστραλίας ο μαγνητικός Νότιος Πόλος το 2005 είχε συντεταγμένες 63.1°S και 137.5°E .

1.11.1 Η δομή του γεωμαγνητικού πεδίου

Τα όρια της γήινης μαγνητόσφαιρας ξεκινούν σε υψόμετρο περίπου 100 km από την επιφάνειά της, εκεί που ξεκινάει και η ιονόσφαιρα. Το εξωτερικό όριο της μαγνητόσφαιρας ονομάζεται μαγνητόπαυση που αποτελεί την επιφάνεια που διαχωρίζει το γήινο μαγνητικό πεδίο από τον ηλιακό άνεμο που προσκρούει επάνω του, σχηματίζοντας, όπως είδαμε, ένα κρουστικό κύμα και τον μαγνητοφλοιό. Η θέση της μαγνητόπαυσης καθορίζεται από την ισορροπία της πίεσης που ασκείται από τον ηλιακό άνεμο στο γεωμαγνητικό πεδίο. Σε μία κανονική ημέρα, η μαγνητόπαυση της Γης προς την πλευρά του Ήλιου διαπερνά το ισημερινό επίπεδο σε απόσταση 10 γήινων ακτίνων ($1 R_E = 6367 \text{ km}$) το μεσημέρι και περίπου $20 R_E$ την ανατολή και τη δύση του Ήλιου. Στην αντίθετη κατεύθυνση η μαγνητόσφαιρα εκτείνεται απεριόριστα, σχηματίζοντας τη λεγόμενη γεωμαγνητική ουρά.

Καθώς το ηλιακό στέμμα εκτείνεται στο διάστημα, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου αυξάνεται και κοντά στην θέση της Γης είναι περίπου 400 km/s, ταχύτητα που είναι μεγαλύτερη από εκείνη που έχουν τα κύματα Alfven, που είναι εγκάρσια μαγνητοϋδροδυναμικά κύματα που ταξιδεύουν με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που τα περιβάλλει. Όπως συμβαίνει με όλα τα υπερηχητικά αντικείμενα που ταξιδεύουν στη γήινη ατμόσφαιρα, έτσι και σε αυτή την περίπτωση σχηματίζεται ένα κρουστικό κύμα μπροστά από τη γήινη μαγνητόσφαιρα. Το κύμα Alfven αλλάζει μη γραμμικά την κλίση του και το κρουστικό κύμα σχηματίζεται καθώς η μαγνητόσφαιρα «στριμώχνεται» κάτω από τον ηλιακό άνεμο. Το κρουστικό κύμα απέχει από τη μαγνητόπαυση περίπου κατά μία γήινη ακτίνα.



Εικόνα 1.14 Σχηματική αναπαράσταση της γήινης μαγνητόσφαιρας στο ισημερινό επίπεδο. Στους άξονες η κλίμακα R_E είναι σε γήινες ακτίνες ($1 R_E = 6367 \text{ km}$)

Η περιοχή πίσω από το κρουστικό κύμα ονομάζεται μαγνητοφλοιός και εκτείνεται μέχρι τη μαγνητόπαιση. Ο μαγνητοφλοιός είναι μια διαταραγμένη περιοχή στην οποία παρατηρούνται κύματα μεγάλου πλάτους και πολύ θερμά σωματίδια τα οποία προκύπτουν από τη δημιουργία του κρουστικού κύματος κατά την οποία η ενέργεια του ρεύματος του ηλιακού ανέμου έχει μετατραπεί σε θερμική ενέργεια. Αμέσως μετά την κρουστική επιφάνεια, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου πέφτει στα 50 km/s , ενώ στη συνέχεια αυξάνεται και πάλι.

Μέσα στη μαγνητόσφαιρα βρίσκονται οι ζώνες ακτινοβολίας Van Allen. Αυτές χωρίζονται στις εσωτερικές ζώνες ακτινοβολίας (από την ιονόσφαιρα μέχρι 4 ή $5 R_E$) και τις εξωτερικές ζώνες (από $4-5 R_E$ μέχρι τη μαγνητόπαιση). Η εσωτερική ζώνη ακτινοβολίας περιέχει ενεργητικά σωματίδια που προέρχονται από νετρόνια τα οποία παράγονται από τις κοσμικές ακτίνες που βομβαρδίζουν την ατμόσφαιρα του πλανήτη. Τα νετρόνια είναι ασταθή με μικρούς χρόνους ζωής και διασπώνται σε πρωτόνια, ηλεκτρόνια και αντινετρίνα. Τα φορτισμένα σωματίδια αιχμαλωτίζονται από το γεωμαγνητικό πεδίο και από αυτή τη διαδικασία προέρχονται τα περισσότερα ενεργητικά σωματίδια της εσωτερικής ζώνης ακτινοβολίας Van Allen.

Τα σωματίδια της εξωτερικής ζώνης ακτινοβολίας Van Allen συνδέονται με τον ηλιακό άνεμο και τις δυναμικές διαταραχές του σέλαος. Η εξωτερική

μαγνητόσφαιρα είναι ορισμένες φορές ήρεμη και ορισμένες φορές διαταραγμένη, όπως συμβαίνει και με την χαμηλότερη ατμόσφαιρα της Γης και τις καιρικές διακυμάνσεις. Σε αντίθεση όμως με τον γήινο καιρό, ο διαστημικός καιρός καθορίζεται από ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που προέρχονται από τον διαταραγμένο ηλιακό άνεμο, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τις ηλιακές καταιγίδες, τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκπομπές μάζας. Εντυπωσιακοί σχηματισμοί σέλαος και έντονες εκπομπές ραδιοκυμάτων κυρίως στις πολικές περιοχές του πλανήτη, είναι εκδηλώσεις διαστημικών καταιγίδων. Το σέλας είναι ένα εντυπωσιακό φαινόμενο με πολύχρωμα φώτα τα οποία προέρχονται από ατμοσφαιρικές εκπομπές προκαλούμενες από τα καταβυθιζόμενα ενεργητικά ηλεκτρόνια που βομβαρδίζουν την εξωτερική ατμόσφαιρα της Γης. Οι ραδιοφωνικές εκπομπές δημιουργούνται από τα ασταθή σωματίδια που περιέχονται στο σέλας.

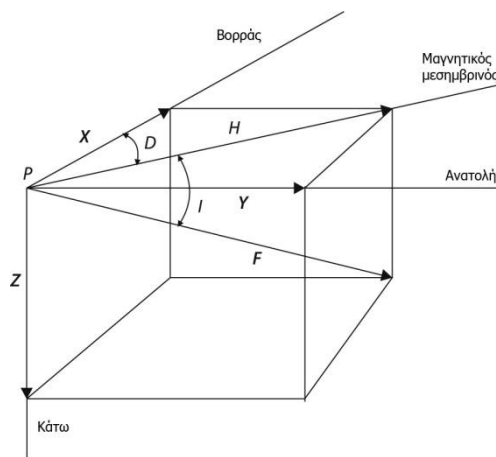
Η γήινη μαγνητόσφαιρα διαρρέεται από ένα πολύπλοκο σύστημα ηλεκτρικών ρευμάτων που δημιουργούνται από την εισροή των ηλιακών κοσμικών ακτίνων στη μαγνητόσφαιρα. Η μελέτη τους είναι καθοριστική στον προσδιορισμό και την κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στη γήινη μαγνητόσφαιρα και τον ηλιακό άνεμο αφού οι περισσότερες από τις διαδικασίες που συμβαίνουν στη μαγνητόσφαιρα συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με αυτά τα μαγνητοσφαιρικά ηλεκτρικά ρεύματα.

Καθώς η ένταση του ηλιακού ανέμου μεταβάλλεται, τα όρια της μαγνητόπαυσης μετακινούνται και αυτά προς τα μέσα ή προς τα έξω. Η συνοριακή επιφάνεια της μαγνητόπαυσης δεν είναι πλέον ομαλή, αλλά παίρνει μια κυματική μορφή, αντίστοιχη με τη μορφή της επιφάνειας της θάλασσας σε μια καταιγίδα. Μέσα στη μαγνητόσφαιρα τώρα, σωματίδια από τις εξωτερικές περιοχές πλάσματος, περνούν στην εξωτερική ζώνη ακτινοβολίας Van Allen, αυξάνοντας έτσι τη σωματιδιακή πυκνότητα και την ενέργεια στην περιοχή αυτή. Η αύξηση στην πυκνότητα ρεύματος των παγιδευμένων σωματιδίων προκαλεί το λεγόμενο κυκλικό ή δακτυλιδειδές ρεύμα σε απόσταση από 2 έως και 7 R_E . Το κυκλικό ρεύμα είναι μια πολύ βασική πηγή μαγνητικού πεδίου και περιέχει κυρίως πρωτόνια ενέργειας 20 – 200 keV.

1.11.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη του γεωμαγνητικού πεδίου

Το μαγνητικό πεδίο της Γης μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα διάνυσμα $\vec{B}$. Το διάνυσμα αυτό αναλύεται σε τρεις συνιστώσες σε ένα καρτεσιανό σύστημα αναφοράς με την αρχή των αξόνων να είναι στην επιφάνεια της Γης, όπου θεωρείται και το σημείο μέτρησης του γεωμαγνητικού πεδίου.

Ο άξονας-x είναι ο γεωγραφικός μεσημβρινός που κατευθύνεται προς τον Βορρά, ο άξονας-y είναι ο γεωγραφικός παράλληλος που κατευθύνεται προς την Ανατολή και ο άξονας-z είναι κάθετος στην επιφάνεια της Γης και δείχνει προς τα μέσα.



Εικόνα 1.15 Διανυσματική περιγραφή του γεωμαγνητικού πεδίου. Με αρχή των αξόνων το σημείο P στην επιφάνεια της Γης, ο άξονας x δείχνει προς τον γεωγραφικό Βορρά, ο άξονας y στην γεωγραφική Ανατολή και ο άξονας z προς τα κάτω και το κέντρο της Γης. Το διάνυσμα του γεωμαγνητικού πεδίου συμβολίζεται με F και με X, Y και Z συμβολίζονται οι τρεις του συνιστώσες.

Έτσι, οι τρεις συνιστώσες του γεωμαγνητικού πεδίου θα είναι οι $\vec{X}$, $\vec{Y}$ και $\vec{Z}$, οπότε θα έχουμε:

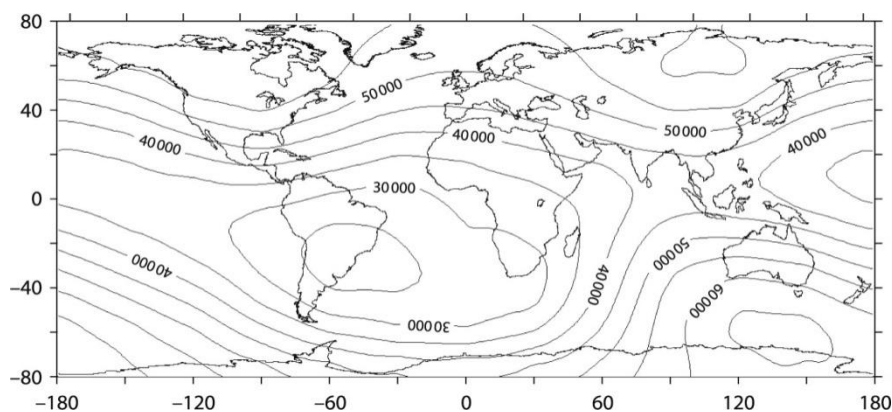
$$\vec{B} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad \text{και} \quad \vec{H} = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

όπου $\vec{H}$ η οριζόντια συνιστώσα του πεδίου $\vec{B}$. Για την πλήρη περιγραφή του πεδίου πρέπει να ορίσουμε και δύο γωνίες: την γωνία I μεταξύ του ανύσματος $\vec{B}$ και του οριζόντιου επιπέδου που ονομάζουμε γωνία κλίσης και τη γωνία D μεταξύ της

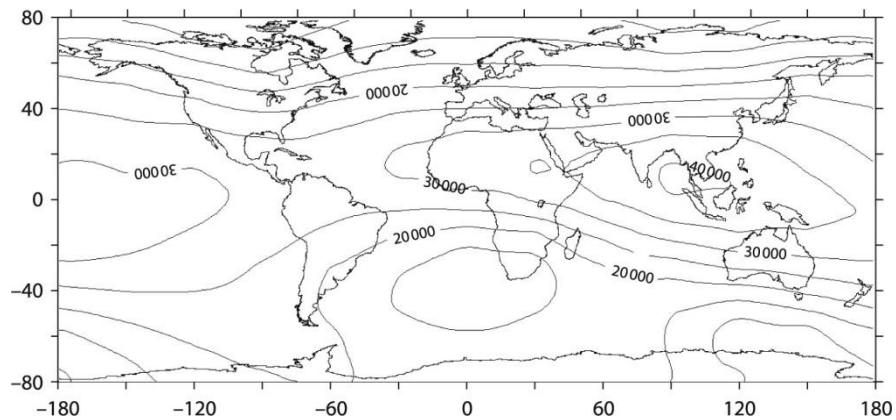
οριζόντιας συνιστώσας $\vec{H}$ και της συνιστώσας $\vec{X}$ που ονομάζουμε γωνία απόκλισης. Οι σχέσεις ανάμεσα σε αυτές τις ποσότητες είναι:

$$H = B \cos I ; Z = B \sin I = H \tan I ; X = H \cos D ; Y = H \sin D$$

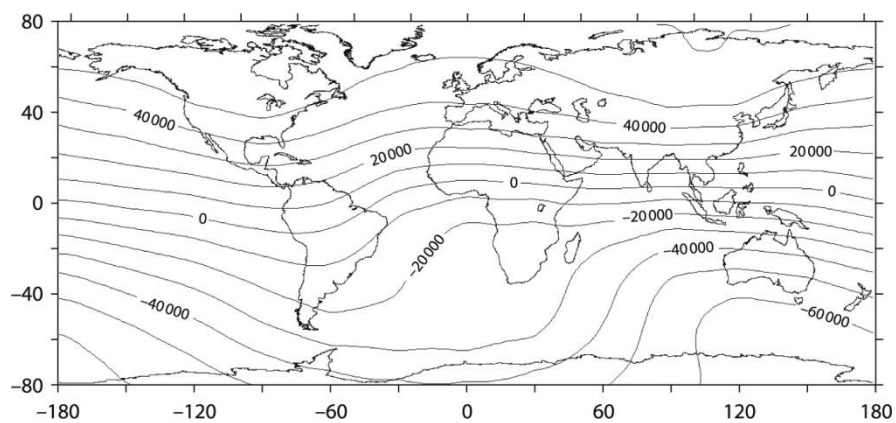
Τρεις από τις ποσότητες αυτές, ανεξάρτητες η μία από την άλλη, είναι αρκετές για να τον πλήρη καθορισμό του μαγνητικού πεδίου της Γης. Στο σύστημα μονάδων SI, η μονάδα μέτρησης του μαγνητικού πεδίου είναι το Tesla, για πρακτικούς λόγους, λόγω μεγέθους, το γεωμαγνητικό πεδίο μετρείται σε υποδιαίρέσεις του Tesla, τα nanoTesla ($1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$). Στην επιφάνεια της Γης το γεωμαγνητικό πεδίο ποικίλλει σε μέγεθος κυρίως με το γεωγραφικό πλάτος, από περίπου 30 000 nT στον Ισημερινό σε 68 000 nT στους πόλους. Στα ακόλουθα σχήματα φαίνονται οι διακυμάνσεις της οριζόντιας και της κάθετης συνιστώσας, αλλά και του ολικού γεωμαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια της Γης για το έτος 2005, καθώς και ο ισογωνιακός χάρτης για την γωνία απόκλισης.



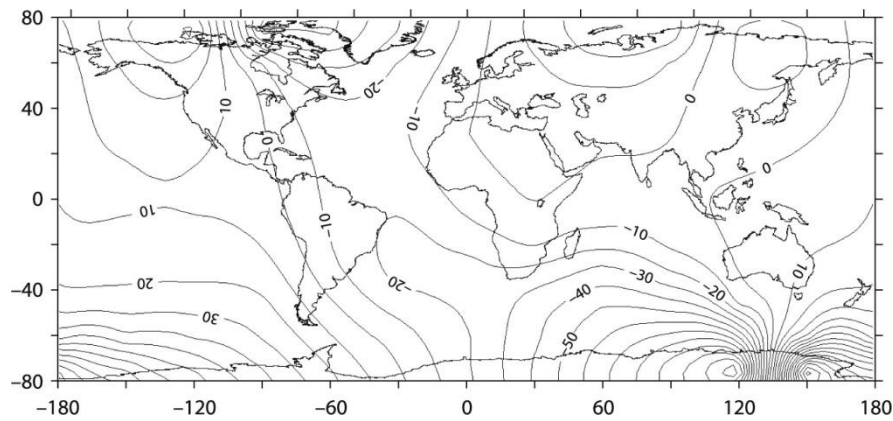
Εικόνα 1.16 Ισοδυναμικός χάρτης του ολικού μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι άξονες δείχνουν το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ οι συνεχείς γραμμές δείχνουν τις ισοδυναμικές μαγνητικές γραμμές του πεδίου σε nT. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field) 10ης γενιάς το 2005.



Εικόνα 1.17 Ισοδυναμικός χάρτης της οριζόντιας συνιστώσας H του μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι άξονες δείχνουν το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ οι συνεχείς γραμμές δείχνουν τις ισοδυναμικές μαγνητικές γραμμές του πεδίου σε nT. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field) 10ης γενιάς το 2005.



Εικόνα 1.18 Ισοδυναμικός χάρτης της κάθετης συνιστώσας Z του μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι άξονες δείχνουν το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ οι συνεχείς γραμμές δείχνουν τις ισοδυναμικές μαγνητικές γραμμές του πεδίου σε nT. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field) 10ης γενιάς το 2005.



Εικόνα 1.19 Ισογωνιακός χάρτης της απόκλισης D του μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι άξονες δείχνουν το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ οι συνεχείς γραμμές δείχνουν τις ισοδυναμικές μαγνητικές γραμμές του πεδίου σε nT . Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μοντέλου IGRF (International Geomagnetic Reference Field) 10ης γενιάς το 2005.

1.12 Γεωμαγνητικές καταιγίδες

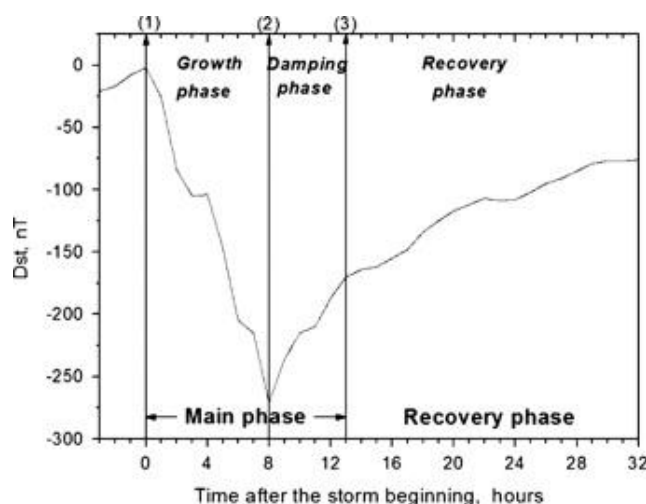
Στα μέσα του 19ου αιώνα οι έντονες διαταραχές που παρατηρούνταν κι συνοδεύονταν από σημαντική μείωση της οριζόντιας συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου, ονομάτηκαν γεωμαγνητικές καταιγίδες. Μέχρι και σήμερα το φαινόμενο και η δυναμική του δεν είναι πλήρως κατανοητά κι αποτελεί σημείο ερευνών για τους επιστήμονες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη σύγχρονη φυσική διαστήματος. Οι επιδράσεις των γεωμαγνητικών καταιγίδων στην ιονόσφαιρα και τη θερμόσφαιρα προκύπτουν από την ενέργεια που παράγεται μέσα από κινητικές και χημικές διαδικασίες και την ηλεκτροδυναμική σύζευξη ανάμεσα στη μαγνητόσφαιρα και τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας. Η σημασία στην πρόβλεψη των γεωμαγνητικών καταιγίδων δεν είναι μόνο ακαδημαϊκή στο κατά πόως η γήινη μαγνητόσφαιρα και η ιονόσφαιρα αποσπούν ενέργεια από τον ηλιακό άνεμο. Υπάρχει και πρακτική σημασία στην καθημερινή ζωή, μιας και οι γεωμαγνητικές καταιγίδες αποδεδειγμένα επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις τηλεπικοινωνίες, ενώ όπως άλλωστε είναι και το κύριο αντικείμενο της μελέτης αυτής, υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι επηρεάζουν και ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους και συνεπώς την ανθρώπινη υγεία.

Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι πολύπλευρα και πολυπαραγοντικά φαινόμενα που πηγάζουν κυρίως από την ηλιακή δραστηριότητα και λαμβάνουν

χώρα μέσω του ηλιακού ανέμου, της μαγνητόσφαιρας, της ιονόσφαιρας και της θερμόσφαιρας. Θεμελιώδη ερωτήματα αναφορικά με τις γεωμαγνητικές καταιγίδες, όπως τι τις προκαλεί, πως σχηματίζεται και πως εντείνεται το κυκλικό ρεύμα κατά τη διάρκειά τους, πως επηρεάζουν οι αλλαγές που προκαλούνται στο σύστημα μαγνητόσφαιρα-ιονόσφαιρα την ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης και πως θα μπορούσαμε να προβλέψουμε πότε θα συμβούν, επιχειρούν να απαντήσουν πολλές ερευνητικές ομάδες (Kamide *et al*, 1998).

Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες ανιχνεύτηκαν αρχικά από επίγειους μαγνητογράφους, χάρη στη μείωση της έντασης της οριζόντιας συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου με διάρκεια μερικών δεκάδων ωρών. Αυτή η μείωση προκαλείται από το κυκλικό ηλεκτρικό ρεύμα στη μαγνητόσφαιρα που περικλείει την Γη, έχει δυτική κατεύθυνση και απέχει από το κέντρο της Γης από 2 έως 7 RE.

Μία γεωμαγνητική καταιγίδα περιλαμβάνει κυρίως τρεις φάσεις. Ξεκινάει με μια απότομη αύξηση στην οριζόντια συνιστώσα που ονομάζεται αιφνίδια έναρξη καταιγίδας (sudden storm commencement, SSC) και στη συνέχεια ακολουθεί μια μικρή περίοδος τυχαίας διάρκειας που ονομάζεται αρχική φάση στην οποία η οριζόντια συνιστώσα παραμένει σταθερή. Την αρχική φάση διαδέχεται η κύρια φάση, όπου πλέον η οριζόντια συνιστώσα του γεωμαγνητικού πεδίου μειώνεται, με τη μείωση αυτή να διαρκεί λίγες ώρες. Μια γεωμαγνητική καταιγίδα ολοκληρώνεται με τη φάση της ανάκαμψης του γεωμαγνητικού πεδίου στα επίπεδα που είχε πριν την έναρξη της καταιγίδας. Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μερικές δεκάδες ώρες.



Εικόνα 1.20 Χρονική εξέλιξη μιας τυπικής γεωμαγνητικής καταιγίδας όπου φαίνονται οι τρεις φάσεις

Η ύπαρξη μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας ταυτοποιείται κυρίως από την ύπαρξη της κύριας φάσης, κατά τη διάρκεια της οποίας το μαγνητικό πεδίο της Γης στην επιφάνειά της μειώνεται σημαντικά από 100 μέχρι και 500 nT, ενώ κάποιοι μελετητές θεωρούν καταιγίδα και για μείωση και στα 80 nT. Η ένταση μιας μαγνητικής καταιγίδας εξαρτάται ισχυρά από το γεωγραφικό πλάτος: είναι μέγιστη στον ισημερινό και ελάχιστη στους πόλους.

Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη κατά τη διάρκεια της αρχικής και της κύριας φάσης μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας συχνά παρατηρείται και ένα ακόμα εντυπωσιακό φαινόμενο, που οφείλεται στην υπέρθεση μερικών μικρότερης έντασης μαγνητικών αναταραχών και ονομάζονται μαγνητικοί «κόλποι» λόγω της μορφής που έχουν στα μαγνητογραφήματα. Συνήθως παρατηρούνται τις νυχτερινές ώρες και διαρκούν μία με δύο ώρες. Οι μαγνητικοί κόλποι είναι από τις πιο σημαντικές διακυμάνσεις του γεωμαγνητικού πεδίου και συχνά συμβαίνουν μαζί με παγκόσμιες γεωμαγνητικές καταιγίδες αν και έχουν παρατηρηθεί και ανεξάρτητα. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται μαγνητοσφαιρικές υποκαταιγίδες και οφείλονται κυρίως σε ηλεκτρικά ρεύματα που ρέουν στην ιονόσφαιρα σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 60° και 70°. Τα ρεύματα αυτά παράγονται στη μαγνητόσφαιρα, ρέουν στην ιονόσφαιρα και επιστρέφουν στη μαγνητόσφαιρα ακολουθώντας τις δυναμικές γραμμές του γεωμαγνητικού πεδίου. Έτσι, η βασική επίδραση της υποκαταιγίδας είναι η ενεργοποίηση και η έγχυση σωματίων μέσα στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα σε μια εντοπισμένη περιοχή και κοντά στα μεσάνυχτα.

Η μείωση της οριζόντιας συνιστώσας στην κύρια φάση μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας ερμηνεύεται από την επίδραση του ηλεκτρικού κυκλικού ρεύματος στην μαγνητόσφαιρα. Όπως είδαμε, το κυκλικό ή δακτυλιδιοειδές ρεύμα είναι ένα από τα κύρια ρεύματα της μαγνητόσφαιρας, που περικυκλώνει τη Γη στο επίπεδο του ισημερινού και ενεργοποιείται από την αυξημένη παρουσία των ενεργητικών ιόντων που βρίσκονται παγιδευμένα στο γεωμαγνητικό πεδίο σε απόσταση 2 έως 7 R_E . Κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης, το κυκλικό ρεύμα που περιέχει ιόντα ενέργειας 20 – 220 keV αυξάνει σε ένταση, ενώ κατά τη διάρκεια της φάσης ανάκαμψης, η έντασή του μειώνεται εξαιτίας ανταλλαγής φορτίων, αλληλεπίδρασης Coulomb και άλλων διαδικασιών που συμβαίνουν στο χώρο που καταλαμβάνει το κυκλικό ρεύμα. Τελικά, το ενδοπλανητικό μαγνητικό πεδίο γυρίζει προς τον Νότο, αντιπαράλληλα προς το πεδίο τη Γης και αρχίζει η μαγνητική επανασύνδεση.

Κατά τη μαγνητική επανασύνδεση δύο αντίθετης κατεύθυνσης μαγνητικά πεδία φέρονται μαζί από ρέοντα πλάσματα σε μια ουδέτερη γραμμή τύπου X. Μακριά από την ουδέτερη γραμμή, το μαγνητικό πεδίο είναι μέσα στο πλάσμα, κοντά όμως στην ουδέτερη γραμμή, γίνεται παγωμένο και διαχέεται μέσα στο πλάσμα δημιουργώντας μια καινούρια μορφή μαγνητικών δυναμικών γραμμών. Τα πιο έντονα γεωμαγνητικά φαινόμενα συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του φαινομένου της επανασύνδεσης. Το μαγνητικό πεδίο της Γης από την πλευρά της μαγνητόσφαιρας που βλέπει τον Ήλιο εξουδετερώνεται από το ενδοπλανητικό μαγνητικό πεδίο που έχει αντίθετη κατεύθυνση και έτσι η Γη χάνει τη φυσική της μαγνητική προάσπιση απέναντι στον ηλιακό άνεμο. Το μαγνητοσφαιρικό πλάσμα συμμετέχει σε μια γιγαντιαία διαδικασία μεταφοράς, αποτέλεσμα της οποίας είναι η μεταφορά του από την ημερήσια πλευρά στη νυχτερινή. Με τον τρόπο αυτό ενεργοποιούνται μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα στην ιονόσφαιρα πάνω από τους πόλους, τα οποία προκαλούν μαγνητικές υποκαταιγίδες στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, καθώς και εντυπωσιακά σέλεα. Ένα μέρος της ενέργειας αυτών των φαινομένων μεταφέρεται και στις ζώνες ακτινοβολίας Van Allen, εμπλουτίζοντας έτσι και το ηλεκτρικό κυκλικό ρεύμα που είναι και η βασική αιτία της κύριας φάσης μιας μαγνητικής καταιγίδας.

Η παρουσία της ιονόσφαιρας εξηγεί ορισμένες από τις χρονικές διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης, που παρουσιάζουν μια περιοδικότητα. Μία τέτοια είναι η ημερήσια διακύμανση, η οποία συνδέεται άμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα της ανώτερης ατμόσφαιρας και την κίνηση των ατμοσφαιρικών αέριων μέσα από τις δυναμικές γραμμές του γεωμαγνητικού πεδίου. Οι κινήσεις αυτές και οι σύνθετες αλληλεπιδράσεις τους με το πεδίο, δημιουργούν ηλεκτρικά ρεύματα στην ιονόσφαιρα τα οποία ανιχνεύονται στην επιφάνεια της Γης σαν μικρές διακυμάνσεις στις τρεις συνιστώσες του γεωμαγνητικού πεδίου. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι αρκετά μικρές, μέχρι και λίγες δεκάδες nT, ώστε να παρατηρούνται μόνο τις ημέρες που δεν υπάρχουν άλλες έντονες διαταραχές στη μαγνητόσφαιρα, δηλαδή κυρίως κατά τις ηλιακά ήρεμες μέρες. Η ημερήσια μαγνητική διακύμανση είναι φαινόμενο που ακολουθεί την τοπική χρονική εξέλιξη, δηλαδή είναι πιο έντονο κατά τη διάρκεια της ημέρας σε έναν τόπο, ενώ τη νύχτα είναι αμελητέα. Η περίοδος της ημερήσιας διακύμανσης αυτής μπορεί να προκύψει από την υπέρθεση κυμάτων με περιόδους 12 και 24 ωρών.

1.12.1 Ηλιακή δραστηριότητα και γεωμαγνητικές καταιγίδες

Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ηλιακή δραστηριότητα και σημείο έναρξης τους είναι όταν διαταραχές στον ηλιακό άνεμο φτάνουν στη γήινη μαγνητόσφαιρα. Οι ηλιακές εκλάμψεις και οι στεμματικές εκπομπές μάζας είναι τα πιο έντονα φαινόμενα που προκαλούν γεωμαγνητικές καταιγίδες και συμβαίνουν πιο συχνά κατά τη διάρκεια των μεγίστων του ηλιακού κύκλου. Εκτός από τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκπομπές μάζας, γεωμαγνητικές καταιγίδες μπορεί να προκαλούν και οι στεμματικές οπές και μέσω των ανοιχτών δυναμικών γραμμών του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, διαφεύγει η γρήγορη συνιστώσα του ηλιακού ανέμου προκαλώντας γεωμαγνητικές καταιγίδες.

Εν γένει ο ηλιακός άνεμος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που προκαλεί τις γεωμαγνητικές καταιγίδες. Τα ηλεκτρικά πεδία που περιέχονται στον ηλιακό άνεμο και κατευθύνονται από την ανατολή προς τη δύση, μεταφέρουν μέσω του πλάσματος ενέργεια στη μαγνητόσφαιρα. Τα ηλεκτρικά αυτά πεδία παράγονται από το συνδυασμό της δράσης της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου και του νότιας κατεύθυνσης ενδοπλανητικού μαγνητικού πεδίου. Καθώς το γρήγορο πλάσμα και το μαγνητικό του πεδίο προωθούνται από τον ήλιο στον ενδοπλανητικό χώρο, συμπιέζουν το πιο αργό πλάσμα που βρίσκεται μπροστά, σχηματίζοντας έτσι μια θήκη ανάμεσα στην κρουστική επιφάνεια και την ενδοπλανητική εκδήλωση της ηλιακής έκρηξης. Οι στεμματικές εκπομπές μάζας που δημιουργούν μαγνητικά σύννεφα είναι κυρίως υπεύθυνες για τη δημιουργία γεωμαγνητικών καταιγίδων. Το πεδίο μέσα στα μαγνητικά σύννεφα προκαλεί μαγνητικές επανασυνδέσεις με το γεωμαγνητικό πεδίο όταν είναι νότιας κατεύθυνσης, ενώ δεν υπάρχουν επανασυνδέσεις όταν το πεδίο είναι βόρειας.

Η αρχική φάση μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας προκαλείται από την αυξημένη δυναμική πίεση πίσω από την κρουστική επιφάνεια του γρήγορου πλάσματος. Αυτή η πίεση συμπιέζει σημαντικά τη γήινη μαγνητόσφαιρα, αυξάνοντας το γεωμαγνητικό πεδίο κυρίως κοντά στον ισημερινό. Εφόσον αυτές οι ενδοπλανητικές διαταραχές είναι σύντομης διάρκειας προκαλούν την απότομη έναρξη της αρχικής φάσης, που ονομάζεται αιφνίδια έναρξη καταιγίδας. Εάν υπάρξουν διαστήματα που το μαγνητικό πεδίο της θήκης ή του μαγνητικού νέφους

έχει μεγάλης έντασης και διάρκειας συνιστώσες με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, τότε την αρχική φάση διαδέχεται η κύρια φάση της γεωμαγνητικής καταιγίδας. Η φάση της ανάκαμψης συνήθως ξεκινά όταν το μαγνητικό πεδίο στο μαγνητικό νέφος περιστρέφεται μέχρι να πάρει την αντίθετη κατεύθυνση.

Αφού οι στεμματικές εκπομπές μάζας και οι ηλιακές εκπομπές μάζας είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον ηλιακό άνεμο και οι μεταβολές στον ηλιακό άνεμο είναι εκείνες που προκαλούν τις σημαντικότερες γεωμαγνητικές καταιγίδες, είναι λογικό να συνδεθεί η γεωμαγνητική δραστηριότητα με τον ηλιακό κύκλο. Έτσι κατά τη διάρκεια ενός ηλιακού κύκλου, παρατηρούνται δύο περίοδοι έντονης γεωμαγνητικής δραστηριότητας, μια λίγο πριν και μια μετά το ηλιακό μέγιστο. Μελετώντας τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων από το 1972 έως το 1996 σε σχέση με τον αριθμό των έντονων γεωμαγνητικών καταιγίδων για το ίδιο διάστημα, βρέθηκε ότι ο αριθμός των γεωμαγνητικών καταιγίδων ακολουθεί τον 11-ετή ηλιακό κύκλο κυρίως στην αρχή και στο τέλος του (Kamide *et al*, 1998). Μία ακόμα στατιστική ανάλυση δείχνει τον συσχετισμό μεταξύ γεωμαγνητικής δραστηριότητας και 22-ετούς ηλιακού κύκλου (Cliver *et al.*, 1996). Τα μέσα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας γίνονται μεγαλύτερα κατά τη διάρκεια της ανοδικής φάσης 11-ετών ηλιακών κύκλων μονού αριθμού και κατά τη φάση μείωσης των ζυγών κύκλων. Αυτές οι διακυμάνσεις ίσως οφείλονται στην ηλιακή μαγνητική πολικότητα που μπορεί να επηρεάσει τα μεγάλης κλίμακας ηλιακά μαγνητικά πεδία που εμπεριέχονται στον ηλιακό άνεμο.

1.13 Γεωμαγνητικά παρατηρητήρια

Ανά τον κόσμο υπάρχει ένα εκτεταμένο δίκτυο από γεωμαγνητικά παρατηρητήρια. Στα παρατηρητήρια καταγράφονται οι χρονοσειρές που αφορούν στο γεωμαγνητικό πεδίο και οι μεταβολές και διακυμάνσεις του. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 150 παρατηρητήρια και κάποια έχουν "follow up" μέχρι και δύο αιώνες. Τα παρατηρητήρια πρέπει να βρίσκονται μακριά από έντονες φυσικές μαγνητικές παρεμβολές, όπως ηφαίστεια κ.α, ώστε να καταγράφονται μέσες τιμές που να

αντιπροσωπεύουν μεγάλες περιοχές. Σήμερα, υπάρχει ένας αριθμός παραμέτρων που καταμετρώνται και υπολογίζονται οι αντίστοιχοι γεωμαγνητικοί δείκτες από όλα τα παρατηρητήρια. Προκειμένου να είναι εφικτή η ανταλλαγή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, έχει ξεκινήσει το διεθνές πρόγραμμα INTERMAGNET. Πρόκειται για ένα παγκόσμιο δίκτυο ψηφιακών γεωμαγνητικών παρατηρητηρίων, κάθε ένα από τα οποία παρέχει μετρήσεις του γεωμαγνητικού πεδίου ανά λεπτό και με ακρίβεια 0,1 nT. Στο δίκτυο αυτό συμπεριλαμβάνεται και το Παγκόσμιο Κέντρο Γεωμαγνητικών Δεδομένων στο Κιότο Ιαπωνίας από όπου προέρχονται τα δεδομένα της μελέτης αυτής.



Εικόνα 1.21 Παγκόσμιος χάρτης με τις κουκίδες να σηματοδοτούν τις τοποθεσίες όπου υπάρχουν γεωμαγνητικά παρατηρητήρια

1.14 Οι γεωμαγνητικοί δείκτες

Ο όρος γεωμαγνητική δραστηριότητα αναφέρεται στις μεταβολές στο πλάτος των χρονικών διακυμάνσεων στο γεωμαγνητικό πεδίο. Αυτή η δραστηριότητα καταγράφεται στα επίγεια παρατηρητήρια και δύσκολα ποσοτικοποιείται. Για το λόγο

αυτό έχουν επινοηθεί και εισαχθεί γεωμαγνητικοί δείκτες, οι οποίοι ουσιαστικά ποσοτικοποιούν τα επίπεδα δραστηριότητας του μαγνητικού πεδίου της Γης. Μερικοί τέτοιοι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως για να χαρακτηρίσουν τη γεωμαγνητική δραστηριότητα είτε σε παγκόσμια ή είτε σε άλλες κλίμακες. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι K, Kp, ap, Ap και Dst.

1.14.1 Οι γεωμαγνητικοί δείκτες K, Kp, ap και Ap

Ο δείκτης K αντιπροσωπεύει την γεωμαγνητική δραστηριότητα που οφείλεται στην είσοδο σωματιδίων από την ηλιακή ακτινοβολία στην μαγνητόσφαιρα. Η έκφραση του δείκτη αυτού γίνεται με την ανάθεση ενός ακέραιου αριθμού από το 0 έως το 9 σε κάθε διάστημα 3 ωρών του παγκόσμιου χρόνου (Universal Time, UT) σε μία ημέρα. Έτσι, κάθε ημέρα χαρακτηρίζεται από 8 δείκτες K. Το ποιος δείκτης από το 0 έως το 9 θα ανατεθεί σε κάθε 3ωρο διάστημα καθορίζεται από το εύρος των μεταβολών των συνιστωσών H (οριζόντια συνιστώσα) και D (γωνιακή απόκλιση) του γεωμαγνητικού πεδίου σε κλίμακα nT για το κάθε 3ωρο διάστημα, αφού πρώτα έχει αφαιρεθεί η πιθανή αναμενόμενη ημερήσια διακύμανση λόγω της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Προκειμένου να γίνει η αφαίρεση αυτή και να βρεθεί μία μέση κανονική διακύμανση βάσει της οποίας θα υπολογίζονται οι μεταβολές των συνιστωσών του γεωμαγνητικού πεδίου, λαμβάνονται υπόψη οι πέντε πιο ήρεμες γεωμαγνητικές ημέρες για κάθε μήνα. Η μετατροπή του εύρους από nT σε μια αριθμητική τιμή γίνεται με τη χρήση ημιλογαριθμικής κλίμακας, με τις τιμές της κλίμακας να διαφέρουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητηρίου. Οι ίδιες πλανητικές γεωμαγνητικές διαταραχές μπορούν να εμφανιστούν σε πολλά γεωγραφικά πλάτη με διαφορετική ένταση, οπότε κάθε παρατηρητήριο έχει τέτοια κλίμακα που να αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό της πλάτος. Παρατηρητήρια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος χρειάζονται μεγαλύτερο εύρος γεωμαγνητικής διαταραχής για τον ίδιο δείκτη K.

Μέγεθος διαταραχής σε nT	Δείκτης K
0 – 5	0
5 - 10	1
10 - 20	2
20 - 40	3
40 -70	4
70 - 120	5
120 -200	6
200 - 330	7
330 - 500	8
>500	9

Πίνακας 1.1 Πίνακας μετατροπής των γεωμαγνητικών διαταραχών στον δείκτη K για το γεωμαγνητικό παρατηρητήριο στο Κέντρο Πρόγνωσης Διαστημικού Καιρού στο Μπόλντερ των Η.Π.Α

Ο δείκτης K_p αφορά και αυτός διαστήματα 3 ωρών και είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης K από δεκατρία γεωμαγνητικά παρατηρητήρια τα οποία έχουν επιλεγεί ειδικά να βρίσκονται σε γεωγραφικά πλάτη ανάμεσα στις 44 και 60° στο Βόρειο και το Νότιο ημισφαίριο. Στην περίπτωση του δείκτη K_p , η κλίμακα από 0 έως 9 του δείκτη K έχει υποδιαιρέσεις του ενός τρίτου. Για παράδειγμα, ο δείκτης 5- αντιπροσωπεύει το 4 και 2/3, ο δείκτης 5ο σημαίνει 5 και ο δείκτης 5+ είναι 5 και 1/3. Εφόσον οι δείκτες K και K_p βασίζονται σε λογαριθμική κλίμακα, έχει εισαχθεί και ο αντίστοιχος γραμμικός δείκτης a_p , ο οποίος προκύπτει από τον K_p όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2.

Kp	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Πίνακας 1.2 Πίνακας μετατροπής του δείκτη Kp που βασίζεται σε λογαριθμική κλίμακα στον γραμμικό δείκτη ap

Ο ημερήσιος δείκτης Ap προκύπτει από τον μέσο όρο των οκτώ δεικτών ap για μία ημέρα.

1.14.2 Ο γεωμαγνητικός δείκτης Dst

Οι γεωμαγνητικές διαταραχές που χαρακτηρίζονται από τη μείωση της συνιστώσας H του γεωμαγνητικού πεδίου, που έχει κατεύθυνση προς το Βορρά, σε μεσαία γεωμαγνητικά πλάτη ονομάζονται γεωμαγνητικές καταιγίδες. Για την ποσοτικοποίηση της μείωσης αυτής, εισήχθηκε ο ωριαίος δείκτης Dst (Disturbance storm time). Ο δείκτης αυτός καταγράφεται από μαγνητομετρικούς σταθμούς που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό, αλλά όχι τόσο κοντά ώστε να επηρεάζονται από τα ηλεκτρικά μαγνητοσφαιρικά ρεύματα της ισημερινής περιοχής. Σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη, η οριζόντια και η κάθετη ένταση των γεωμαγνητικών διαταραχών επηρεάζονται άμεσα το δακτυλιδειδές μαγνητοσφαιρικό ρεύμα. Ο δείκτης Dst είναι ένα άμεσο μέτρο μέτρησης της ωραίας μέσης τιμής αυτών των διαταραχών. Μεγάλες μειώσεις στη συνιστώσα H είναι ενδείξεις για την αύξηση της έντασης του δακτυλιδειδούς ρεύματος και κυρίως εμφανίζονται σε χρονικές κλίμακες περίπου μίας ώρας. Η μείωση της έντασης αυτής μπορεί να διαρκέσει περισσότερο, μέχρι και μία ή δύο ημέρες. Ο δείκτης Dst έχει κατηγοριοποιηθεί σε 5 επίπεδα όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Για τιμή του δείκτη μικρότερη από -100nT θεωρούμε ότι έχουμε

καταιγίδα, ενώ δεν είναι λίγοι αυτοί που θεωρούν καταιγίδα για Dst μικρότερο από -50nT.

Τιμές δείκτη Dst (nT)	$Dst \geq 0$	$0 > Dst > -20$	$-20 \geq Dst > -50$	$-50 \geq Dst > -100$	$-100 \geq Dst$
Επίπεδο δείκτη Dst	Ι0	I	II	III	IV

Πίνακας 1.3 Οι τιμές του δείκτη Dst και τα επίπεδα του δείκτη Dst που αντιστοιχούν σε κάθε εύρος τιμών (συνήθης διαχωρισμός)



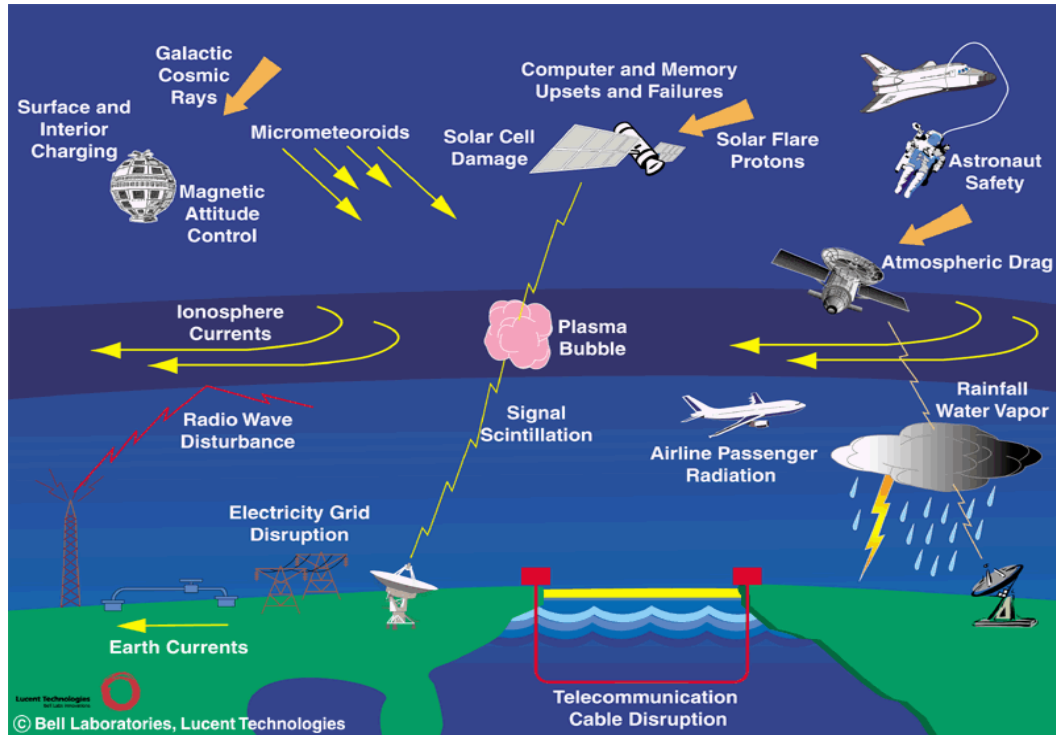
Εικόνα 1.22 Παράδειγμα Dst δείκτη 4-6 Οκτώβριος 2000.

Στην παρούσα εργασία θεωρήσαμε ως γεωμαγνητική καταιγίδα, όταν ο *dst* δείκτης ήταν μικρότερος από -80nT . Συνήθως γίνεται ο διαχωρισμός όπως αναφέρθηκε στον παραπάνω πίνακα, ενώ άλλοι διαχωρισμοί είναι επίσης αποδεκτοί και συνηθισμένοι (*Anh et. al, 2005*).

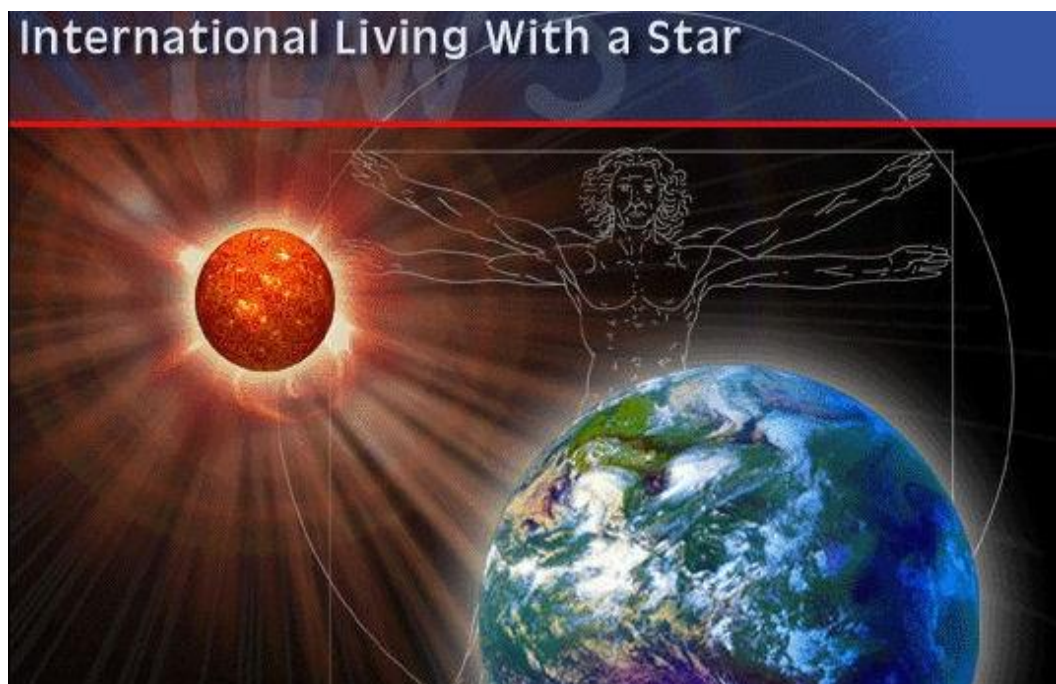
1.15 Διαστημικός καιρός

Σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Διαστημικού Καιρού των Ηνωμένων Πολιτειών, ο διαστημικός καιρός αναφέρεται στις συνθήκες στον Ήλιο και στον ηλιακό άνεμο, στη μαγνητόσφαιρα, την ιονόσφαιρα και την θερμόσφαιρα που μπορούν να επιδράσουν την επίδοση και αξιοπιστία των δορυφορικών και επίγειων τεχνολογικών συστημάτων και μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και υγεία (<http://www.nswp.gov/>). Είναι ενδιαφέρον ότι ο διαστημικός καιρός μπορεί να επιδράσει πτυχές της ανθρώπινης ζωής και υγείας (*StoupeI, 2006a*). Το έτος 1989, μια γεωμαγνητική καταιγίδα (*Ground Level Enhancement- GLE*) παρήγαγε κύματα τα οποία προκάλεσαν διακοπή της παροχής ρεύματος στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του *Quebec* (*Bolduc, 2002*). Οι επιπτώσεις το διαστημικού καιρού στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο, από αυτή την άποψη οι άνθρωποι που ζουν στα ψηλότερα υψόμετρα μπορούν να εκτίθενται σε αρκετά μεγαλύτερη ένταση κοσμικής κτινοβολίας από αυτή στην επιφάνεια της θάλασσας και τα πληρώματα αεροσκαφών μεγάλων αποστάσεων μπορούν να αυξάνουν σημαντικά την ετήσια έκθεσή τους σε ιοντίζουσα ακτινοβολία εξαιτίας αυτής της πηγής (*Beck et al., 2007*). Οι ενδεχόμενες επιπτώσεις υγείας όπως η εμφάνιση καταρράκτη στα μάτια και η αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου στα πληρώματα αεροσκαφών, έχουν απασχολήσει πολλούς ερευνητές (*Kagami et al., 2009; Reynolds et al., 2002*). Επίσης, καθώς η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας είναι πολύ υψηλότερη έξω από την ατμόσφαιρα της Γης και του μαγνητικού πεδίου της, αναμένεται να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην υγεία των αστροναυτών και γι αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό των αεροσκαφών που μπορούν με ασφάλεια να μεταφέρουν ανθρώπους στο διαστημα. Τελειώνοντας, αξίζει να αναφερθεί μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε απ' το πανεπιστήμιο της *Alabama* στο

Birmingham και κατέληξε ότι η κοσμική ακτινοβολία σχετίζεται με την εμφάνιση αθηρωμάτωσης (Yu *et al.*, 2011).



Εικόνα 1.23 Διαστημικός καιρός



Εικόνα 1.24. Διαστημικός καιρός και άνθρωπος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ

2. Η Καρδιά

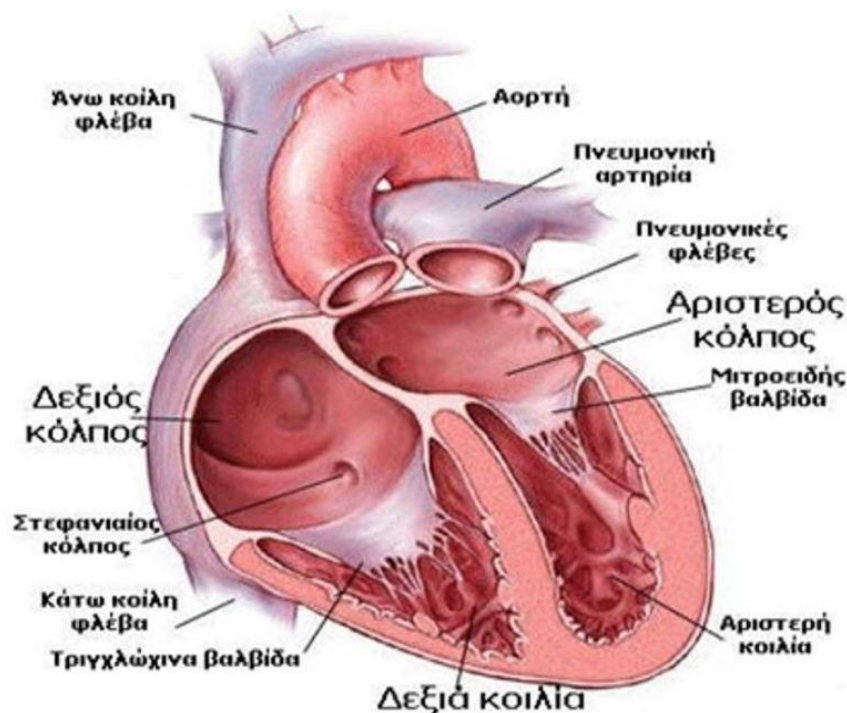
Η μελέτη της ανατομίας και της φυσιολογίας της ανθρώπινης καρδιάς είναι απαραίτητη προκειμένου να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς με τους οποίους οι εξωτερικοί παράγοντες όπως η κοσμική ακτινοβολία και η γεωμαγνητική δραστηριότητα, επιδρούν στην λειτουργία φυσιολογικών ανθρώπινων παραμέτρων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν στοιχειώδεις γνώσεις, αναφορικά με την δομή και τη λειτουργία της ανθρώπινης καρδιάς, μιας και η φυσιολογική παράμετρος που μας απασχόλησε στην παρούσα εργασία ήταν ο καρδιακός ρυθμός.

2.1 Ανατομία της καρδιάς

Η καρδιά είναι ένα όργανο- μυς που αντλεί το αίμα μέσω των αιμοφόρων αγγείων με ρυθμικές συστολές και αποτελείται από τον καρδιακό μυ και συνδετικό ιστό. Ο καρδιακός μυς είναι ένας ακούσιος γραμμωτός μυϊκός ιστός που υπάρχει αποκλειστικά σε αυτό το όργανο και είναι υπεύθυνος για την ικανότητα της καρδιάς να αντλεί αίμα. Ζυγίζει περίπου 250-300g στις γυναίκες και 300-350g στους άνδρες¹. Η καρδιά βρίσκεται σε πρόσθια θέση από τη σπονδυλική στήλη και σε οπίσθια από το στέρνο. Περιέχεται σε ένα σάκο με διπλά τοιχώματα που ονομάζεται περικάρδιο. Αυτός ο σάκος προστατεύει την καρδιά στηρίζει τις γύρω δομές και αποτρέπει την

¹ Kumar V., Abbas A., Fausto N.: Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease, 7th Ed. p. 556.

υπερπλήρωση της καρδιάς με αίμα. Το εξωτερικό τμήμα της ανθρώπινης καρδιάς αποτελείται από τρία στρώματα, το επικάρδιο, το μυοκάρδιο και το ενδοκάρδιο ². Η ανθρώπινη καρδιά αποτελείται από τέσσερις θαλάμους, δύο κόλπους και δύο κοιλίες. Οι κόλποι είναι οι θάλαμοι που δέχονται το αίμα ενώ οι κοιλίες είναι τα σημεία "εκφόρτωσης". Η οδός του αίματος μέσα από την ανθρώπινη καρδιά αποτελείται από ένα πνευμονικό σύστημα κυκλοφορίας (πνευμονική κυκλοφορία). Το μη οξυγονωμένο αίμα ρέει στην καρδιά μέσω μιας κατεύθυνσης και εισέρχεται από την άνω κοίλη φλέβα μέσα στον δεξιό κόλπο κι από εκεί αντλείται από την τριγλώχινα βαλβίδα μέσα στην δεξιά κοιλία πριν αντληθεί έξω από την πνευμονική βαλβίδα στις πνευμονικές αρτηρίες και συνεπώς στους πνεύμονες. Το αίμα επιστρέφει από τους πνεύμονες, πλούσιο σε οξυγόνο, με τις πνευμονικές φλέβες στον αριστερό κόλπο όπου και αντλείται μέσω της μιτροειδούς βαλβίδας στην αριστερή κοιλία πριν αφεθεί με την αορτική βαλβίδα στην αορτή ^{3,4}.



Εικόνα 2.1 Ανατομία της καρδιάς

² Κρεμαστινός Θ. Κλινική Καρδιολογία, τόμος I

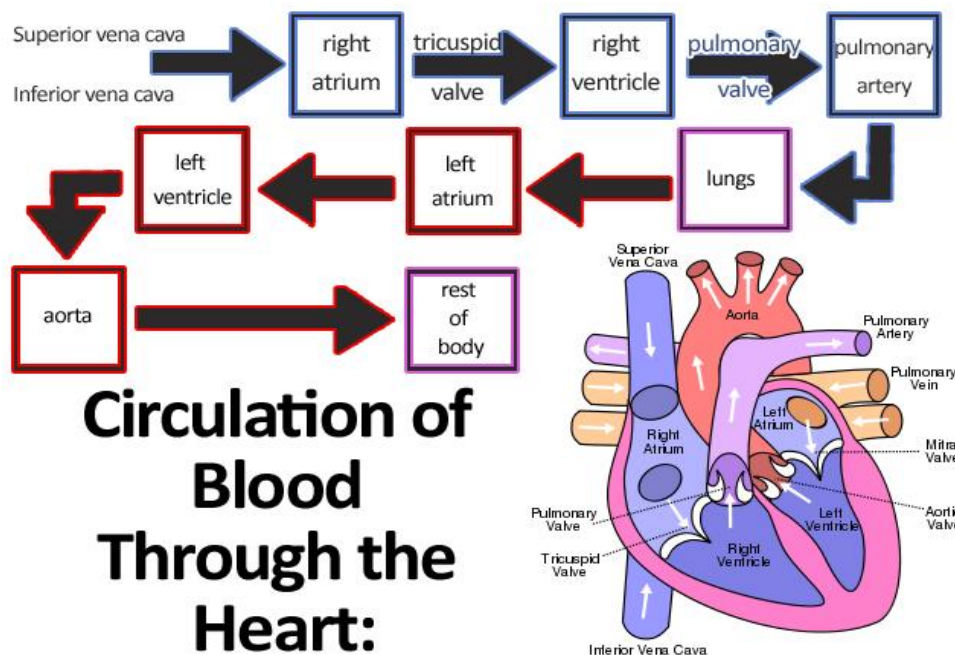
³ Emergency Medical Responder 3rd Can Ed. Pearson, 2010 p. 131

⁴ Marieb, Elaine Nicpon. Human Anatomy & Physiology. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2003.

2.2 Λειτουργία της καρδιάς

Στον άνθρωπο, όπως και σε όλα τα θηλαστικά, η λειτουργία της δεξιάς πλευράς της καρδιάς αφορά στη συλλογή του μη οξυγονωμένου αίματος, στον δεξιό κόλπο από το σώμα μέσω της άνω και κάτω κοίλης φλέβας και το διοχετεύει μέσω της τριγλώχινας βαλβίδας μέσω της δεξιάς κοιλίας στους πνεύμονες (πνευμονική κυκλοφορία), έτσι το διοξειδίο του άνθρακα μειώνεται και το οξυγόνο αυξάνεται (ανταλλαγή αερίων). Αυτό συμβαίνει μέσω διαδικασίας παθητικής διάχυσης. Η αριστερή πλευρά της καρδιάς συλλέγει το οξυγονωμένο αίμα από τους πνεύμονες στον αριστερό κόλπο. Από τον αριστερό κόλπο το αίμα μετακινείται στην αριστερή κοιλία μέσω της διγλώχινας βαλβίδας ή μητροειδούς όπως λέγεται συνήθως, η οποία το αντλεί έξω προς το υπόλοιπο σώμα, μέσω της αορτής. Και από τις δύο πλευρές οι κατώτερες κοιλίες είναι παχύτερες και δυνατότερες από τον άνω κόλπο. Ο μυϊκός τοίχος που περιτριγυρίζει την αριστερή κοιλία είναι παχύτερος από εκείνον που περιτριγυρίζει την δεξιά κοιλία εξαιτίας της υψηλότερης δύναμης που απαιτείται για να διοχετεύσει το αίμα στην συστηματική κυκλοφορία.

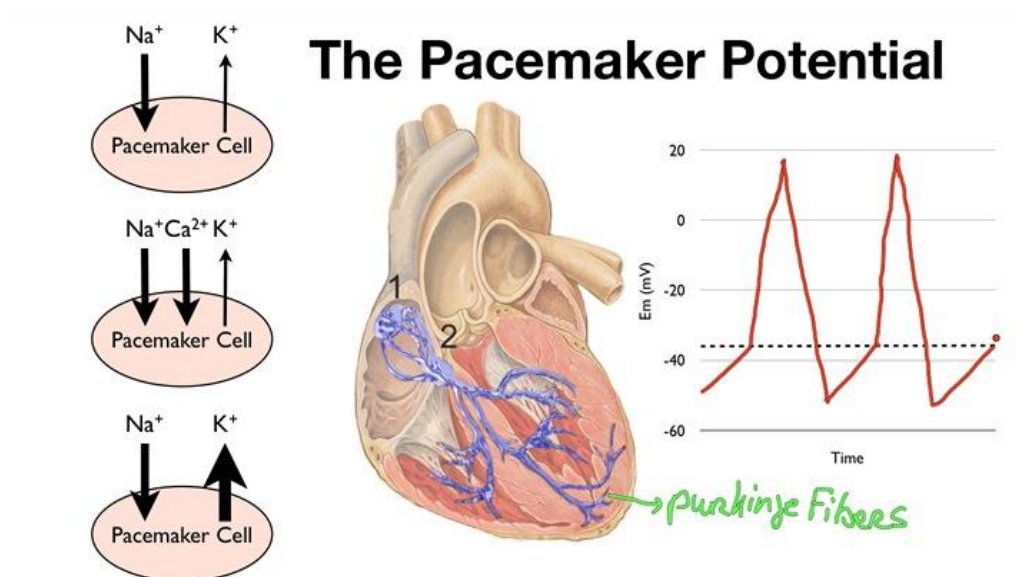
Αναλυτικότερα ξεκινώντας από τον δεξιό κόλπο, το αίμα ρέει μέσω της τριγλώχινας βαλβίδας στην δεξιά κοιλία. Εκεί αντλείται έξω από την πνευμονική βαλβίδα και ταξιδεύει μέσω της πνευμονικής αρτηρίας προς τους πνεύμονες. Απο εκεί, το οξυγονωμένο πλέον αίμα επιστρέφει μέσω της πνευμονικής φλέβας στον αριστερό κόλπο. Έπειτα μεταφέρεται μέσω της μητροειδούς βαλβίδας στην αριστερή κοιλία, από όπου και αντλείται με την αορτική βαλβίδα στην αορτή. Η αορτή διακλαδώνεται και το αίμα χωρίζεται σε κύριες αρτηρίες οι οποίες τροφοδοτούν το ανώτερο και κατώτερο μέρος του σώματος. Το αίμα ταξιδεύει στις αρτηρίες σε μικρότερα αρτηριόλια και τελικά σε πολύ λεπτά τριχοειδή τα οποία τροφοδοτούν όλα τα κύτταρα. Το σχετικά μη οξυγονωμένο αίμα, έπειτα, μεταφέρεται στα φλεβίδια τα οποία συνενώνονται στις φλεβες και μετά στις κατώτερες και ανώτερες κοίλες φλέβες και τελικά επιστρέφουν πίσω στον δεξιό κόλπο όπου ξεκινά πάλι η ίδια διαδικασία.



Εικόνα 2.2 Κυκλοφορία του αίματος στην καρδιά

Η καρδιά είναι ένα αποτελεσματικό συγκύτιο, ένα πλέγμα καρδιακών μυικών κυττάρων διασυνδέεται με παραπλήσιες κυτοπλασματικές γέφυρες. Αυτό συνδέει τις ηλεκτρικές διεγέρσεις ενός κυττάρου που απλώνεται σε γειτονικά κύτταρα. Μερικά καρδιακά κύτταρα ερεθίζονται από μόνα τους χωρίς να συμβάλλει κανένα σήμα από το νευρικό σύστημα, ακόμη κι αν μετακινηθούν από την καρδιά και τοποθετηθούν σε καλλιέργεια. Καθένα από αυτά τα κύτταρα αυτά έχουν το δικό τους εγγενή ρυθμό συστολής. Μια περιοχή της ανθρώπινης καρδιάς που ονομάζεται φλεβόκομβος (sinoatrial node) ή βηματοδότης θέτει το ρυθμό και το χρόνο στον οποίο όλα τα καρδιακά μυικά κύτταρα συστέλλονται. Ο φλεβόκομβος γεννά ηλεκτρικούς παλμούς, όπως εκείνοι που παράγονται από τα νευρικά κύτταρα. Επειδή τα καρδιακά μυικά κύτταρα είναι ηλεκτρικά συζευγμένα με παρένθετους δίσκους μεταξύ γειτονικών κυττάρων, παλμοί από τον φλεβόκομβο διαδίδονται γρήγορα μέσω των τοιχωμάτων του κόλπου, προκαλώντας και τους δύο κόλπους να συστέλλονται σε αρμονία. Οι παλμοί, επίσης, περνούν σε μια άλλη περιοχή από εξειδικευμένο καρδιακό μυικό ιστό, σημείο που ονομάζεται κολποκοιλιακός κόμβος και βρίσκεται στο τοίχωμα μεταξύ του δεξιού κόλπου και της δεξιάς κοιλίας. Εκεί οι παλμοί καθυστερούν για

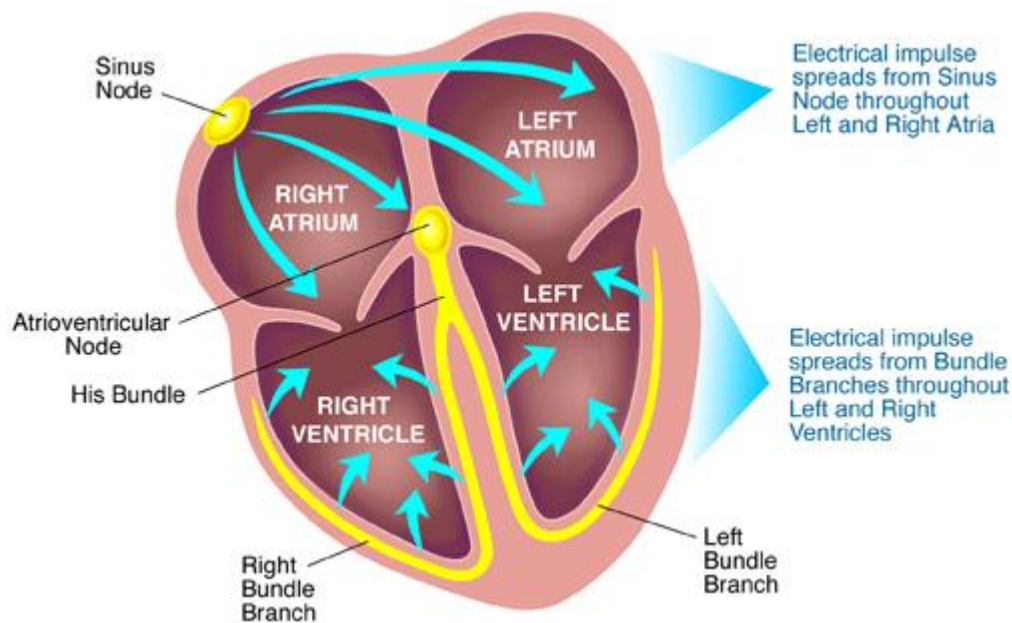
περίπου 0.1sec πριν τη διάδοσή τους στα τοιχώματα των κοιλιών. Η καθυστέρηση αυτή, διασφαλίζει ότι η αρτηρία αδειάζει τελείως πριν οι κοιλίες συσταλλούν. Ειδικές μυικές ίνες (Purkinje fibers) καθοδηγούν τα σήματα στην κορυφή της καρδιάς κατά μήκος και μέσω των κοιλιακών τοιχωμάτων. Ολόκληρος αυτός ο κύκλος αποτελεί έναν και μόνο καρδιακό παλμό που διαρκεί 0.8seconds. Οι παλμοί γεννιούνται κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου παράγοντας ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία καθοδηγούνται μέσω σωματικών υγρών στο δέρμα όπου μπορούν να ανιχνευτούν με ηλεκτρόδια και να καταγραφούν ως ηλεκτροκαρδιογράφημα⁵. Τα γεγονότα που συνδέονται με τη ροή ή την αιματική πίεση που εμφανίζεται από το ξεκίνημα ενός καρδιακού παλμού έως το ξεκίνημα του επόμενου αναφέρεται ως καρδιακός κύκλος⁶.



Εικόνα 2.3 Φλεβόκομβος ο φυσικός βηματοδότης

⁵ Campbell, Reece-Biology, 7th Ed. p.873,874

⁶ Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006) Textbook of Medical Physiology (11th ed.)



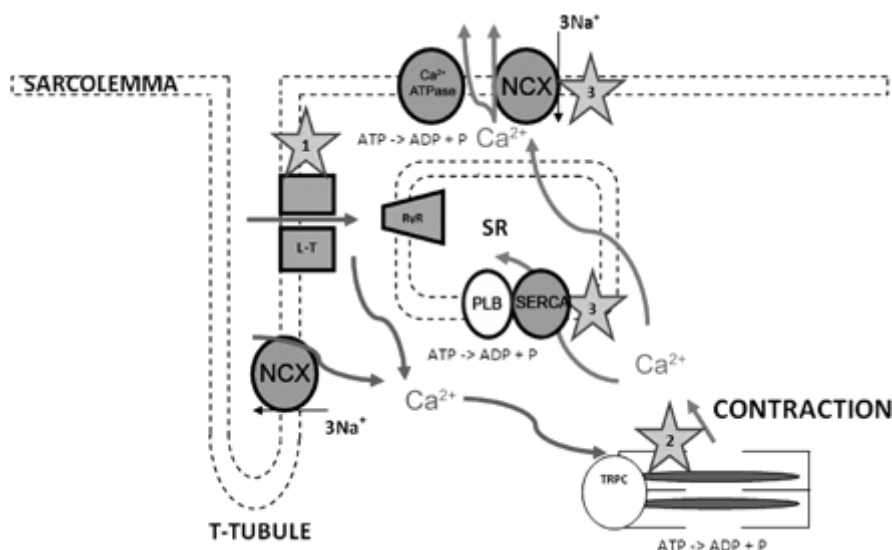
Εικόνα 2.4 Μηχανισμός δημιουργίας καρδιακού παλμού

Η ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου αποτελεί βασική προϋπόθεση προκειμένου να επιτευχθεί η συστολή του καρδιακού μυός. Η διέγερση πραγματοποιείται από το Σύστημα Παραγωγής και Αγωγής της Διέγερσης που αποτελείται από τον φλεβόκομβο και χαρακτηρίζεται ως πρωτεύον κέντρο και από τα δευτερεύοντα κέντρα τα οποία είναι ο κολποκοιλιακός κόμβος το δεμάτιο του His, τα σκέλη του δεματίου (αριστερό- δεξιό) και οι ίνες του Purkinje. Τα κύτταρα που συγκροτούν το σύστημα παραγωγής και αγωγής της διέγερσης χαρακτηρίζονται από αυτοματισμό, έχουν δηλαδή την ικανότητα αυτόματης ηλεκτρικής διέγερσης η οποία επιτυγχάνεται με μετατροπή της βιοχημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου εξαπλώνεται από τον φλεβόκομβο προς το μυοκάρδιο των κόλπων και στη συνέχεια διαμέσου του συστήματος αγωγής φτάνει στο μυοκάρδιο των κοιλιών.

Τα φλεβοκομβικά κύτταρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα αυτόματης διέγερσης από τα κύτταρα των άλλων κέντρων του συστήματος παραγωγής και αγωγής της διέγερσης και επιβάλλουν το φλεβοκομβικό ρυθμό.

2.3 Καρδιά και καρδιακός παλμός

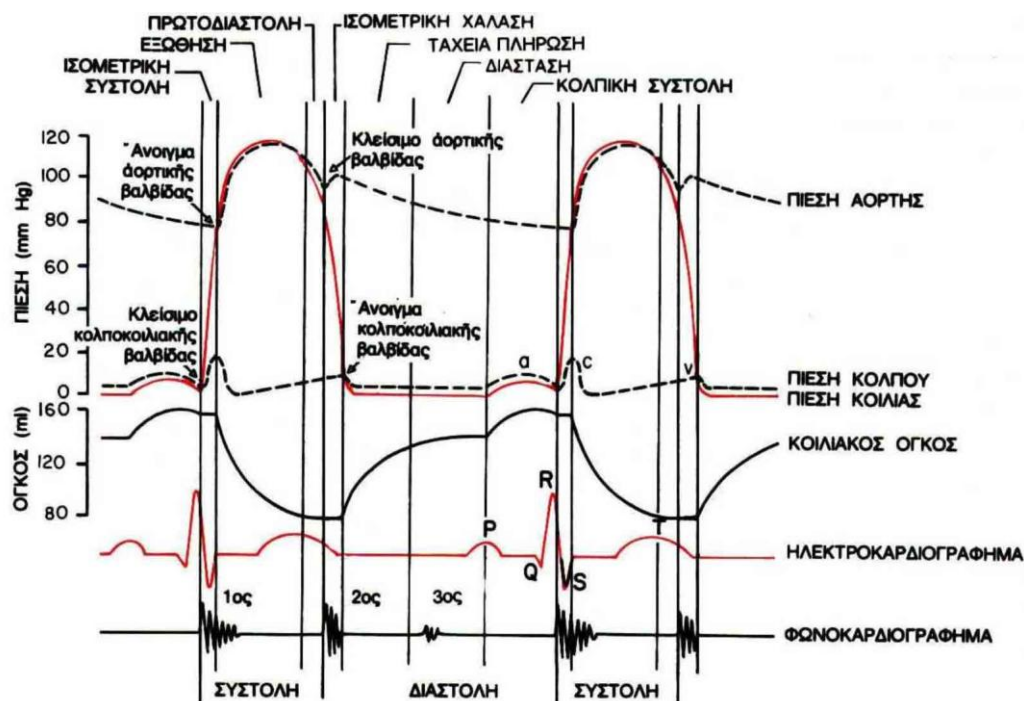
Κατά τη ρυθμική συστολή της καρδιάς τα ιόντα ασβεστίου μεταφέρουν τον ηλεκτρικό παλμό σε όλα τα καρδιακά κύτταρα και προκαλούν έτσι τον καρδιακό παλμό. Η ηλεκτρική φύση της λειτουργίας αυτής καθιστά πιθανή την επίδραση των εξωτερικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην καρδιακή λειτουργία (Cherry, 2002). Στην καρδιά οι ηλεκτρικοί αυτοί παλμοί μετατρέπονται σε καρδιακούς. Κάθε ηλεκτρικός παλμός παράγει έναν καταρράκτη από ιόντα ασβεστίου τα οποία τελικά οδηγούν στη σύσπαση του καρδιακού μυός. Το ηλεκτροκαρδιογράφημα αποτελεί την ιατρική μέθοδο για καταγραφή και έλεγχο της καρδιακής λειτουργίας.



Εικόνα 2.5 Μηχανισμός ενεργοποίησης του καρδιακού μυ, από την απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου

Όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη ενότητα η χρονική περίοδος από το τέλος μιας συστολής της καρδιάς μέχρι το τέλος της επόμενης συστολής, ονομάζεται καρδιακός παλμός. Ο κάθε καρδιακός παλμός αρχίζει με την αυτόματη γένεση ενός δυναμικού ενέργειας στον φλεβόκομβο. Εξαιτίας της ειδικής διαρρύθμισης του συστήματος αγωγής από τους κόλπους στις κοιλίες, παρατηρείται καθυστέρηση

κάπως μεγαλύτερη από 0,1 sec για τη δίοδο της διέγερσης από τους κόλπους στις κοιλίες. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται στους κόλπους η ευκαιρία να συστέλλονται πριν από τις κοιλίες, με αποτέλεσμα την άντληση αίματος προς τις κοιλίες πριν από την έντονη κοιλιακή συστολή. Έτσι οι κόλποι λειτουργούν σαν εναυσματικές αντλίες για τις κοιλίες, οι οποίες με τη σειρά τους παρέχουν την κύρια πηγή τη δύναμης για την προώθηση του αίματος μέσα από το αγγειακό σύστημα. Ο καρδιακός παλμός αποτελείται από μια περίοδο χάλασης που ονομάζεται διαστολή, κατά τη διάρκεια της οποίας η καρδιά γεμίζει με αίμα, η οποία ακολουθείται από την περίοδο της συστολής. Στην εικόνα 2.5 παριστάνονται τα διάφορα γεγονότα τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του καρδιακού παλμού. Στις άνω τρεις καμπύλες παριστάνονται οι μεταβολές της πίεσης μέσα στην αορτή, μέσα στην αριστερή κοιλία και μέσα στον αριστερό κόλπο αντίστοιχα. Η τέταρτη καμπύλη παριστάνει τις μεταβολές του όγκου των κοιλιών, η πέμπτη είναι το ηλεκτροκαρδιογράφημα και η έκτη είναι το καρδιοφωνογράφημα το οποίο αποτελεί καταγραφή των ήχων που παράγονται από την καρδιά κατά την αντλητική της λειτουργία.



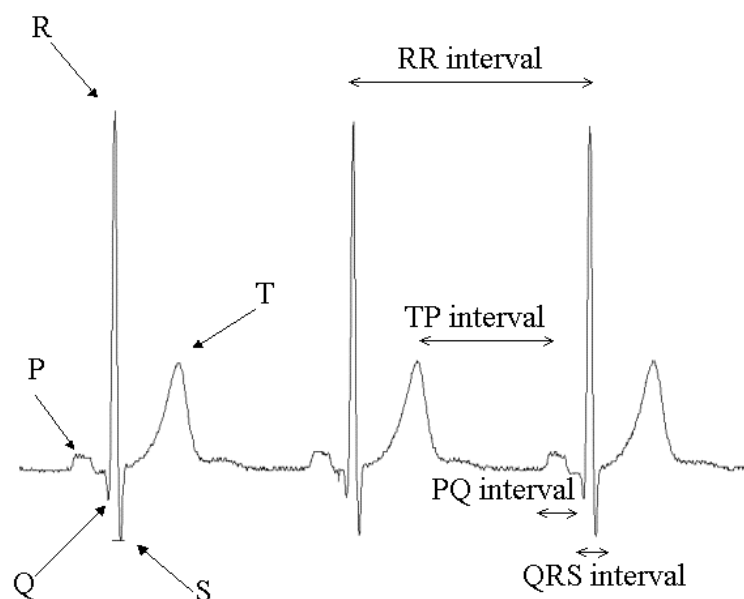
Εικόνα 2.6 Τα φαινόμενα του καρδιακού κύκλου, με τις μεταβολές της πίεσης στον αριστερό κόλπο, την αριστερή κοιλία και την αορτή, τις μεταβολές του όγκου των κοιλιών, το ηλεκτροκαρδιογράφημα και το φωνοκαρδιογράφημα.

2.4 Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι μια διαθωρακική αναπαράσταση της ηλεκτρικής λειτουργίας της καρδιάς, για μια χρονική περίοδο, όπως ανιχνεύεται από ηλεκτρόδια που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του δέρματος και καταγράφονται από ειδική εξωτερική συσκευή. Τα ηλεκτρικά δυναμικά, τα οποία παράγονται από την καρδιά, καταγράφονται με τον ηλεκτροκαρδιογράφο από την επιφάνεια του σώματος και έχουν μια κανονική περιοδικότητα που ελέγχεται από τον φλεβόκομβο από όπου προέρχεται και η αρχική διέγερση. Ο φλεβόκομβος ελέγχει την καρδιακή λειτουργία όσον αφορά τη συχνότητα, γιατί η συχνότητα της ρυθμικής του διέγερσης είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα αυτοδιέγερσης οποιουδήποτε άλλου τμήματος της καρδιάς. Γι' αυτό το λόγο ο φλεβόκομβος θεωρείται ο φυσικός βηματοδότης της καρδιάς. Το ηλεκτροκαρδιογράφημα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ρυθμού και της κανονικότητας των καρδιακών παλμών, καθώς επίσης και του μεγέθους και της θέσης των θαλάμων, την παρουσία οποιασδήποτε καταστροφής της καρδιάς και τις επιπτώσεις φαρμάκων ή συσκευών που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της καρδιακής λειτουργίας (βηματοδότες).



Εικόνα 2.7 Holter monitor

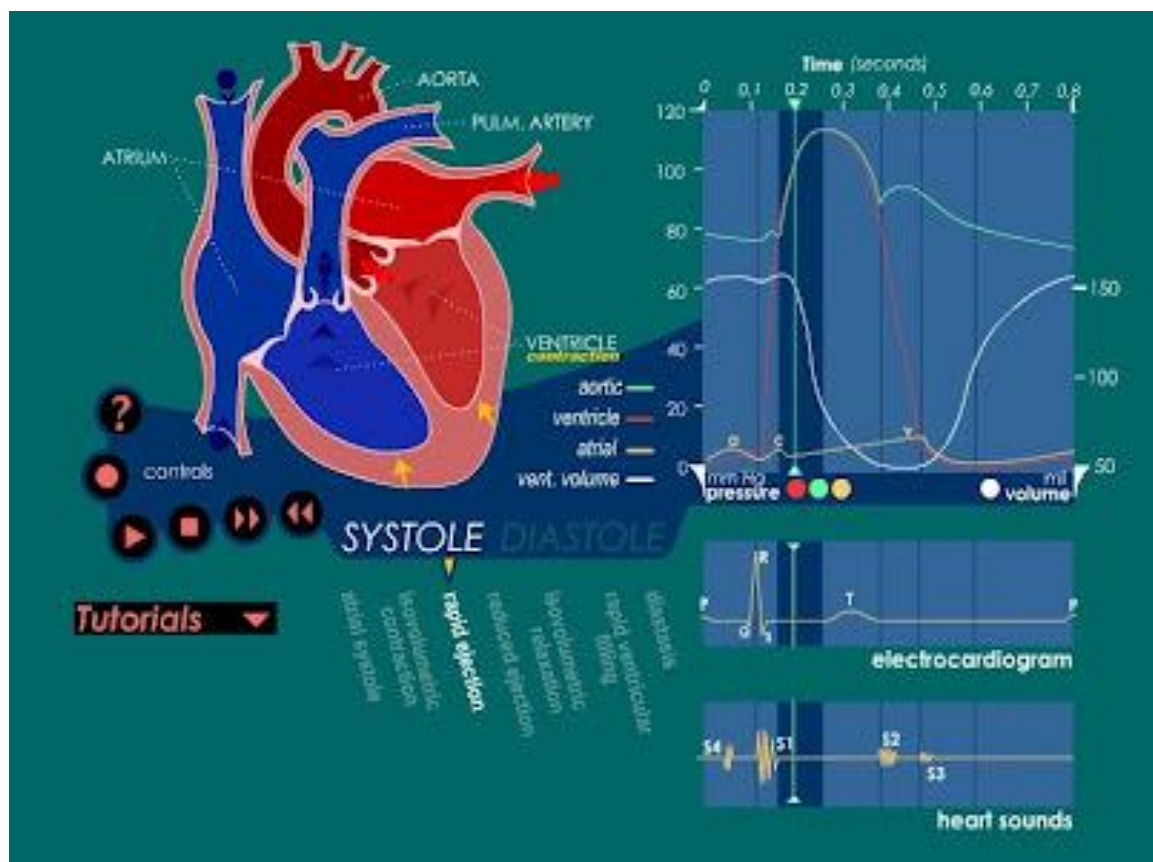


Εικόνα 2.8 Συνηθισμένη μορφή ΗΚΓ με 3 καρδιακούς παλμούς. Με βέλη υποδεικνύονται οι χαρακτηριστικές συνιστώσες και τα χρονικά διαστήματα (Πηγή: <http://www.cbi.dongnocchi.it>)

Ο ρυθμός της καρδιακής λειτουργίας μπορεί να καθοριστεί εύκολα από το ηλεκτροκαρδιογράφημα, γιατί το χρονικό διάστημα που περιβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών καρδιακών παλμών είναι το αντίστροφο του καρδιακού ρυθμού. Για παράδειγμα, εάν το χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών καρδιακών παλμών όπως καθορίζεται από τις γραμμές βαθμονόμησης στο ΗΚΓ είναι 1 sec, τότε ο καρδιακός ρυθμός είναι 60 καρδιακοί παλμοί το λεπτό. Ο καρδιακός ρυθμός (Heart Rate – HR) είναι η συχνότητα των καρδιακών παλμών και μπορεί να κυμανθεί από 60 έως και 100 καρδιακούς παλμούς το λεπτό (beats per minute – bpm) για έναν υγιή ενήλικα σε κατάσταση ξεκούρασης. Τα παιδιά έχουν υψηλότερο ρυθμό HR μέχρι και 120 bpm, ενώ αντίθετα ένας αθλητής σε καλή φυσική κατάσταση μπορεί να έχει ακόμα και 40-50 bpm.

Το έπαρμα R είναι μια πολύ χαρακτηριστική μορφή ενός ΗΚΓ με το ηλεκτρικό δυναμικό να καταγράφει την υψηλότερη τιμή του κατά τη φάση εκπόλωσης των κοιλιών πριν από τη συστολή τους. Στην Εικόνα 2.7 φαίνεται μια ακόμα συνηθισμένη μορφή ηλεκτροκαρδιογραφήματος, όπου φαίνεται και το διάστημα R-R (RR interval) που είναι το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κορυφές R όπως καταγράφονται σε ένα ΗΚΓ. Οι μετρήσεις του

διαστήματος RR έχουν ιδιαίτερη καρδιολογική σημασία στη μελέτη και την πρόγνωση καρδιακών παθήσεων όπως σε άτομα χωρίς προηγούμενο ιστορικό (Whitsel et al., 2001), την καρδιακή αρρυθμία (Garcia and Miller, 2004; Tsipouras et al., 2005) και τη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού (Heart Rate Variability – HRV) (Sandercock G., 2008). Η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για την καρδιακή υγεία: μειώσεις στο HRV μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση καρδιακών παθήσεων, όπως η στεφανιαία νόσος και τα εμφράγματα του μυοκαρδίου.



Εικόνα 7.9 Η καρδιά και απεικονίσεις από ιατρικές εξετάσεις

2.5 Υγείας Καρδιά

Η παχυσαρκία, η υψηλή αρτηριακή πίεση και η υψηλή χολεστερόλη ενδέχεται να αυξάνουν το ρίσκο για ανάπτυξη καρδιακής νόσου. Παρ' όλο που το 50% αυτών που παθαίνουν καρδιακές προσβολές έχει φυσιολογικά επίπεδα χοληστερίνης. Η καρδιακές νόσοι αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα θνησιμότητας στον πληθυσμό και τον σημαντικότερο στον δυτικό κόσμο⁷. Βέβαια κανείς θα πρέπει να λάβει υπόψιν του και άλλους παράγοντες όπως ο τρόπος ζωής, οι συνήθειες, η άσκηση και η διατροφή⁸ καθώς επίσης και η γενική υγεία και κατάσταση του ατόμου (ψυχική-συναισθηματική-κοινωνική και φυσική).

2.6 Ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες εκπομπής του ανθρώπινου σώματος και περιβάλλον

Το ανθρώπινο καρδιαγγειακό σύστημα παράγει πεδία με χαρακτηριστική συχνότητα στα 1.1Hz, η οποία αντιστοιχεί στον καρδιακό ρυθμό. Η φασματική ανάλυση των συχνοτήτων του καρδιαγγειακού συστήματος που κυμαίνονται από 0.01 έως 2.5 Hz ενδεχομένως να οδηγήσει σε βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος και της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον. Πολλές μελέτες έχουν συσχετίσει τις διάφορες περιοχές του φάσματος με χαρακτηριστικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος και συγκεκριμένες παθήσεις του καρδιαγγειακού συστήματος (Stefanovska *et al.*, 2001; Ponomarenko *et al.*, 2009). Λαμβάνοντας υπόψη μας ότι τα διάφορα εξωτερικά πεδία μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές σε τεχνητούς βηματοδότες (Altamura *et.al*, 1997), πιθανώς θα έχουν επίδραση και στη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού.

⁷ Division of Vital Statistics; Arialdi M. Miniño, M.P.H., Melonie P. Heron, Ph.D., Sherry L. Murphy, B.S., Kenneth D. Kochanek, M.A. (2007-08-21). "Deaths: Final data for 2004" (http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr55/nvsr55_19.pdf). National Vital Statistics Reports (United States: Center for Disease Control) 55 (19): 7. Retrieved 2012-10-30.

⁸ "Eating for a healthy heart" (<http://www.medicineweb.com/nutrition-/eating-for-a-healthy-heart>). MedicineWeb. . Retrieved 2012-10-30.

Το φαινόμενο του συντονισμού παίζει σπουδαίο ρόλο στη σύνδεση των γεωμαγνητικών παραμέτρων με τις φυσιολογικές. Κάποιες συχνότητες εξωτερικών σημάτων ενδεχομένως να αλληλεπιδρούν ισχυρά με τις συχνότητες των εσωτερικών ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός (*Kolesnik et., al 2003*). Μία προσέγγιση εξετάζει το μηχανισμό με τον οποίο αναπτύσσονται μη-γραμμικές δυνάμεις στο ζωντανό ιστό οι οποίες προέρχονται από την αλληλεπίδραση μη ομογενών DC μαγνητικών πεδίων με τη μαγνητική επιδεκτικότητα του ιστού (*Dorfman, 1971*).

2.7 Αλληλεπίδραση ιονίζουσας ακτινοβολίας με την ύλη

Ιονίζουσα καλείται η ακτινοβολία που μπορεί να προκαλέσει ιονισμό με άμεσο ή έμμεσο τρόπο. Οι ακτινοβολίες αυτές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας. Προέρχονται από το διάστημα, από τη ΓΗ, τον αέρα, το νερό και την τροφή μας, ενώ τις χρησιμοποιούμε κατα κόρον στις ιατρικές εφαρμογές. Οι ακτινοβολίες και η προστασία από αυτές αποτελούν μείζον θέμα τη σημερινή εποχή, όμως για να μπορέσουμε να εξετάσουμε τις ενδεχόμενες βλαπτικές επιδράσεις τους για τον άνθρωπο θα πρέπει να κατανοήσουμε τα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα πίσω από αυτές. Η κοσμική ακτινοβολία συγκαταλέγεται στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, συνεπώς θα πρέπει να αναφερθούμε στους τρόπους με τους οποίους γίνεται αλληλεπίδραση με την ύλη, καθώς με τον όρο αλληλεπίδραση εννοείται τόσο η αλλαγή στην διερχόμενη από την ύλη ακτινοβολία όσο και στην ύλη αυτή καθ'αυτή.

2.7.1 Αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ύλη

Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από σωμάτια- φορτισμένα και μη που αλληλεπιδρούν με την ύλη και προκαλούν ιονισμό της άμεσα και έμμεσα αντίστοιχα. Τα σωμάτια που καταγράφονται στη Γη, όπως έχει αναφερθεί και στι κεφάλαιο I,

είναι κυρίως δευτερογενή σωμάτια που παράγονται όταν τα πρωτογενή αντιδράσουν με συστατικά της ατμόσφαιρας. Οι δευτερογενείς κοσμικές ακτίνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια(νουκλεονική συνιστώσα) κατά 1-2%, μεσόνια (σκληρή συνιστώσα) κατά 80%, ηλεκτρόνια και φωτόνια (μαλακή συνιστώσα) κατά 18%. Το κάθε είδος σωματιδίου αλληλεπιδρά και διαφορετικά με την ύλη. Τα νετρόνια αλληλεπιδρούν με πυρηνικές δυνάμεις και παράγουν ένα ευρύ φάσμα ανακρουόμενων σωματιδίων και υποατομικών σωματιδίων. Τα διάφορα αυτά σωμάτια αποθέτουν την ενέργειά τους στο υλικό με διαφορετικό τρόπο. Τα νετρόνια απορροφούνται έντονα από τα ελαφριά στοιχεία και συνεπώς έχουν σημαντικές βιολογικές επιδράσεις, αφού ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται κυρίως από ελαφριά στοιχεία. Τα πρωτόνια και άλλοι βαρύτεροι πυρήνες ιονίζουν άμεσα την ύλη. Κατά την αλληλεπίδραση τους με την ύλη σκεδάζονται ελάχιστα από τα ατομικά ηλεκτρόνια και συνεπώς οι τροχιές τους είναι πρακτικά ευθύγραμμες στο υλικό. Οι εμβέλεια τους είναι πολύ μικρή γι αυτό και όταν η ακτινοβολία γίνεται εξωτερικά ο κίνδυνος που προκύπτει είναι αμελητέος, αντίθετα σε περίπτωση εσωτερικής ακτινοβολίας ο κίνδυνος είναι μεγάλος. Τα ηλεκτρόνια αλληλεπιδρούν με την ύλη με όμοιο τρόπο με τα βαριά σωμάτια μόνο που λόγω της μικρής τους μάζας οι τροχιές τους στο υλικό είναι ακανόνιστες κι επίσης χάνουν ενέργεια μέσω ακτινοβολίας πέδης. Τα φωτόνια τέλος, αλληλεπιδρούν με την ύλη με τρεις τρόπους φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, φαινόμενο Compton και δίδυμη γένεση και ο ιονισμός της ύλης γίνεται με εκπομπή ηλεκτρονίων (έμμεσος τρόπος). Για τις ενέργειες που αναφερόμαστε υπερσχύει η δίδυμη γένεση.

2.7.2 Βιολογική δράση της ιονίζουσας ακτινοβολίας

Η ιονίζουσα ακτινοβολία έχει ικανή ενέργεια ώστε να σπάει δεσμούς στα βιολογικά μόρια με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ελεύθερες ρίζες. Οι ελεύθερες ρίζες δρουν στις πρωτεΐνες, στους υδατάνθρακες και στα λίπη προκαλώντας βλάβες. Ενώ ένας από τους πιο ευαίσθητους στόχους στο κύτταρο είναι το DNA. Αλλαγή-αλλοίωση της δομής του DNA μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα αν πρόκειται για

σωματικό κύτταρο το συνεχή πολλαπλασιασμό του ανώμαλου κυττάρου κι αν πρόκειται για γενετικό κύτταρο τη μετάδοση της ανωμαλίας στις επόμενες γενιές.

Τα αποτελέσματα στον ανθρώπινο οργανισμό συνοψίζονται σε δύο κατηγορίες τα στοχαστικά και τα μη στοχαστικά αποτελέσματα. Τα στοχαστικά αποτελέσματα αφορούν σε αυτά που εμφανίζονται σε τυχαία άτομα στον πληθυσμό που ακτινοβολείται. Η τιμή της δόσης δεν επηρεάζει τη σοβαρότητα της βλάβης, αλλά όσο μεγαλύτερη η δόση, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα εμφάνισης της βλάβης. Τα στοχαστικά είναι απώτερα, δηλαδή εκδηλώνονται αφού περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα από την ακτινοβολήση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καρκινογένεση. Τα μη στοχαστικά αποτελέσματα εμφανίζονται όταν η δόση ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή κατωφλίου και είναι απίθανο να συμβούν σε μικρότερες δόσεις. Για δόσεις μεγαλύτερες από αυτήν του κατωφλίου, η σφοδρότητα της βλάβης αυξάνεται όσο αυξάνεται η δόση. Τα μη στοχαστικά αποτελέσματα είναι άμεσα εκδηλώνονται δηλαδή σύντομα μετά την έκθεση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο καταρράκτης του ματιού, η καταστροφή των αιμοφόρων αγγείων και η μείωση της γονιμότητας.

Το βιολογικό αποτέλεσμα της ακτινοβολίας εξαρτάται τόσο από το είδος της ακτινοβολίας όσο και από το είδος του ακτινοβολούμενου ιστού, διαφορετικοί ιστοί απορροφούν διαφορετικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1 Εισαγωγή

Πολλές μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση μεταξύ του διαστημικού καιρού και της ανθρώπινης ομοιόστασης. Αυτό το νέο επιστημονικό πεδίο ονομάστηκε από τον ερευνητή (*Stoupel 2006*) κλινική κοσμοβιολογία. Τέτοιες μελέτες είναι πολύπλοκες καθώς εξαρτώνται από την απάντηση του ανθρώπινου οργανισμού και την κατάσταση της υγείας του ανθρώπου, που μπορεί να επηρεαστεί από ποικίλους παράγοντες και μέσω πολλών διαφορετικών οδών. Κάποιες μελέτες χρησιμοποιούν δεδομένα από σταθμούς ανά τον κόσμο σε περιόδους ακόμη και πολλών ετών (*Stoupel et al., 2011; 2007a; 2007b; 2002*), ενώ άλλες εξετάζουν δεδομένα που αφορούν σε περιόδους με έντονη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα (*Stoupel et al., 1995; Papailiou et al., 2009*). Τα παραπάνω στοιχεία, είτε η μελέτη ανήκει στη μία κατηγορία είτε στην άλλη, συσχετίζονται με ιατρικά δεδομένα που αφορούν είτε σε συγκεκριμένες ομάδες υποκειμένων όπως τα πληρώματα αεροσκαφών (*Papailiou et al., 2012; Mavromichalaki et al., 2011*) είτε σε τυχαίο πληθυσμό (*Ioannidou et al., 2012*).

Όπως σημειώθηκε και προηγουμένως, η ενδεχόμενη συσχέτιση μεταξύ διαστημικού καιρού και ανθρώπινων φυσιολογικών παραμέτρων έχει απασχολήσει πολλούς μελετητές. Συγκεκριμένα, πολλές μελέτες εξέτασαν τον αντίκτυπο γεωμαγνητικών παραγόντων και της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές ανθρώπινες παραμέτρους. Αυτές οι κοσμοφυσικές παράμετροι μπορεί να επιδρούν στην λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος, και έχουν συνδεθεί με εγκεφαλικά επεισόδια, διαταραχές του κερκαδιανού ρυθμού, καθώς και με τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα, κοσμογεωφυσικές παράμετροι

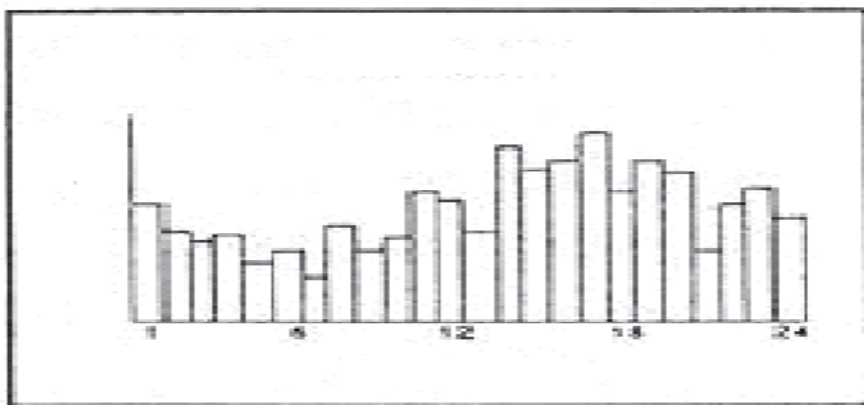
εμφανίζονται να σχετίζονται με την εμφάνιση εγκεφαλικών (Mikulecký and Strestík, 2007). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι η γεωμαγνητική δραστηριότητα επιδρά στην έκκριση μελατονίνης και γι αυτό συνδέεται με αλλαγές στα φυσιολογικά πρότυπα ύπνου (Conesa, 1997; Weydahl et al., 2001). Οι γεωμαγνητικές μεταβολές σχετίζονται με τροχαία ατυχήματα τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με την αυξανόμενη ανησυχία και νευρικότητα των οδηγών (Ascikaliev et al., 1995; Dorman et al, 2001). Επίσης, ο διαστημικός καιρός φαίνεται να επηρεάζει την ανθρώπινη ψυχική κατάσταση (Ventriglio et al, 2011; Perry, 1981). Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες ενδεχομένως παίζουν ρόλο στην εποχιακή αύξηση των επεισοδίων κατάθλιψης σε ευαίσθητα άτομα (Babayev and Allahverdiyeva, 2007). Ομοίως, παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές σε νοσοκομείο με κατάθλιψη και μανιοκατάθλιψη κατά τη διάρκεια της εβδομάδας που ακολουθεί μια γεωμαγνητική καταιγίδα (Kay, 1994). Τέλος, ο αριθμός των μηνιαίων γεννήσεων (και για τα δύο φύλα) συνδέεται με το επίπεδο της μηνιαίας έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των δεικτών της ηλιακής δραστηριότητας 9 μήνες πριν το μήνα της γέννησης (Stoupel et al, 2006b).

Ο καρδιακός ρυθμός είναι μια φυσιολογική παράμετρος που ενδεχομένως αντανακλά την απάντηση του ανθρώπινου σώματος σε εξωτερικά ή εσωτερικά ερεθίσματα. Ο καρδιακός ρυθμός ελέγχεται από τον συνδυασμό νευρικών και χημικών συστατικών στο σώμα και σε γενικές γραμμές είναι γενετικά καθορισμένος. Ποικίλει μεταξύ των ατόμων και μπορεί επίσης να επηρεαστεί από μεταβλητές όπως η ηλικία, το φύλο, ουσίες και φάρμακα, τον τρόπο ζωής, τις μεταβολές της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων καθώς και ασθενειών. (Hopstock et al., 2012; Pal et al., 2012; McNarry et al., 2012; Corsetti et al., 2012). Επίσης, καταστάσεις όπως η έλλειψη ύπνου, ραγδαίες αλλαγές στην χημεία του αίματος, ευερεσθητότητα και άλλα μπορούν να διαφοροποιήσουν τον καρδιακό (Suzuki et al., 2012; Sørensen et al., 2012). Επιπλέον, τα συναισθήματα παίζουν σημαντικό ρόλο, ειδικά σε συνθήκες έντονου άγχους (stress) (Stapelberg et al, 2012). Επιπρόσθετα σε αυτούς τους παράγοντες, διαταραχές σε κοσμοφυσικές παραμέτρους ενδεχομένως παίζουν κάποιο ρόλο στις παρατηρούμενες μεταβολές του καρδιακού ρυθμού.

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών, πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την ενδεχόμενη σχέση μεταξύ διαστημικού καιρού και καρδιαγγειακής ομοιόστασης. Πολλές μελέτες έχουν καταδείξει ότι η γεωμαγνητική

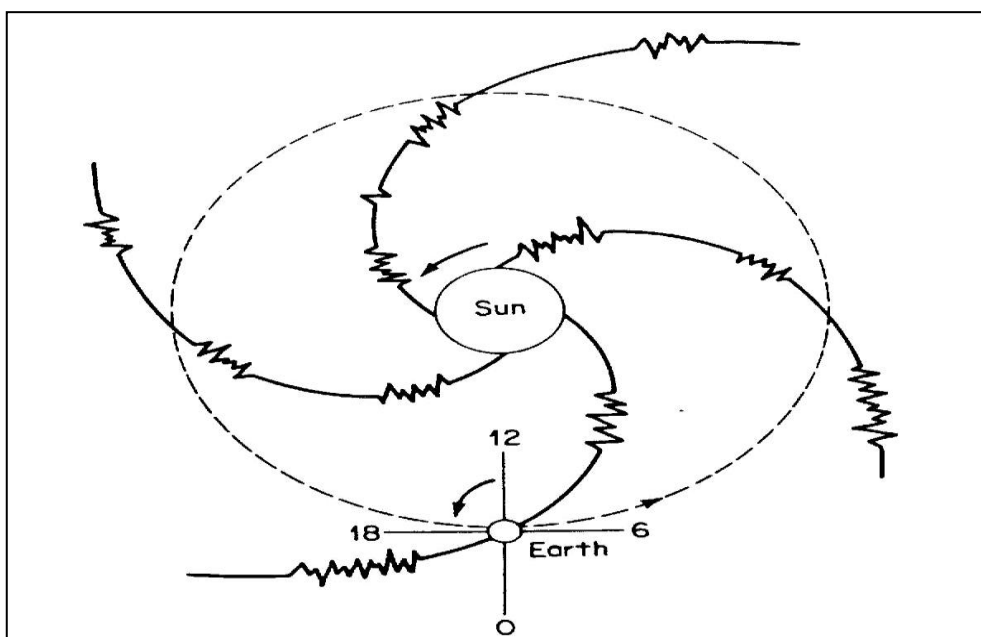
δραστηριότητα (GMA) και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CRI) συνδέονται με μεταβολές σε ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους, όπως ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση του αίματος (*Dimitrova, 2008; 2009b; Mavromichalaki et al., 2008; Papailiou et al., 2011; 2012*). Αξίζει να σημειωθεί ότι γυναίκες και άνδρες φαίνεται να αντιδρούν με διαφορετικούς τρόπους. Οι γυναίκες μοιάζουν πιο ευαίσθητες στις μεταβολές των γεωμαγνητικών πεδίων. Το ίδιο παρατηρείται και σε ασθενείς που ακολουθούν φαρμακευτική αγωγή, κυρίως για υπέρταση (*Dimitrova, 2008*). Επίσης, υπάρχει σύνδεση μεταξύ των παραπάνω παραμέτρων (GMA, CRI) με καρδιαγγειακές παθήσεις, συμπεριλαμβανομένου αρρυθμιών, ισχαιμική καρδιακή πάθηση (στεφανιαία νόσος), και έμφραγμα μυοκαρδίου (*Knox et al., 1979; Villoresi et al., 1994; Baevsky et al, 1997; Dorman et al, 2001; Cornelissen et al., 2002; Stoupel et al., 2002; 2007, Dimitrova 2009a*). Έχει δειχθεί ότι η ημερήσια και μηνιαία παροδική κατανομή των ξαφνικών καρδιακών θανάτων και συνεπώς η θνησιμότητα των ξαφνικών καρδιακών θανάτων είναι μεγαλύτερη στα μέγιστα κι ελάχιστα ημερήσια επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ενώ ο μηνιαίος αριθμός της θνησιμότητας των ξαφνικών θανάτων είναι αντίστροφα συσχετισμένος με την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα. (*Stoupel et al., 2006c*). Επιπλέον, μείωση των παραμέτρων της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού έχει παρατηρηθεί σε περιόδους οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα (*Baevsky et al., 1997; Dimitrova et al., 2009*). Επιπρόσθετα, προτείνεται μια πρόσκαιρη σχέση των περιοδικοτήτων των γεωμαγνητικών φαινομένων του ηλιακού κύκλου και καρδιαγγειακών (*Cornelissen et al., 2005*). Τέλος, εμφράγματα του μυοκαρδίου και καρδιακές αρρυθμίες έχουν συνδεθεί με τις περιοδικότητες της ηλιακής δραστηριότητας (11 ετής κύκλος) και γεωμαγνητικές καταιγίδες, ενώ άλλοι έχουν παρατηρήσει σχέση μεταξύ της αντιστροφής πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου και ποικίλων τύπων αρρυθμιών (*Giannaropoulou et al., 2012*).

Ένας ακόμη παράγοντας του διαστημικού καιρού που έχει απασχολήσει τους ερευνητές, είναι η ημερήσια ανισοτροπία της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία. Η ημερήσια ανισοτροπία έχει βρεθεί να είναι μια μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια κάθε ημέρας (*Nagashima et al., 1971*), που ακολουθεί ένα ημιτονοειδές κύμα που φτάνει στο μέγιστό του τις πρώτες απογευματινές ώρες (Σχήμα 3.1) (*Mavromichalaki, 1989*).



Εικόνα 3.1 Ημερήσια ανισοτροπία κοσμικής ακτινοβολίας

Το φαινόμενο αυτό πιστεύεται ότι προκαλείται από τις ανισοτροπίες χώρου, έξω από την ατμόσφαιρα και το μαγνητικό πεδίο της Γης. Το σπειροειδές μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο, ώστε το αέριο των ισοτροπικών κοσμικών ακτίνων διαταράσσεται από το γεωμαγνητικό πεδίο και γι αυτό αποκτά ταχύτητα της τάξης αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της τροχιάς της Γης, ώστε η ένταση που έρχεται από τη διεύθυνση των 90° ανατολικά της γραμμής Ηλίου- Γης να αυξάνεται, ενώ η ένταση στην αντίθετη διεύθυνση, μειώνεται (Σχήμα 3.2).



Εικόνα 3.2 Το σπειροειδές μαγνητικό πεδίο το οποίο περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο

Αρκετές ανθρώπινες φυσιολογικές παράμετροι εμφανίζουν μια περιοδική ταλάντωση 24 ωρών, γνωστή ως κιρκαδιανό ρυθμό. Ο καρδιακός ρυθμός, επίσης, έχει βρεθεί ότι ακολουθεί κάποιο κιρκαδιανό ρυθμό (*Deagute et al., 1991*). Τα επίπεδα κατεχολαμινών στο πλάσμα και συνεπώς ο καρδιακός ρυθμός έχει παρατηρηθεί ότι είναι υψηλότερα νωρίς το πρωί, αμέσως μετά το ξύπνημα. Επιπλέον, οι πρωινές ώρες έχουν συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης αρνητικών καρδιαγγειακών επεισοδίων. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία, αυτή η σύνδεση προέρχεται από τον συνδυασμό του κύκλου του ύπνου και του ενδογενούς κιρκαδιανού ρυθμού, τα οποία τροποποιούν την καρδιακή λειτουργία στους ανθρώπους οδηγώντας σε αυξανόμενη καρδιακή ευπάθεια (*Boudreau, 2012*). Ο καρδιακός ρυθμός ποικίλει μεταξύ των ατόμων κι επηρεάζεται από μια σειρά ενδογενών κι εξωγενών παραμέτρων. Για παράδειγμα η ηλικία, το φύλο, ουσίες και φάρμακα καθώς και ο τρόπος ζωής, μετεωρολογικές παράμετροι και η γενική κατάσταση υγείας μπορούν να επιδράσουν στον καρδιακό ρυθμό (*Hopstock et al., 2012; Pal et al., 2012; McNarry et al., 2012; Corsetti et al., 2012*). Επίσης καταστάσεις όπως η έλλειψη ύπνου και οι ραγδαίες αλλαγές στη χημεία του αίματος, είναι παράμετροι που μπορούν να διαφοροποιήσουν τον καρδιακό ρυθμό (*Suzuki et al., 2012; Sørensen et al., 2012*). Εκτός από αυτούς τους παράγοντες, διαταραχές σε κοσμοφυσικές παραμέτρους μπορεί να παίζει κάποιο ρόλο στις παρατηρούμενες μεταβολές του ανθρώπινου καρδιακού ρυθμού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες εξετάσαμε την ενδεχόμενη σχέση μεταξύ της ημερήσιας μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και του καρδιακού ρυθμού. Για αυτό το σκοπό οι ωριαίες μετρήσεις του καρδιακού ρυθμού για κάθε ασθενή, όπως καταγράφηκαν από τις συσκευές Holter, συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες ωριαίες τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.

Παρά τα συσσωρευμένα στοιχεία αναφορικά με την επίπτωση του διαστημικού καιρού στην ανθρώπινη υγεία, δεν υπάρχουν οριστικά συμπεράσματα από μελέτες μέχρι τώρα. Λαμβάνοντας υπόψη μας ότι οι καρδιακές παθήσεις είναι από τις βασικότερες αιτίες θνησιμότητας (*Thom, 1989; Murphy et al., 2012; http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr60/nvsr60_04.pdf*), η μελέτη παραγόντων που ενδεχομένως επιδρούν αρνητικά στην λειτουργία της καρδιάς, είναι πολύ σημαντική. Στα πλαίσια αυτού, στοχεύσαμε να εξετάσουμε την πιθανή συσχέτιση μεταξύ της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τον ανθρώπινο καρδιακό ρυθμό.

3.2 Βασικές Αρχές Στατιστικής Ανάλυσης

Στην παράγραφο αυτή αναπτύσσονται μερικές βασικές αρχές της στατιστικής ανάλυσης και επεξηγούνται οι έννοιες και τα στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των δεδομένων αυτής της εργασίας. Γενικά, ο τελικός στόχος κάθε έρευνας που βασίζεται στην επιστημονική ανάλυση είναι η εξεύρεση των σχέσεων που υπάρχουν ανάμεσα σε διάφορες μεταβλητές. Η συσχετιστική έρευνα περιλαμβάνει την καταμέτρηση των σχέσεων αυτών με τον πιο άμεσο τρόπο και η επιστήμη της στατιστικής βοηθά στην εκτίμηση της σημασίας τους.

3.2.1 Στατιστικές υποθέσεις

Μια ερευνητική υπόθεση μπορεί να ελεγχθεί στατιστικά στη βάση μιας ή περισσότερων στατιστικών υποθέσεων. Οι στατιστικές υποθέσεις συνήθως αποτελούν ένα μαθηματικό πρότυπο ή μοντέλο της ευρύτερης ερευνητικής υπόθεσης που πρέπει να ελεγχθεί στατιστικά. Οι στατιστικές υποθέσεις μπορεί να διατυπωθούν στη μορφή λογικών προτάσεων ή απλών μαθηματικών σχέσεων που αφορούν παραμέτρους πληθυσμών και οι οποίες χρήζουν στατιστικής απόδειξης. Σε αυτή την κατεύθυνση ο ερευνητής πρέπει να διατυπώσει δύο υποθέσεις με τη μορφή λογικών προτάσεων ή απλών μαθηματικών σχέσεων. Η πρώτη υπόθεση ονομάζεται μηδενική H_0 και η δεύτερη εναλλακτική H_1 .

Μηδενική υπόθεση είναι μια στατιστική υπόθεση που περιλαμβάνει οπωσδήποτε το ενδεχόμενο ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των παραμέτρων δύο πληθυσμών ή ότι οι παράμετροι είναι ίσοι με ορισμένες σταθερές (υποθετικές) τιμές. Είναι αυτή η σχέση ισότητας που ελέγχουμε στατιστικά στη συνέχεια. π.χ. μια μηδενική υπόθεση μπορεί να είναι το ότι οι μέσες τιμές από τις μεταβλητές α και β είναι ίσες, δηλαδή $H_0: \mu_\alpha = \mu_\beta$. Η εναλλακτική υπόθεση είναι μια στατιστική υπόθεση η οποία αποτελεί τη λογική εναλλακτική της σχέσης που περιλαμβάνεται

στη μηδενική υπόθεση, δηλαδή στο πιο πάνω παράδειγμα η εναλλακτική υπόθεση θα είναι $H_1: \mu_\alpha \neq \mu_\beta$

Σε ένα στατιστικό έλεγχο θέλουμε μια σωστή στατιστική απόφαση ή να είμαστε βέβαιοι ότι η πιθανότητα για μια λανθασμένη απόφαση είναι πολύ μικρή. Για το σκοπό αυτό επιλέγεται μια συγκεκριμένη τιμή της πιθανότητας αυτής που ονομάζεται επίπεδο σημαντικότητας (significance level). Η ελάχιστη τιμή του επιπέδου σημαντικότητας που αντιστοιχεί στην απόρριψη μιας μηδενικής υπόθεσης λέγεται τιμή πιθανότητας p ή p -τιμή ελέγχου (p -value). Η τιμή του επιπέδου σημαντικότητας αποτελεί ένα όριο κάτω από το οποίο μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ενώ πάνω από αυτό δεν μπορεί να απορριφθεί. Ο ορισμός αυτής της τιμής είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μια στατιστική απόφαση. Έτσι, η μηδενική υπόθεση που απορρίπτεται για μια συγκεκριμένη τιμή του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p (π.χ. 0.05), ονομάζεται στατιστικώς σημαντική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας p . Η αποδοχή μιας μηδενικής υπόθεσης δεν σημαίνει ότι έχουμε αποδείξει ότι η υπόθεση αυτή είναι αληθινή, αλλά μόνο ότι δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για να την απορρίψουμε.

3.2.2 Συσχετισμοί: Ισχύς και αξιοπιστία

Οι συσχετισμοί είναι ένα μέτρο της σύνδεσης δύο ή περισσότερων μεταβλητών και οι συντελεστές συσχετισμού κυμαίνονται από το -1.00 έως το +1.00. Η τιμή -1.00 αντιπροσωπεύει έναν τέλειο αρνητικό συσχετισμό, ενώ η θετική τιμή +1.00 δηλώνει έναν τέλειο θετικό συσχετισμό με την τιμή 0.00 να σημαίνει ότι οι υπό εξέταση μεταβλητές δεν συσχετίζονται καθόλου. Αρνητικός συσχετισμός ανάμεσα σε δύο μεταβλητές σημαίνει ότι όταν οι τιμές της μίας μεταβλητής τείνουν να αυξηθούν, οι τιμές της άλλης τείνουν να μειωθούν, ενώ θετικά συσχετίζονται δύο μεταβλητές που μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή είτε αυξάνονται ή μειώνονται και οι δύο παράλληλα.

Οι πιο συνηθισμένοι συντελεστές συσχέτισης είναι οι συντελεστές Pearson r , που ονομάζονται επίσης γραμμικοί ή product-moment συσχετισμοί. Στους

συσχετισμούς αυτούς πρέπει οι μεταβλητές που εξετάζονται να έχουν μετρηθεί σε κλίμακα διαστήματος (interval scale), δηλαδή να πρόκειται για ποσοτικά δεδομένα που οι τιμές τους μπορούν να συγκριθούν ως προς τις μεταβολές τους, αλλά όχι μεταξύ τους. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για κάθε μεταβλητή. Ο συσχετισμός Pearson λέγεται γραμμικός γιατί ουσιαστικά περιγράφει το πόσο οι τιμές δύο μεταβλητών είναι «αναλογικές» η μία ως προς την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι ένας συσχετισμός είναι μεγάλος, εάν μπορεί να παραστεί γραφικά με μια ευθεία γραμμή με θετική ή αρνητική κλίση. Η ευθεία αυτή είναι η ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης (regression line) ή αλλιώς, ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, η οποία προκύπτει έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων της απόστασης του κάθε σημείου δεδομένων από αυτή να είναι το ελάχιστο δυνατό.

Ο υπολογισμός της τιμής του συντελεστή συσχέτισης Pearson r μεταξύ των μεταβλητών X και Y γίνεται συνήθως με τον ακόλουθο τρόπο:

$$r = \frac{\sum(\bar{X} - X_i)(\bar{Y} - Y_i)}{\sqrt{\sum(\bar{X} - X_i)^2 \sum(\bar{Y} - Y_i)^2}}$$

όπου $\sum(\bar{X} - X_i)(\bar{Y} - Y_i)$ είναι το άθροισμα της διαφοράς των τιμών της μεταβλητής X από το μέσο όρο τους επί τη διαφορά των τιμών της μεταβλητής Y από το μέσο όρο τους (αναφέρεται και ως SP -Sum of Products of Deviations, ή S_{XY} - Sum of Cross-Products),

$\sum(\bar{X} - X_i)^2$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων της διαφοράς του μέσου όρου από τις τιμές της μεταβλητής X και

$\sum(\bar{Y} - Y_i)^2$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων της διαφορά του μέσου όρου από τις τιμές της μεταβλητής Y .

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson r παίρνει τιμές από -1 έως και +1. Όσο η τιμή αυτή πλησιάζει το ± 1 τόσο η συσχέτιση μεταξύ ενός ζεύγους μεταβλητών είναι ισχυρότερη, ενώ όσο η τιμή του πλησιάζει το μηδέν τόσο πιο ασθενής γίνεται η συσχέτιση. Όταν η τιμή του Pearson r βρίσκεται ανάμεσα στο $\pm 0,1$ - $\pm 0,3$ η συσχέτιση χαρακτηρίζεται ως ασθενής, από $\pm 0,3$ έως $\pm 0,5$ χαρακτηρίζεται ως μέτρια, από $\pm 0,5$ έως $\pm 0,7$ ως ισχυρή και πάνω από $\pm 0,7$ ως πολύ ισχυρή. Όταν η τιμή του r είναι μηδέν ή κοντά στο μηδέν τότε δεν υπάρχει συσχέτιση.

Είδος Συσχέτισης	Συντελεστής Pearson (r)
Δεν υπάρχει συσχέτιση	$r \sim 0$
Ασθενής	$\pm 0,1 < r \leq \pm 0,3$
Μέτρια	$\pm 0,3 < r \leq 0,5$
Ισχυρή	$0,5 < r \leq \pm 0,7$
Πολύ ισχυρή	$r > \pm 0,7$

Πίνακας 3.1 Συντελεστής συσχέτισης Pearson

3.2.3 Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p-level

Η αξιοπιστία ενός συσχετισμού εκφράζει πόσο αντιπροσωπευτικό είναι ένα αποτέλεσμα που βρέθηκε από ένα δείγμα, για ολόκληρο τον πληθυσμό. Δηλαδή, πόσο πιθανό είναι κάποιος συσχετισμός που βρέθηκε από ένα δείγμα ενός πληθυσμού, να βρεθεί ξανά αν παρθεί άλλο δείγμα από τον ίδιο πληθυσμό. Αν στην έρευνα πληρούνται ορισμένα κριτήρια, τότε η αξιοπιστία ενός συσχετισμού ανάμεσα σε μεταβλητές όπως βρέθηκε σε κάποιο δείγμα, μπορεί να εκτιμηθεί ποσοτικά και να αντιπροσωπευτεί με μια κανονική τιμή μέτρησης, το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας, p-level.

Η στατιστική σημαντικότητα ενός αποτελέσματος είναι μια εκτίμηση του βαθμού στον οποίο το αποτέλεσμα είναι «αληθινό», με την έννοια του πόσο αντιπροσωπευτικό είναι για ολόκληρο τον πληθυσμό. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή p-level είναι ένας δείκτης για την αξιοπιστία ενός αποτελέσματος. Όσο πιο μεγάλο είναι το p-level, τόσο λιγότερο αξιόπιστος είναι ο συσχετισμός που βρέθηκε μεταξύ κάποιων μεταβλητών σε ένα δείγμα, δηλαδή τόσο λιγότερο μπορεί να βασιστεί κανείς στο ότι ο συσχετισμός αυτός ισχύει και για ολόκληρο τον πληθυσμό. Το p-level

αντιπροσωπεύει την πιθανότητα λάθους στο να δεχθεί κανείς το αποτέλεσμα σαν έγκυρο, δηλαδή σαν αντιπροσωπευτικό για ολόκληρο τον πληθυσμό. Για παράδειγμα, μια τιμή 0,05 για το p-level σημαίνει ότι υπάρχει 5% (αλλιώς 1/20) πιθανότητα η σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές του δείγματος να μην είναι έγκυρη. Με άλλα λόγια, αν σε ολόκληρο τον πληθυσμό στην πραγματικότητα δεν υπήρχε σχέση ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές, τότε στις 20 επαναλήψεις του πειράματος σε 20 διαφορετικά δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό, θα βρισκόταν περίπου 1 δείγμα για το οποίο ο συσχετισμός αυτός θα βρισκόταν ίδιος ή ισχυρότερος από το πείραμα που μας έδωσε την τιμή 0,05 για το p-level. Σε πολλές μελέτες, η τιμή 0,05 για το p-level θεωρείται ως το άνω όριο αποδεκτού σφάλματος.

3.2.4 Η μέθοδος ANOVA

Για τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων που αφορούν τη διαφορά μέσων όρων ανάμεσα σε τρία ή περισσότερα ανεξάρτητα δείγματα χρησιμοποιούμε το τεστ ANOVA. Το ANOVA είναι ακρωνύμιο για την Ανάλυση της Διακύμανσης (ANalysis Of Variance). Ένα τεστ που ελέγχει τις διαφορές σε μέσους όρους αποκαλείται ανάλυση διακύμανσης από το γεγονός ότι για να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα σε μέσους όρους τριών ή περισσότερων ανεξάρτητων δειγμάτων στην ουσία πρέπει να συγκριθεί η διακύμανση ανάμεσα στις τιμές της ποσοτικής μεταβλητής.

Για να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ANOVA θα πρέπει να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις:

1. Τα τρία ή περισσότερα δείγματα πρέπει να είναι ανεξάρτητα, δηλαδή τα υποκείμενα, οι παρατηρήσεις ή οι περιπτώσεις να ανήκουν σε αμοιβαίως αποκλειόμενες ομάδες.
2. Η κλίμακα μέτρησης της εξαρτημένης μεταβλητής να είναι ποσοτική.
3. Η μορφή των κατανομών των τιμών της εξαρτημένης για κάθε κατηγορία της ανεξάρτητης (δηλαδή για κάθε δείγμα) θα πρέπει να είναι κανονική.

Στη μέθοδο ANOVA ο στατιστικός έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης γίνεται με τη χρήση του στατιστικού κριτηρίου F για τρία ή περισσότερα ανεξάρτητα δείγματα που υπολογίζεται ως εξής (Rosner, 2010):

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{within}}$$

$$\text{όπου } MS_{between} = \frac{SS_{between}}{df_{between}} = \frac{\sum n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{k-1} \text{ και}$$

$$MS_{within} = \frac{SS_{within}}{df_{within}} = \frac{\sum (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + \sum (X_{2i} - \bar{X}_2)^2 + \dots + \sum (X_{vi} - \bar{X}_v)^2}{n-k}$$

όπου k είναι ο αριθμός των υπο-ομάδων ή αλλιώς κατηγοριών της κατηγορικής μεταβλητής και n το μέγεθος του συνολικού δείγματος.

Με τη μέθοδο ANOVA ελέγχονται τα επίπεδα μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών που ονομάζονται «παράγοντες» προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση που έχουν πάνω στην υπό μελέτη μεταβλητή που καλείται εξαρτημένη και η οποία πρέπει να μετρείται σε κλίμακα διαστήματος (interval scale). Η Ανάλυση της Διακύμανσης αποτελεί μέθοδο ανάλυσης δεδομένων, η οποία χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των μέσων τιμών πολλών πληθυσμών και βασίζεται στην σύγκριση της μεταβλητότητας μεταξύ (between) των πληθυσμών και της μεταβλητότητας στο εσωτερικό (within) των πληθυσμών. Η απλούστερη μορφή ανάλυσης είναι εκείνη που χαρακτηρίζεται από την ανάλυση της διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (one factor ANOVA).

Ως μηδενική υπόθεση θεωρούμε το ότι οι μέσοι όροι για την εξαρτημένη μεταβλητή είναι ίσοι για όλους τους πληθυσμούς, κάτι που θα σημαίνει ότι οι παράγοντες δεν έχουν καμία επίδραση στην υπό μελέτη μεταβλητή. Αν η μεταβλητότητα μεταξύ των πληθυσμών είναι περίπου ίση με τη μεταβλητότητα στο εσωτερικό των πληθυσμών τότε δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μέσων των πληθυσμών. Αν η μεταβλητότητα μεταξύ των πληθυσμών είναι μεγαλύτερη από τη μεταβλητότητα στο εσωτερικό των πληθυσμών,

τότε δεχόμαστε την εναλλακτική υπόθεση ότι οι μέσοι των πληθυσμών είναι διάφοροι μεταξύ τους.

Είναι γνωστό ότι η ύπαρξη του τυχαίου σφάλματος που οφείλεται στη δειγματοληψία δεν επιτρέπει στα MS_{between} και MS_{within} να είναι ίσα ακόμη και στην περίπτωση που η μηδενική υπόθεση είναι αληθινή. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα μέτρο ανοχής για το πόσο μεγάλη θα πρέπει να είναι η παρατηρούμενη διαφορά προκειμένου να θεωρηθεί ότι δεν οφείλεται μόνο σε τυχαίο σφάλμα. Απάντηση στο ερώτημα αυτό δίνει η κατανομή δειγματοληψίας του λόγου των διακυμάνσεων

$$F = \frac{MS_{\text{between}}}{MS_{\text{within}}}$$

Επειδή πρόκειται για τον λόγο δύο X^2 τυχαίων μεταβλητών προκύπτει ότι ακολουθεί την κατανομή F με k-1 βαθμούς ελευθερίας για τον αριθμητή και n-k βαθμούς ελευθερίας για τον παρονομαστή. Από τη στιγμή που θα προσδιοριστεί και το επίπεδο σημαντικότητας p τότε η κρίσιμη τιμή του F προσδιορίζει τις περιοχές αποδοχής και απόρριψης της δοκιμασίας. Για συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας p και προκειμένου να παρθεί μία απόφαση συγκρίνονται η υπολογισμένη τιμή F με την κρίσιμη τιμή της κατανομής $F_{(k-1),(n-k),p}$. Όταν

$$F > F_{(k-1),(n-k),p}$$

δεν μπορούμε να αποδεχθούμε την H_0 με βάση τα δεδομένα του δείγματος, όπου $F_{(k-1),(n-k),p}$ είναι το $(1-p)*100$ εκατοστιαίο σημείο της κατανομής $F_{(k-1),(n-k)}$ για το οποίο ισχύει

$$P (F_{(k-1),(n-k)} > F_{(k-1),(n-k),p}) = p$$

Με βάση το πιο πάνω κριτήριο γίνεται η αποδοχή ή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και συμπεραίνεται αν τελικά υπάρχει επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών – παραγόντων – στις εξαρτημένες μεταβλητές.

3.3 Συλλογή δεδομένων

3.3.1 Συλλογή δεδομένων καρδιακού ρυθμού

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκε ένα σύνολο 190 ασθενών-υποκειμένων. Η συλλογή των δεδομένων αφορά στο χρονικό διάστημα μεταξύ 20 Ιουλίου 2011 και 30 Ιουνίου 2012. Η συλλογή των δεδομένων για τον καρδιακό ρυθμό πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια νοσηλείας ή προγραμματισμένης εξέτασης των ασθενών στη Β' καρδιολογική κλινική του γενικού κρατικού νοσοκομείου Νίκαιας και στην αντίστοιχη κλινική στο πανεπιστημιακό νοσοκομείο Ηρακλείου Κρήτης. Ο καρδιακός ρυθμός των ασθενών ελέγχθηκε με χρήση της συσκευής ηλεκτροκαρδιογραφήματος Holter. Με τη μέθοδο αυτή καταγράφεται ο καρδιακός ρυθμός των ασθενών σε εικοσιτετράωρη βάση, ενώ ο ασθενής πραγματοποιεί τις δραστηριότητες της καθημερινότητάς του. Η συσκευή ηλεκτροκαρδιογραφήματος holter είναι μια φορητή συσκευή για τον συνεχή έλεγχο ποικίλης ηλεκτρικής δραστηριότητας του καρδιαγγειακού συστήματος για τουλάχιστον 24 ώρες. Στη συσκευή Holter που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας της καρδιάς, όπως και στο απλό ηλεκτροκαρδιογράφημα, καταγράφονται ηλεκτρικά σήματα από την καρδιά μέσω ηλεκτροδίων που προσαρμόζονται στο στήθος του ασθενούς. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω από τα κόκκαλα, ώστε να ελαχιστοποιείται ο "θόρυβος"- ψευδείς μετρήσεις από την μυική δραστηριότητα. Ο αριθμός και η θέση των ηλεκτροδίων ποικίλει ανάλογα με το μοντέλο της συσκευής, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται 3 έως 6 ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με μια μικρή συσκευή, που προσαρμόζεται στην ζώνη του ασθενούς ή κρέμεται από τον λαιμό του και είναι υπεύθυνη για την καταγραφή των σημάτων της καρδιάς. Έπειτα η κασσέτα που φέρει αναλύεται σε υπολογιστή και προκύπτουν τα ιατρικά δεδομένα,

μεταξύ των οποίων και ο καρδιακός ρυθμός που μας ενδιαφέρει στην παρούσα εργασία. Στα άτομα του δείγματος τοποθετούνταν η συσκευή holter για ένα εικοσιτετράωρο, έτσι ώστε για κάθε υποκείμενο να έχουμε μετρήσεις για ένα εικοσιτετράωρο. Από τη συσκευή ηλεκτροκαρδιογραφήματος holter λαμβάνουμε τον καρδιακό ρυθμό (Heart Rate – HR) σε παλμούς το λεπτό (beats per minute – bpm). Η φυσιολογική παράμετρος που εξετάσαμε εμείς ήταν ο καρδιακός ρυθμός σε ωριαίες τιμές ανά εικοσιτετράωρο και η μέση τιμή του καρδιακού ρυθμού ανά άτομο. Συνολικά καταγράφηκαν και αναλύθηκαν 4560 μετρήσεις καρδιακού ρυθμού.

Οι ασθενείς που εξετάστηκαν ήταν 106 (56%) άνδρες, 74 (39%) γυναίκες και 10 (5%) άγνωστο, ενώ ο συνολικός μέσος όρος ηλικίας ήταν τα 63 ± 17 έτη και ο μέσος καρδιακός ρυθμός ήταν 71 ± 15 bpm. Το δείγμα είναι τυχαία επιλεγμένο.

Ένα παράδειγμα από τα holter reports φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες:

B... Cardiology Clinic, NIKAIA Hosp Mantouvalou 3 Phone: 4915061-184		HOLTER ECG SUMMARY REPORT	
Patient Name: _____		ID: _____	
Address: _____		Age: <u>57</u> Weight: _____	
Supervising Physician: _____		Sex: <u>M</u> Height: _____	
Referred By: _____		Recording Date: <u>6/11/2011</u>	
Start Time: <u>8:00</u>			
Indications: <u>B-blocker</u>			
Medications: _____			

HEART RATE Average HR: 56 Min HR: (4 Beat) 43 at 0:55 Max HR: (4 Beat) 89 at 20:07 Min Hourly HR: 48 at 23:00 Max Hourly HR: 71 at 20:00 Total Beats: 78093 Minutes Analyzed: 1423	VENTRICULAR ECTOPIC VE Total: 130 VE Pair Total: 0 V-Run Total: 0 VE's per 1,000: 1 Min HR V-Run N/A Max HR V-Run N/A Longest V-Run N/A
SUPRA VENTRICULAR ECTOPIC SVE Total: 2 SV-Run Total: 0 SVE's per 1,000: 0 Max HR SV-Run N/A Longest SV-Run N/A Aberrant Beats: 18	ST SEGMENT Ch. 1 Total ST Minutes: 0 Ch. 2 Total ST Minutes: 0 Ch. 3 Total ST Minutes: 1 Longest ST Episode of 1 minutes at 20:35 Max Delta ST Depression of -1.0 at 20:35
HEART RATE VARIABILITY SDNN: 131 SDANN Index: 115 SDNN Index: 50 rMSSD: 21 pNN50: 2	CONDUCTION & QT Pauses > 3.0 Seconds: 0 Longest Pause: N/A Long QT Interval: 483 ms (Ch. 2) Corrected QT Interval: 432 ms Long QT Interval at 01:00. Heart Rate 48 bpm.

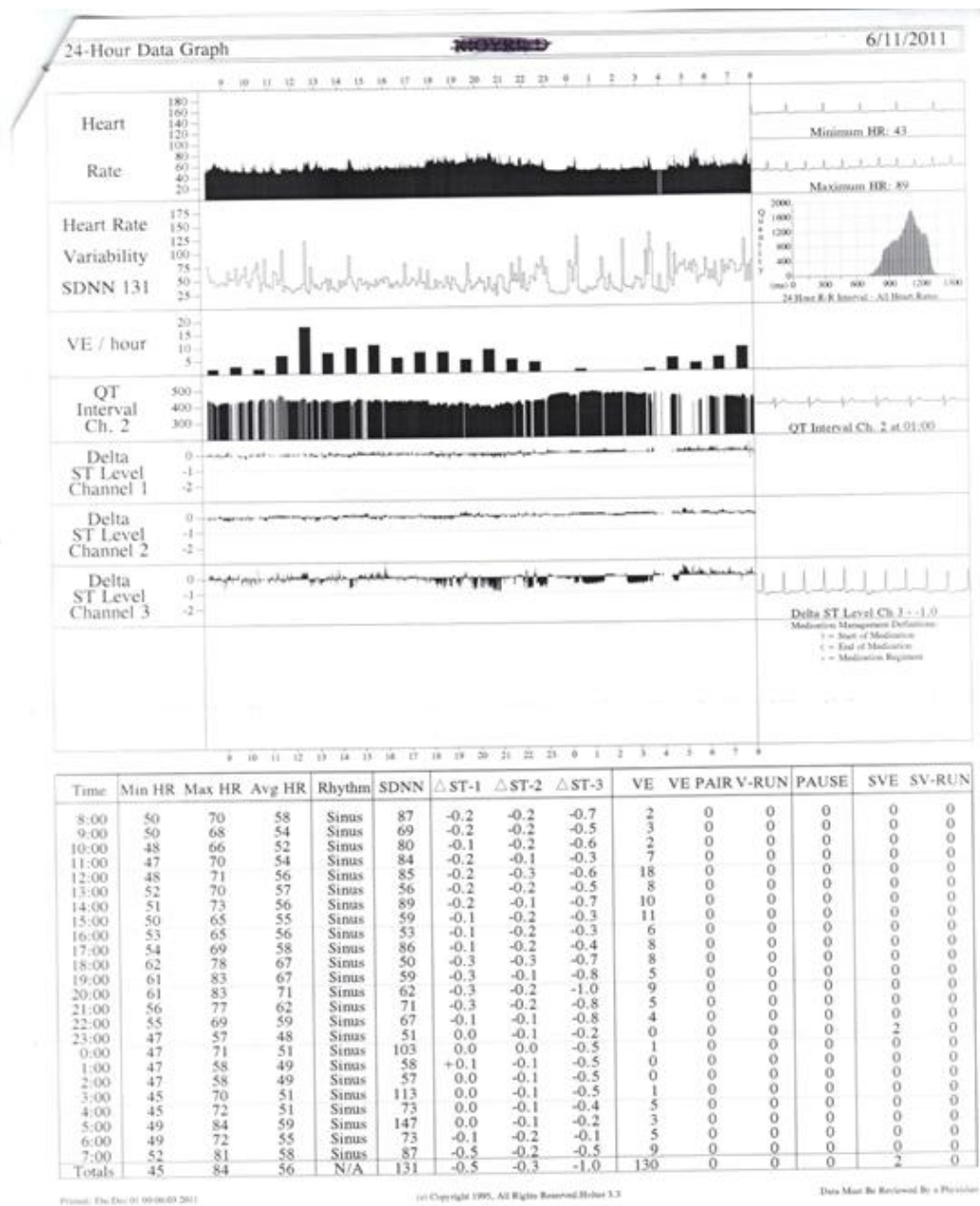
CONCLUSIONS:

The average heart rate was 56, with a minimum of 43 and a maximum of 89. Ventricular ectopic beats totaled 130, with 0 VE Pairs and 0 V-Runs. SupraVentricular ectopics totaled 2, with 0 SV-Runs. Pauses in excess of 3.0 seconds totaled 0. The number of minutes of analyzed ECG data was 1423.

ST episode minutes totaled 1. The maximum Delta ST of -1.0 mm occurred at 20:35.

SIGNATURE: _____

Εικόνα 8.3 Φωτογραφία από Holter report



Εικόνα 9 Φωτογραφία από Holter report

A/A pts	DATE	ST. TIME	AGE	GENDER	MEDICATION
1	21/9/2011	10:00	57	M	NO
2	21/9/2011	12:00	77	F	YES
3	22/9/2011	14:00:00	66	M	YES
4	23/9/2011	21:00	74	M	YES
5	29/9/2011	8:00	63	F	NO
6	30/9/2011	22:00	91	F	YES
7	5/10/2011	11:00	56	M	YES
8	6/10/2011	8:00	72	M	YES
9	6/10/2011	10:00	55	F	NO
10	7/10/2011	11:00	49	F	NO
11	11/10/2011	10:00	62		NO
12	12/10/2011	11:00	79	M	YES
13	12/10/2011	13:00	74		NO
14	1/11/2011	10:00	72	M	YES
15	6/11/2011	8:00		F	
16	9/11/2011	10:00		M	
17	10/11/2011	10:00		M	
18	14/11/2011	10:00	55	M	YES
19	21/11/2011	13:00	71	M	YES
20	24/11/2011	10:00	49	F	
21	24/11/2011	10:00	79	F	NO
22	27/11/2012	13:00	50	F	NO
23	28/11/2011	10:00	83	F	YES
24	5/12/2012	12:00	79	M	NO
25	8/12/2011	10:00	77	F	YES
26	13/12/2011	12:00	77	F	YES
27	19/12/2012	13:00	85		YES
28	21/12/2011	12:00	81	M	YES
29	21/12/2011	9:00	68	M	YES
30	24/12/2011	13:00	76	F	YES
31	25/12/2011	11:00	69	M	YES
32	26/12/2011	19:00	74	M	NO
33	27/12/2011	14:00	76	F	YES
34	4/1/2012	11:00	54	F	NO
35	8/1/2012	11:00	72	M	NO
36	11/1/2012	12:00	48	M	NO
37	14/1/2012	13:00	86	F	NO
38	18/1/2012	12:00	66	F	NO
39	21/1/2012	12:00	81	F	YES

40	23/1/2012	12:00	81	F	YES
41	24/1/2012	9:00	83	M	YES
42	3/2/2012	11:00	56	F	YES
43	9/2/2012	13:00	41	M	YES K.M
44	10/2/2012	11:00	75	F	YES K.M
45	14/2/2012	13:00	57	M	NO
46	20/2/2012	14:00	86	F	NO
47	21/2/2012	8:00	74	F	YES
48	21/2/2012	13:00	71	M	YES K.M
49	23/2/2012	10:00	62	M	YES K.M
50	24/2/2012	18:00	86	F	YES
51	26/2/2012	10:00	62	M	YES K.M
52	26/2/2012	10:00	45	F	YES
53	29/2/2012	10:00	63	F	NO
54	5/3/2012	12:00	75	F	NO
55	8/3/2012	9:00	32	M	NO
56	14/3/2012	10:00	83	M	YES K.M
57	15/3/2012	10:00	82	F	NO
58	15/3/2012	11:00	76		YES
59	17/3/2012	9:00	76	M	NO
60	19/3/2012	10:00	67	M	NO
61	20/3/2012	10:00	52	F	NO
62	21/3/2012	11:00	60	M	
63	25/3/2012	11:00	78	F	NO
64	27/3/2012	13:00	66	M	NO
65	20/7/2011	9:00		M	
66	22/7/2011	11:00		M	
67	22/7/2011	11:00		M	
68	30/8/2011	12:00		F	
69	1/9/2011	11:00		M	
70	13/9/2011	12:00		M	
71	12/10/2011	11:00		M	
72	13/10/2011	11:00		M	
73	19/10/2011	11:00		M	
74	24/10/2011	11:00		M	
75	26/10/2011	11:00		M	
76	7/11/2011	12:00		M	
77	16/12/2011	11:00		F	
78	19/12/2011	13:00		M	
79	17/1/2012	14:00		M	
80	18/1/2012	12:00		M	

81	2/2/2012	12:00	M
82	24/2/2012	12:00	M
83	12/3/2012	12:00	16 F
84	21/3/2012	12:00	46 F
85	21/3/2012	12:00	16 F
86	22/3/2012	11:00	F
87	22/3/2012	12:00	47 F
88	22/3/2012	9:00	76
89	23/3/2012	14:00	81 F
90	23/3/2012	9:00	68 F
91	23/3/2012	12:00	58 F
92	25/3/2012	16:00	45 F
93	26/3/2012	10:00	64
94	27/3/2012	10:00	60 M
95	27/3/2012	10:00	40 F
96	27/3/2012	11:00	57 M
97	27/3/2012	11:00	61 M
98	28/3/2012	10:00	71 M
99	28/3/2012	12:00	24 M
100	28/3/2012	11:00	46 M
101	28/3/2012	10:00	68 M
102	29/3/2012	10:00	F
103	29/3/2012	11:00	F
104	29/3/2012	11:00	M
105	29/3/2012	11:00	F
106	30/3/2012	12:00	F
107	30/3/2012	11:00	75 M
108	30/3/2012	11:00	45 F
109	30/3/2012	12:00	82 F
110	12/9/2011	12:00	M
111	22/12/2011	12:00	M
112	15/1/2012	20:00	F
113	17/2/2012	9:00	M
114	7/3/2012	13:00	M
115	7/3/2012	14:00	M
116	8/3/2012	12:00	M
117	8/3/2012	12:00	F
118	8/3/2012	12:00	F
119	8/3/2012	15:00	M
120	9/3/2012	14:00	F
121	12/3/2012	11:00	F

122	13/3/2012	14:00		M
123	13/3/2012	13:00		M
124	13/3/2012	12:00		F
125	14/3/2012	13:00		M
126	15/3/2012	15:00		M
127	15/3/2012	14:00		F
128	16/3/2012	10:00		M
129	16/3/2012	12:00		F
130	17/3/2012	22:00		M
131	19/3/2012	11:00		M
132	19/3/2012	14:00		F
133	19/3/2012	11:00		M
134	20/3/2012	11:00	71	M
135	1/4/2012	7:00	67	M
136	2/4/2012	10:00		F
137	3/4/2012	9:00	50	M
138	3/4/2012	14:00	46	M
139	3/4/2012	10:00	18	M
140	12/4/2012	15:00	75	
141	17/4/2012	11:00	75	F
142	17/4/2012	11:00	82	
143	17/4/2012	11:00	80	M
144	17/4/2012	12:00	58	M
145	17/4/2012	12:00	70	M
146	18/4/2012	10:00	65	M
147	25/4/2012	11:00	70	M
148	25/4/2012	11:00	49	M
149	25/4/2012	13:00	52	F
150	25/4/2012	14:00	72	M
151	25/4/2012	11:00	68	M
152	25/4/2012	10:00	32	M
153	26/4/2012	10:00	72	M
154	26/4/2012	10:00	52	M
155	26/4/2012	12:00	48	M
156	27/4/2012	21:00	68	M
157	27/4/2012	22:00	48	M
158	29/4/2012	12:00		F
159	30/4/2012	12:00		M
160	30/4/2012	12:00		M
161	30/4/2012	11:00	52	F
162	30/4/2012	10:00		M

163	24/5/2012	10:00	62	F
164	24/5/2012	10:00	53	M
165	25/5/2012	9:00		M
166	25/5/2012	10:00		M
167	28/5/2012	10:00	72	F
168	28/5/2012	11:00		M
169	28/5/2012	13:00		M
170	28/5/2012	14:00		M
171	29/5/2012	13:00		F
172	29/5/2012	12:00		F
173	29/5/2012	11:00	75	F
174	29/5/2012	11:00		M
175	31/5/2012	11:00		F
176	5/6/2012	12:00		F
177	6/6/2012	11:00	27	M
178	6/6/2012	11:00		M
179	7/6/2012	11:00		M
180	7/6/2012	11:00		F
181	7/6/2012	10:00		F
182	8/6/2012	11:00		M
183	8/6/2012	12:00		M
184	11/6/2012	13:00		F
185	11/6/2012	11:00		F
186	11/6/2012	10:00		F
187	12/6/2012	11:00	5months	M
188	12/6/2012	11:00		M
189	12/6/2012	11:00		M
190	12/6/2012	10:00		M

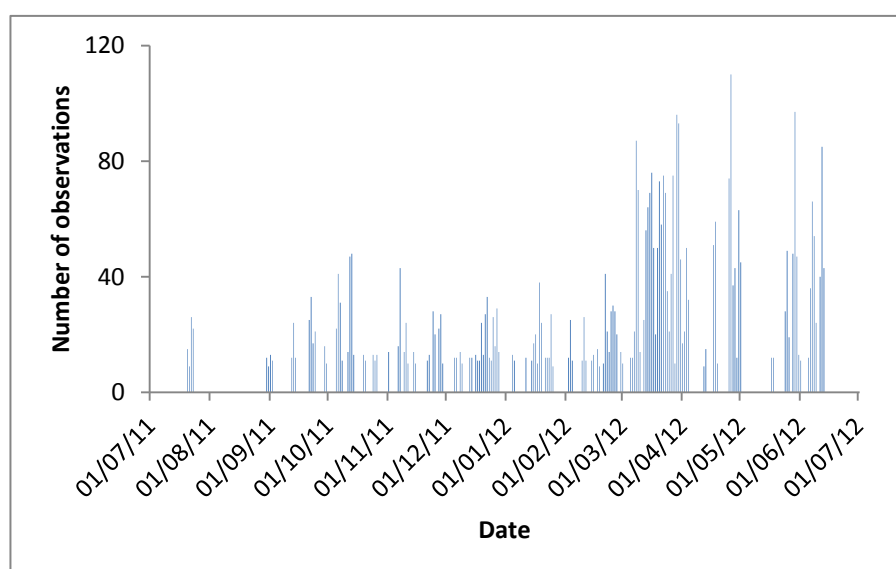
Πίνακας 3.2 Το δείγμα της μελέτης

Συγκεντρωτικά για τα όρια ηλικίας έχουμε:

Ηλικία(έτη)	πλήθος
age≤45	13
45<age≤65	38
age>65	61
unknown	78

Πίνακας 3.3 Ηλικίες των εξεταζόμενων και η αντίστοιχη συχνότητα των παρατηρήσεων

Η συχνότητα των δεδομένων καρδιακού ρυθμού που καταγράφηκαν στις δύο καρδιολογικές κλινικές που συνεργαστήκαμε, συναρτήσει των αντίστοιχων ημερών της εκάστοτε παρατήρησης, φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 3.1 Αριθμός μετρήσεων holter κατά την περίοδο της μελέτης

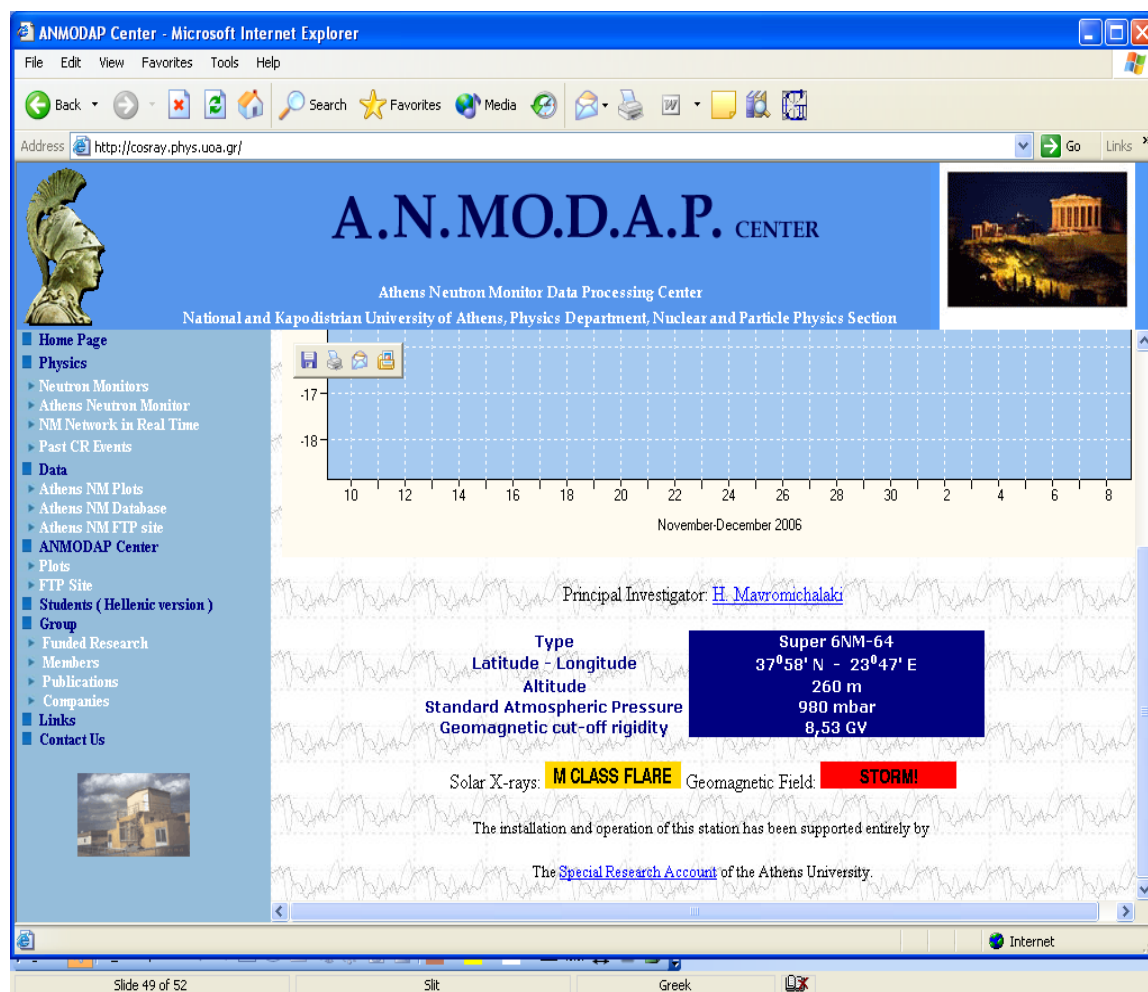
3.3.2 Συλλογή δεδομένων γεωμαγνητικών παραμέτρων

Επίσης αναλύθηκε η γεωμαγνητική δραστηριότητα στις ημέρες όπου λήφθηκαν ιατρικά δεδομένα (από 20 Ιουλίου 2011 έως 30 Ιουνίου 2012).

Ως γεωμαγνητικός δείκτης χρησιμοποιήθηκε ο Dst index ο οποίος παρατηρήθηκε από το World Centre for Geomagnetism, Kyoto (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html). Το κέντρο αυτό παρέχει online δεδομένα real time. Όσο μικρότερη η τιμή του Dst σε nT τόσο πιο έντονη η γεωμαγνητική δραστηριότητα και για τιμές Dst μικρές (συνήθως μικρότερες του -100nT) θεωρείται ότι έχουμε καταιγίδα.

3.3.3 Συλλογή δεδομένων Κοσμικής Ακτινοβολίας

Οι διορθωμένες με πίεση ωριαίες τιμές της αδρονικής συνιστώσας της κοσμικής ακτινοβολίας συλλέχθηκαν από τον Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (ANMODAP, <http://cosray.phys.uoa.gr>).



Εικόνα 3.5 Εικόνα από τη σελίδα του σταθμού κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας

3.4 Σταθμός Νετρονίων της Αθήνας

Ο σταθμός νετρονίων της Αθήνας βρίσκεται σε υψόμετρο 260m κι έχει κατακόρυφο κατώφλι μαγνητικής δυσκαμψίας 8.53GV. Είναι μοναδικός στην περιοχή των Βαλκανίων και την Ανατολική Μεσόγειο.

Ο σταθμός μέτρησης νετρονίων της Αθήνας (Athens Neutron Monitor Data Processing - A.N.MO.DA.P –Center) έγινε το κέντρο του Παγκοσμίου Δικτύου Μετρητών Νετρονίων πραγματικού χρόνου σε συνεργασία με την ομάδα κοσμικής ακτινοβολίας του Ινστιτούτου Γήινου Μαγνητισμού, Ιονόσφαιρας και Ραδιοκυμάτων

(IZMIRAN) της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών. Στον κεντρικό server του σταθμού της Αθήνας κατεβαίνουν κάθε 5min τα δεδομένα 23 σταθμών κατανεμημένων σε όλη τη Γη (Πίνακας 5), με την προοπτική να επεκταθεί σε όλους τους σταθμούς πραγματικού χρόνου. Ο διαρκώς αυξανόμενος αριθμός σταθμών πραγματικού χρόνου (τουλάχιστον 25 σήμερα) αποτελεί μια πολύ καλή βάση για την λειτουργία αυτού του δικτύου. Το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα πολυκατευθυνόμενο σύστημα πάνω στη Γη για τον προσδιορισμό της έναρξης των επίγειων μεγάλων επαυξήσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (GLEs) και της άμεσης πρόβλεψης της άφιξης μιας διαπλανητικής διαταραχής.

Σταθμοί	Συντόμ.	Γ.Πλάτος(⁰)	Γ.Μήκος(⁰)	Alt	H ₀	R _c
APATITY	APTY	67.55	33.33	177	977.80	0.55
ATHENS	ATHN	37.97	23.72	260	974.70	8.53
BAKSAN	BKSN	43.28	42.69	0	818.50	6.91
BARENTSBURG	BRBG	78.12	14.42	0	964.70	0.20
CAPESCHMIDT	CAPS	68.92	180.53	0	1021.30	0.52
EREVAN	ERVN	40.17	44.25	2000	798.30	7.36
EREVAN-3	ERV3	40.17	44.25	3200	683.90	7.36
ISRAEL	ESOI	33.30	35.79	2025	800.00	10.41
FORTSMITH	FSMT	60.00	-112.00	0	996.10	0.30
INUVIK	INVK	68.35	-133.72	21	1019.10	0.14
IRKUTSK	IRKT	52.47	104.03	433	965.00	3.49
KIEL	KIEL	54.34	10.13	54	981.40	2.36
LOMNICKY	LMKS	49.20	20.22	2634	733.00	3.88
McMURDO	MCMD	-77.85	166.72	48	985.10	0.00
MOSCOW	MOSC	55.47	37.32	200	991.90	2.30
NORILSK	NRLK	69.26	88.05	0	1015.30	0.53
NOVOSIBIRSK	NVBK	54.80	83.00	163	999.20	2.69
NEWARK	NWRK	39.68	-75.75	50	1008.60	2.21
OULU	OULU	65.05	25.47	0	990.00	0.77
SOUTH POLE	SOPO	-88.00	210.00	2820	687.70	0.05
THULE	THUL	76.50	-68.70	260	1011.50	0.00
TIXIE BAY		71.60	128.90	15	1019.90	0.43
YAKUTSK		62.02	129.73	105	1020.70	1.55

Πίνακας 3.6 Οι συνδεδεμένοι σταθμοί καταμέτρησης νετρονίων πραγματικού χρόνου με τον σταθμό της Αθήνας (A.N.MO.DA.P)

Το ανιχνευτικό σύστημα αποτελείται από 6 αναλογικούς απαριθμητές τύπου BP28 Chalk River Canada που περιέχουν BF₃ εμπλουτισμένο με το ισότοπο B¹⁰. Τα νετρόνια περνούν από πλάκες πολυαιθυλενίου και ειδική μολύβδινη θωράκιση που

μετριάζει τις ενέργειές τους. Στη συνέχεια αντιδρούν με τριφθοριούχο βόριο, δίνοντας διηγεμένο λίθιο και σωμάτια-α. Η καταγραφή των σωμάτων-α από τους απαριθμητές δίνει τη ροή των νετρονίων. Μια λεπτομερής μελέτη των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας και των συνθηκών του διαστημικού καιρού απαιτεί σύγκριση των δεδομένων ενός αριθμού σταθμών μεγάλης δυσκαμψίας με εξαιρετικής ποιότητας δεδομένα. Ο σταθμός της Αθήνας είναι ο πρώτος μικρού πλάτους και ο έκτος ανάμεσα στο παγκόσμιο δίκτυο Μετρητών Νετρονίων που παρέχει δεδομένα “πραγματικού χρόνου”.

Το σύνολο των μετρήσεων συλλέγεται με κατάλληλες ψηφιακές κάρτες σε τοπικό δίκτυο υπολογιστών. Αναπτύχθηκαν και λειτουργούν προγράμματα αυτόματης επεξεργασίας των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Εγκαταστάθηκε επίσης και λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη βάση Web Server και FTP Server ο οποίος προβάλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο διαδίκτυο προκειμένου να χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο. Διαγράμματα μηνιαίων, ημερήσιων, ωριαίων και 1-min διορθωμένων με την πίεση τιμών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας δίδονται στο Διαδίκτυο μέσω του Server. Η ανάλυση γίνεται σε κάθε ανιχνευτή ξεχωριστά με τη βοήθεια ενός προγράμματος επεξεργασίας των πρωταρχικών δεδομένων και μετά από υπολογισμό της ποιότητας αυτών για κάθε κανάλι. Ειδικό πρόγραμμα βασισμένο σε αλγόριθμο επιτρέπει τον υπολογισμό της απόδοσης για κάθε κανάλι θέτοντας εκτός λειτουργίας κανάλια και διορθώνοντας δεδομένα αυτών των καναλιών. Επίσης υπολογίζονται τα στατιστικά άλματα από τα χαρακτηριστικά κάθε καναλιού και ολόκληρου του ανιχνευτικού συστήματος. Η διαδικασία του ελέγχου και της έκδοσης των δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρουσία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπου οι απαιτήσεις για την ποιότητα των δεδομένων είναι εξαιρετικά μεγάλη.

Τον Δεκέμβριο του 2003 λειτούργησε στο σταθμό του Πανεπιστημίου της Αθήνας για πρώτη φορά ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων κοσμικής ακτινοβολίας σε "πραγματικό χρόνο" από μετρητές νετρονίων που βρίσκονται σε διάφορα σημεία της Γης. Τα προγράμματα αυτά έχουν τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων σε σχεσιακές βάσεις με περιοδικότητα μικρότερη από ένα λεπτό, από οποιοδήποτε σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας συνδεδεμένο με το διαδίκτυο (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Στην παρούσα φάση συλλέγονται μέσες μετρήσεις λεπτού και ωριαίες. Η κατασκευή των προγραμμάτων έγινε έτσι ώστε ο αριθμός σταθμών

που μπορούν να συμμετέχουν να είναι απεριόριστος με απλή αναβάθμιση του λογισμικού. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε σταθμού κοσμικής ακτινοβολίας που συμμετέχει στο δίκτυο συλλογής αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Στην ίδια βάση αποθηκεύονται και οι παράμετροι για τον χρονισμό της συλλογής δεδομένων από κάθε σταθμό που αποθηκεύεται στον πίνακα χρονισμού "Global Configuration Table (GCT)". Για το χρονισμό των κλήσεων δημιουργήθηκε το πρόγραμμα Χρονιστής "Scheduler" που διαβάζει τα περιεχόμενα του πίνακα GCT κάθε λεπτό και αποφασίζει αν είναι η κατάλληλη χρονική στιγμή για να ενεργοποιήσει τα προγράμματα συλλογής δεδομένων από τους απομακρυσμένους σταθμούς. Για κάθε σταθμό ξεχωριστά υπάρχει ένα πρόγραμμα συλλογής δεδομένων που αναλαμβάνει τη μεταφορά τους από κάθε σταθμό στην τοπική βάση. Αυτά τα προγράμματα κατασκευάστηκαν ώστε να λειτουργούν ταυτόχρονα (multitasking) ελαττώνοντας το χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή των δεδομένων. Κάθε πρόγραμμα έχει την ικανότητα να φέρνει τα νεότερα δεδομένα με περιοδικό τρόπο ή να τα μεταφέρει σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο από τον απομακρυσμένο σταθμό. Η μέθοδος συλλογής εξαρτάται άμεσα από την υποδομή του εκάστοτε σταθμού. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι υλοποιήθηκαν προγράμματα συλλογής μέσω FTP, μέσω ASP ιστοσελίδων και μέσω πρόσβασης σε βάσεις δεδομένων. Μετά τη συλλογή των μετρήσεων ενεργοποιούνται άλλα προγράμματα τα οποία βασίζονται στις μετρήσεις όλων των σταθμών του δικτύου, όπως προγράμματα απεικόνισης των μετρήσεων των διαφόρων σταθμών του "real time" δικτύου των μετρητών νετρονίων, πρόγραμμα προσδιορισμού των μεγάλων GLE γεγονότων και πρόγραμμα υπολογισμού των φασματικών παραμέτρων της έντασης και των τριών συνιστωσών της κοσμικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.7 Εικόνα από τον σταθμό νετρονίων στην Αθήνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία στοχεύσαμε να εξετάσουμε την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό και τον κίρκαδιανό ρυθμό της καρδιάς. Η μελέτη διήρκησε από τις 1 Ιουλίου 2011 έως 30 Ιουνίου 2012. Για το παραπάνω διάστημα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα καρδιακού ρυθμού που καταγράφονταν σε συσκευές ηλεκτροκαρδιογραφήματος Holter. Επίσης, για το ίδιο χρονικό διάστημα υπολογίστηκαν η ποσοστιαία μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και ο γεωμαγνητικός δείκτης Dst. Το προς εξέταση δείγμα ήταν τυχαίο. Η ανάλυση βασίστηκε στην στατιστική μέθοδο ANOVA που εφαρμόστηκε για να υπολογιστούν τα επίπεδα της στατιστικής σημαντικότητας για την επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής ακτινοβολίας και της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό και στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Αναλυτικές λεπτομέρειες για την προέλευση των δεδομένων, την ανάλυση και την επεξεργασία τους, ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.

4.2 Στατιστική επεξεργασία

Οι κύριες στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αναάλυση των δεδομένων είναι η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression) και διακύμανση (ANOVA). Τα στατιστικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το SPSS version 17.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) και το STATISTICA (ver. 6, Stat-Soft Inc., 2001), προκειμένου να σημειωθούν τα στατιστικά επίπεδα σημαντικότητας (p values) της επίδρασης των επιπέδων της

δραστηριότητας του διαστημικού καιρού στον ανθρώπινο καρδιακό ρυθμό. Ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας στην παρούσα ανάλυση θεωρείται $p < 0.05$ και το ίδιο χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων- συμπερασμάτων. Επίσης, έγινε ανάλυση σε ημερήσια βάση (diurnal variation) μεταξύ της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και της μεταβολής του καρδιακού ρυθμού των υποκειμένων ξεχωριστά. Τέλος, απομονώθηκε η περίοδος στην οποία εμφανίστηκε σημαντική μείωση Forbush και αναλύθηκε ξεχωριστά.

4.3 Ανάλυση και Αποτελέσματα

Ο καρδιακός ρυθμός αναλύθηκε σε σχέση με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CRI) και τον δείκτη Dst. Για το σκοπό αυτό εξετάστηκε ένα δείγμα 190 ατόμων, μεταξύ των οποίων 106 (56%) ήταν άντρες, 74 (39%) γυναίκες και σε 10 (5%) δεν γνωρίζαμε το φύλο. Ο μέσος όρος ηλικίας τους ήταν 63 ± 17 έτη και ο μέσος καρδιακός τους σφυγμός 71 ± 15 bpm. Ύστερα από έλεγχο t-test, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του καρδιακού ρυθμού των ανδρών και γυναικών [mean (men): 71 ± 15 bpm, mean (women): 72 ± 15 bpm, $p_{\text{value}} = 0.052$]. Όμως επειδή η τιμή του p_{value} πλησιάζει την τιμή 0.05, όπου γίνεται στατιστικά σημαντικό, θα μπορούσαμε να πούμε πως τα αποτελέσματά μας είναι ενδεικτικά και ίσως μεγαλύτερο δείγμα να οδηγούσε σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Σε μια μονοπαραγοντική ανάλυση, η CRI βρέθηκε αρνητικά συσχετισμένη με τον καρδιακό ρυθμό με συντελεστή συσχέτισης: -0.171 και $p\text{-value} < 0.01$, ενώ δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη Dst και του καρδιακού ρυθμού ($p = 0.378$).

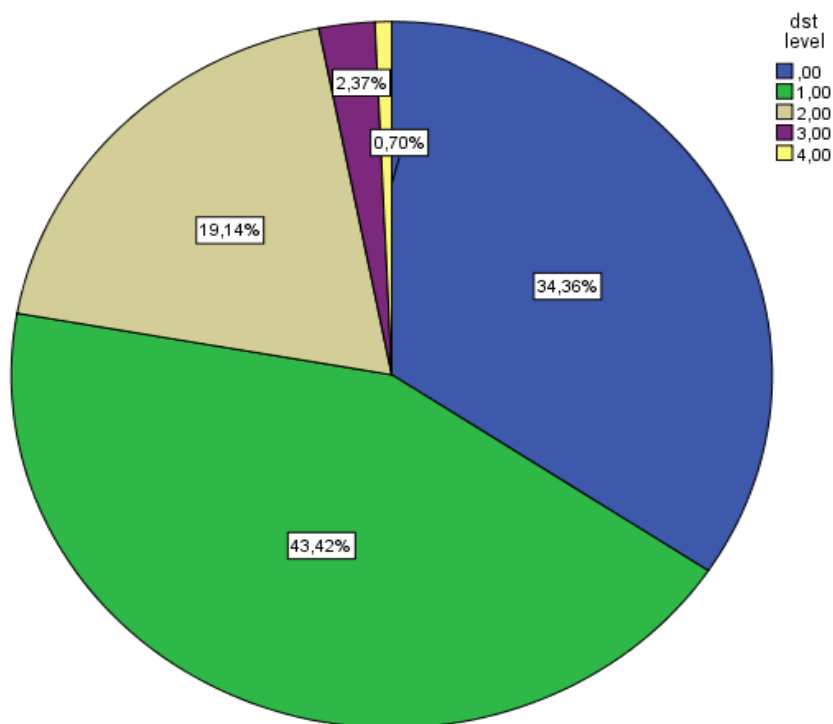
Ο γεωμαγνητικός δείκτης Dst χωρίστηκε σε επίπεδα που μαρτυρούν την αντίστοιχη ένταση των γεγονότων και είναι σε αντιστοιχία με τις παρατηρούμενες τιμές του Dst δείκτη. Έτσι όσο μεγαλύτερη η τιμή του Dst τόσο πιο χαμηλή θεωρείται η γεωμαγνητική δραστηριότητα. Πολύ χαμηλές τιμές του δείκτη Dst καταδεικνύουν γεωμαγνητικές καταιγίδες. Συγκεκριμένα, χωρίστηκε σε πέντε επίπεδα (0, 1, 2, 3, 4, 5) ανάλογα με την τιμή του Dst. Όσο μεγαλύτερος είναι ο Dst τόσο σε πιο μεγάλο

επίπεδο κατανέμεται. Αναλυτικά τα επίπεδα που αντιστοιχούν στις τιμές του Dst και η συχνότητα κάθε επιπέδου αναλογα με την ημερομηνία για την υπό εξέταση χρονική περίοδο φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Dst levels	Dst intervals
0	$Dst \geq 0$
1	$-20 < Dst < 0$
2	$-50 < Dst \leq -20$
3	$-80 < Dst \leq -50$
4	$Dst \leq -80$

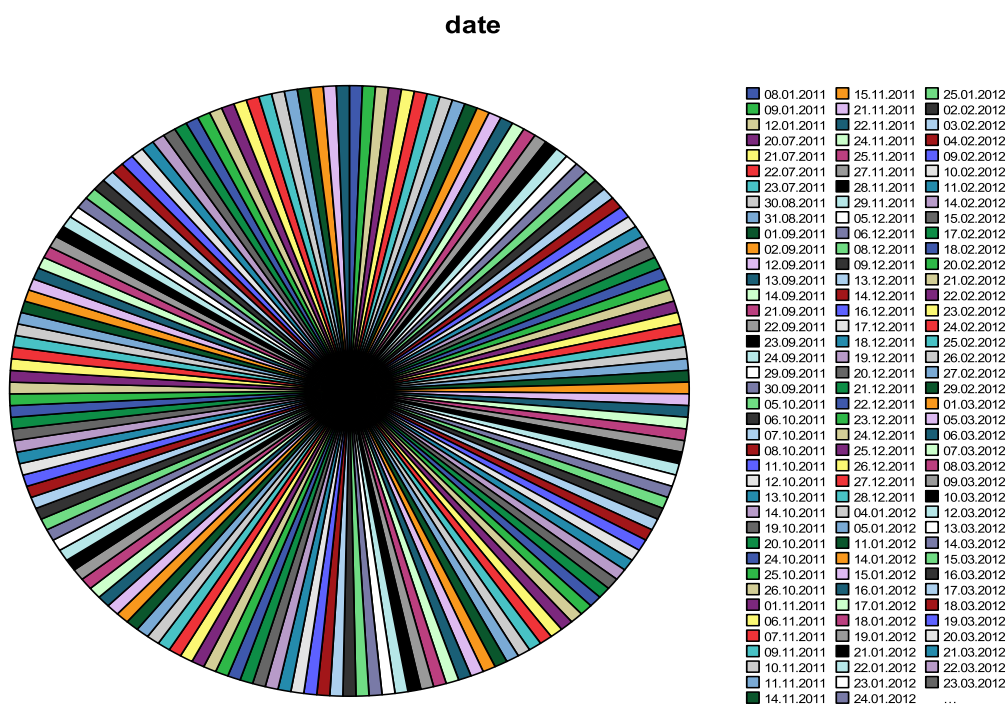
Πίνακας 4.1 Επίπεδα του Dst δείκτη

Η αντίστοιχη κατανομή των επιπέδων Dst για την προς μελέτη περίοδο σε ημερήσια όμως βάση (μέσες ωριαίες τιμές για κάθε ημέρα) φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα.



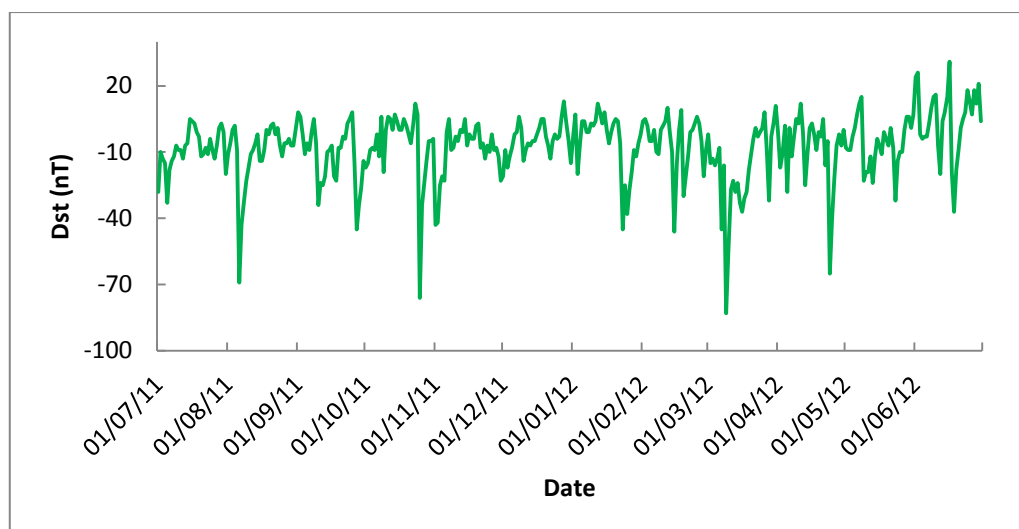
Σχήμα 4.1 Κατανομή των μετρήσεων με βάση τα επίπεδα για τον Dst

Οι αντίστοιχες ημερομηνίες στις οποίες υπήρχαν δεδομένα φαίνονται στην ακόλουθη πίτα, όπου κάθε ημερομηνία παρουσιάζεται με διαφορετικό χρώμα.



Σχήμα 4.2 Κατανομή των ημερών στις οποίες καταγράφηκαν ιατρικά δεδομένα

Η κατανομή των τιμών του Dst δείκτη για την περίοδο που εξετάσαμε φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 4.3 Μέση ημερήσια μεταβολή του Dst δείκτη κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου

Αντίστοιχα, χωρίστηκε σε πέντε επίπεδα (0, 1, 2, 3, 4) η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα μεγαλύτερα επίπεδα μαρτυρούν και μεγαλύτερη ένταση κοσμικής ακτινοβολίας. Αναλυτικά τα επίπεδα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

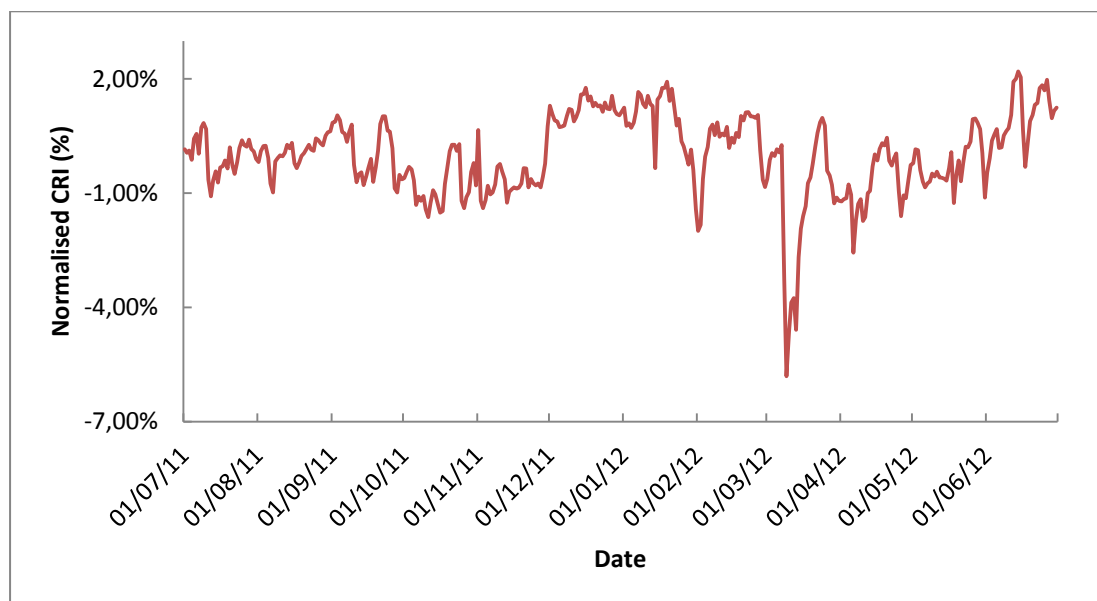
CRI levels	Normalised CRI%
0	$CRI \leq -3\%$
1	$-3\% < CRI \leq -1\%$
2	$-1\% < CRI \leq 1\%$
3	$1\% < CRI < 3\%$
4	$CRI \geq 3\%$

Πίνακας 4.2 Τα επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω ομαδοποίησης σε επίπεδα και για τη χρονική περίοδο της έρευνας από όλες τις τιμές που καταγράφηκαν για την νουκλεονική συνιστώσα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, υπολογίστηκε η μέση τιμή για την πιο πάνω περίοδο και στη συνέχεια, για κάθε μέτρηση, υπολογίστηκε η ποσοστιαία διαφορά της τιμής της εκάστοτε μέτρησης από την μέση τιμή για όλες τις ημέρες. Η επεξεργασία έγινε σύμφωνα με τον τύπο :

$$[CRI_{obs} - CRI_{aver}] / CRI_{aver}$$

Όπου CRI_{obs} είναι η παρατηρούμενη τιμή και CRI_{aver} είναι η μέση τιμή CRI που αντιστοιχεί στην περίοδο που εξετάσαμε. Οι επί τοις εκατό κανονικοποιημένες τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη χρονική διάρκεια που εξετάσαμε παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.

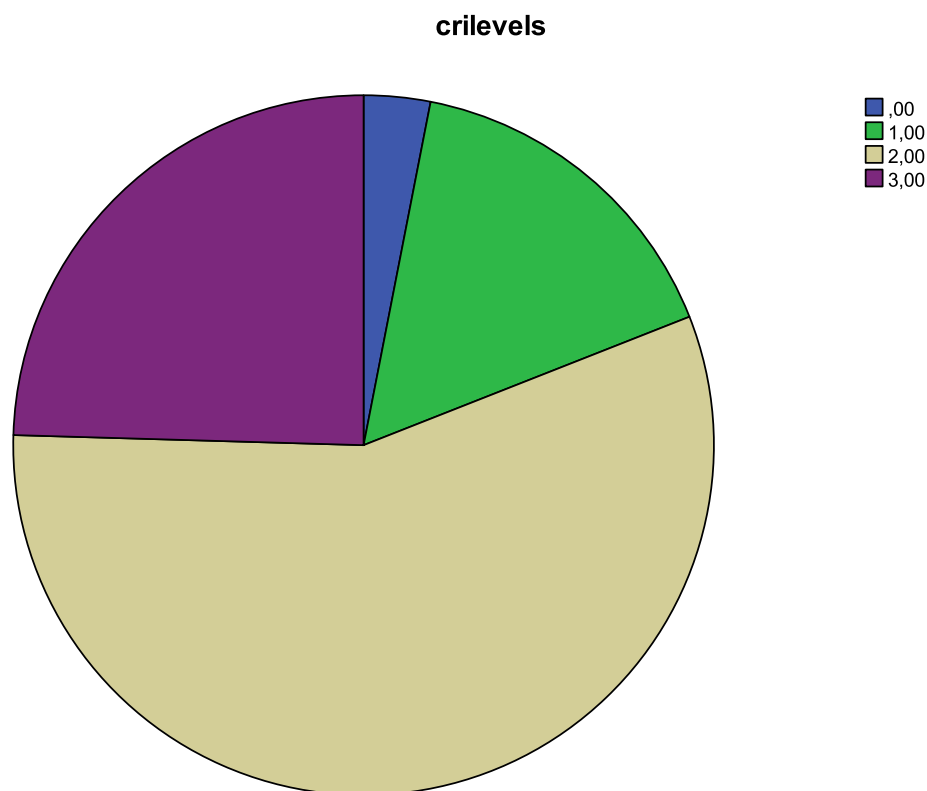


Σχήμα 4.4 Κατανομή της κανονικοποιημένης ημερήσιας έντασης της κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου

Όπως παρατηρείται από το σχήμα για το πιο πάνω διάστημα προέκυψαν τιμές της τάξης από -5% έως +2% για τη μεταβολή της έντασης της κοσμικής

ακτινοβολίας, σε ημερήσια βάση. Από το εύρος αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό πως κατά την περίοδο που εξετάσαμε παρατηρήθηκαν μειώσεις Forbush. Θεωρούμε ότι έχουμε μια μείωση Forbush όταν η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας μειώνεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 3%. Έτσι η πιο σημαντική μείωση Forbush που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο που εξετάσαμε ήταν αυτή του Μαρτίου 2012, η οποία και θα συζητηθεί ξεχωριστά.

Έτσι σε ημερήσια βάση (μέσες ωριαίες τιμές) η κατανομή των επιπέδων ανάλογα με την κανονικοποιημένη ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας φαίνεται στην ακόλουθη "πίτα".



Σχήμα 4.5 Κατανομή των μετρήσεων στα διάφορα επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας

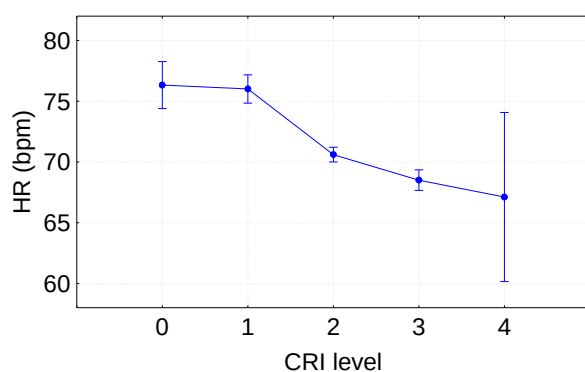
Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος ANOVA, δηλαδή η ανάλυση της διακύμανσης κατά έναν παράγοντα. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή «παράγοντες», θεωρήθηκαν το επίπεδο Dst (DstLevel) και η ποσοστιαία μείωση στην

ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CR %). Ως εξαρτημένη μεταβλητή θεωρήθηκε ο καρδιακός ρυθμός HR. Με τη μέθοδο ANOVA ελέγχθηκε η επίδραση κάθε ενός από τους παράγοντες στην εξαρτημένη μεταβλητή ξεχωριστά. Με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS προέκυψαν οι πίνακες με τις υπολογισμένες μέσες τιμές για την φυσιολογική παράμετρο (HR) και κάθε επίπεδο παράγοντα (CRI LEVEL, Dst LEVEL). Στους πίνακες αυτούς αναγράφονται επίσης, το κανονικό σφάλμα στον υπολογισμό της μέσης τιμής με διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της παραμέτρου για αυτό το διάστημα εμπιστοσύνης, καθώς και ο αριθμός των μετρήσεων που υπάγονται σε κάθε επίπεδο του παράγοντα. Φαίνεται επίσης και το p-value.

Levels	Normalised CRI intervals (%)	Number of measurements	Mean HR (bpm)	95% CI
CRI				
0	$CRI \leq -3\%$	220	76.33	74.11 - 78.55
1	$-3\% < CRI \leq -1\%$	602	76.00	74.67 - 77.35
2	$-1\% < CRI \leq 1\%$	2227	70.61	70.00 - 71.21
3	$1\% < CRI < 3\%$	1150	68.51	67.75 - 69.27
4	$CRI \geq 3\%$	17	67.12	60.34 - 73.89
Dst index Dst intervals (nT)				
0	$Dst \geq 0$	1444	71.24	70.50 - 71.98
1	$-20 < Dst < 0$	1850	70.63	69.92 - 71.35
2	$-50 < Dst \leq -20$	824	71.97	71.03 - 72.91
3	$-80 < Dst \leq -50$	98	71.42	68.31 - 74.53
4	$Dst \leq -80$	17	63.35	58.97 - 67.74

Πίνακας 4.3 Τα επίπεδα CRI και Dst και οι αντίστοιχες μέσες καρδιακές συχνότητες στην ANOVA ανάλυση

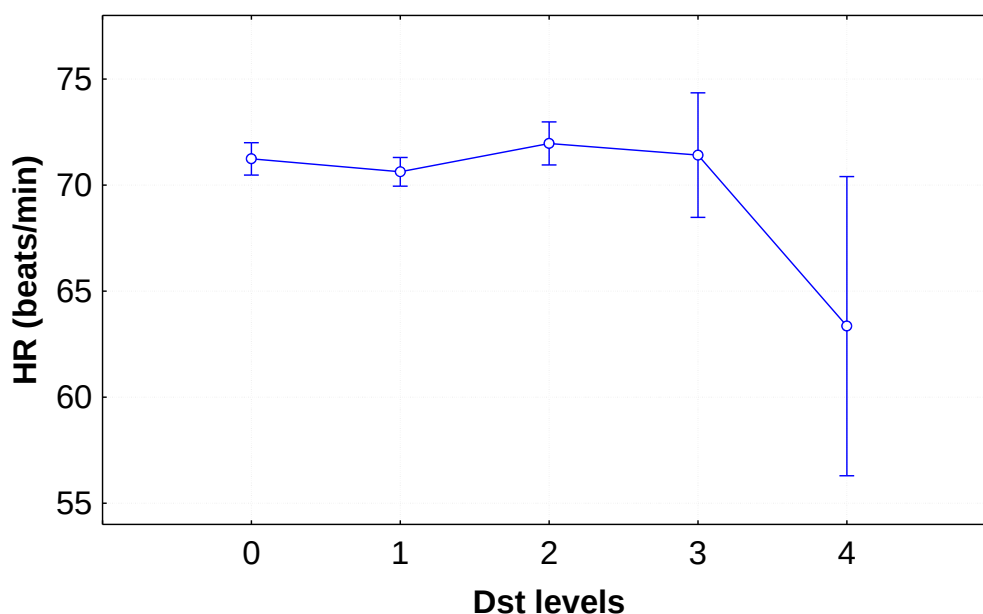
Σύμφωνα με την ανάλυση Analysis of Variance (ANOVA) τα παρατηρούμενα επίπεδα σημαντικότητας (p-values) της επίπτωσης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στον καρδιακό ρυθμό φαίνονται στον προηγούμενο πίνακα. Επίσης, οι μέσες τιμές καρδιακού ρυθμού για τα διάφορα επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.6 Κατανομή των μέσων τιμών καρδιακού ρυθμού για τα διάφορα επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας

Παρατηρώντας τη γραφική παράσταση βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές του καρδιακού ρυθμού καταγράφονται στα μικρότερα επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και όσο η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας αυξάνεται ο καρδιακός ρυθμός μειώνεται.

Ομοίως, όσον αφορά στον δείκτη Dst βρέθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση του με τον καρδιακό ρυθμό ($p=0.05$), όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα όπου παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του καρδιακού ρυθμού στα διάφορα επίπεδα του Dst.



Σχήμα 4.7 Κατανομή των μέσων τιμών του καρδιακού ρυθμού για τα διάφορα επίπεδα του δείκτη Dst

Στα χαμηλότερα επίπεδα του Dst που αντιστοιχούν σε χαμηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα, οι παρατηρούμενες μεταβολές του καρδιακού ρυθμού ήταν μικρές.

Όσον αφορά στην στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, θεωρήθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές ο χρόνος, ο ασθενής και οι παράμετροι Dst και CRI, ενώ ως εξαρτημένη ο καρδιακός ρυθμός. Με αυτόν τον τρόπο καταφέραμε να διαχωρίσουμε κάθε έναν ασθενή, αφού η μελέτη ανθρωπίνων φυσιολογικών παραμέτρων περιλαμβάνει τη δυσκολία ότι για κάθε διαφορετικό άνθρωπο είναι διαφορετική η φυσιολογική τιμή της φυσιολογικής παραμέτρου που εξετάζουμε. Αυτό σημαίνει ότι κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικό φυσιολογικό σφυγμό και το εύρος του φυσιολογικού σφυγμού είναι 60-100 beats/min. Με άλλα λόγια, ο ανθρώπινος οργανισμός δεν είναι μια μηχανή που εκπέμπει σταθερά και διαφοροποιείται από άνθρωπο σε άνθρωπο χωρίς απαραίτητα να σημαίνει ότι εκτρέπεται από το φυσιολογικό. Με τη χρήση της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης εξασφαλίζουμε το ότι πρόγραμμα καταλαβαίνει ως διαφορετικό κάθε ασθενή και έτσι τον επεξεργάζεται. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε καλύτερα και στατιστικά σωστότερα αποτελέσματα. Έτσι, στο μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης καθορίζοντας την ώρα της ημέρας και τον κάθε ασθενή ξεχωριστά τόσο η CRI όσο και ο Dst βρέθηκαν να είναι

ανεξάρτητα συσχετισμένα με τον καρδιακό ρυθμό HR ($p < 0.01$). Η CRI ήταν αρνητικώς συσχετισμένη [regression coefficient: : -0.203 (95% CI: -0.011, -0.008) και $p\text{-value} < 0.01$, ενώ ο Dst ήταν θετικά με regression coefficient: 0.064 (95% CI: 0.028, 0.081) και $p\text{-value} < 0.01$.

Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

Variable	Standardized coefficients	95% confidence interval
Pts	0.073	0.012 - 0.028
CRI	-0.203	-0.011 - -0.008
Dst	0.064	0.028 - 0.081
Hour	0.188	0.331 - 0.453

Πίνακας 4.4 Συντελεστές συσχέτισης του HR με τις διάφορες μεταβλητές

Όσον αφορά στην ημερήσια (diurnal) επεξεργασία των δεδομένων, συγκρίθηκαν οι μετρήσεις καρδιακού ρυθμού για κάθε άτομο ξεχωριστά με τις αντίστοιχες μετρήσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Η στατιστική ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντικούς ($p < 0.05$) συντελεστές συσχέτισης για τους 41 από το σύνολο των 190 που ελέγχθηκαν (πίνακας 4.5).

pts number	gender	age	pvalue	coefficient
7	M	56	0.041	-0.43
9	F	55	0.007	-0.537
11		62	0.023	0.472
13		74	0.033	0.490
16	M		0.004	0.619
22	F	50	0.001	0.628
25	F	77	0.025	0.455
29	M	68	0.008	0.547
31	M	69	0.022	0.487
32	M	74	<0.001	0.71
40	F	81	0.034	0.489
41	M	83	0.004	0.560
47	F	74	0.001	0.630

51	M	62	0.001	0.693
70	M		0.026	0.485
78	M		0.035	0.486
93		64	0.001	0.638
97	M	61	0.049	0.434
99	M	24	<0.001	-0.740
113	M		<0.001	0.711
114	M		<0.001	0.866
115	M		<0.001	0.722
116	M		0.008	0.554
119	M		0.012	0.561
140		75	0.018	0.549
145	M	70	0.041	-0.472
148	M	49	0.041	0.430
149	F	52	0.001	0.677
151	M	68	0.003	0.582
152	M	32	0.036	0.429
158	F		0.006	0.541
159	M		0.022	0.465
161	F	52	0.003	0.576
169	M		0.001	0.668
171	F		0.028	0.492
176	F		0.012	0.528
177	M	27	0.02	0.473
179	M		0.001	0.619
181	F		0.010	0.514
187	M		0.049	-0.424
189	M		<0.001	0.676

***Statistically significant $p < 0.05$**

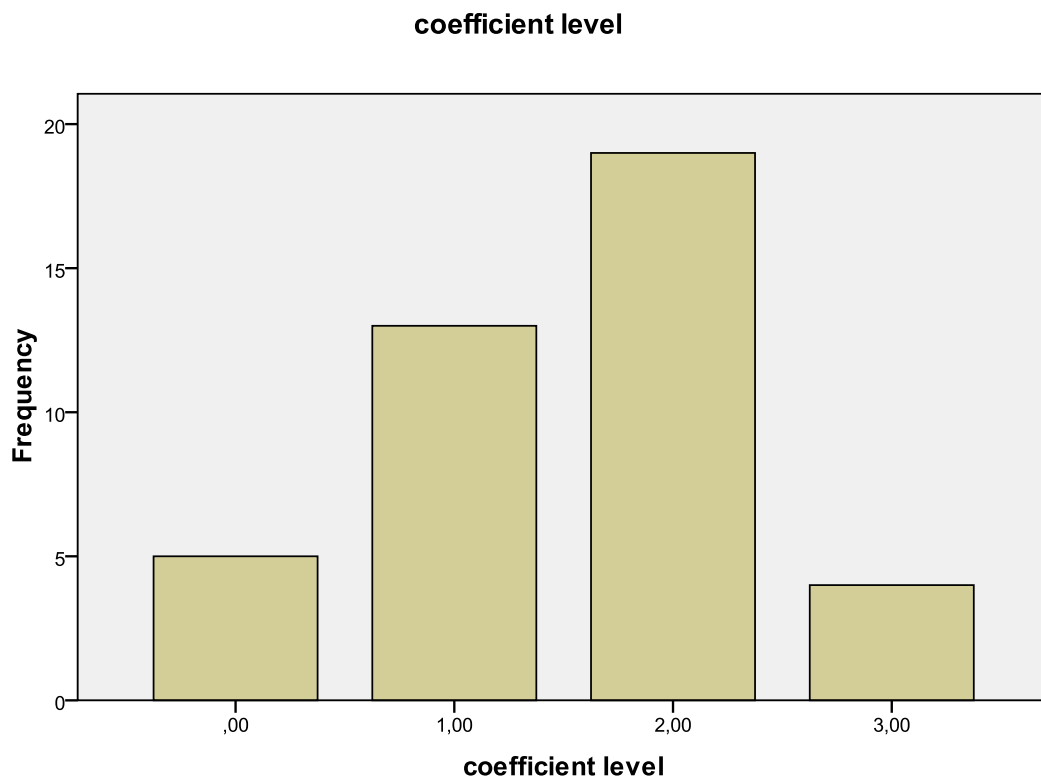
Πίνακας 4.5 Στατιστικά σημαντικοί συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του HR των εξεταζόμενων και του CRI σε ημερήσια βάση

Επίσης, οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές συσχέτισης χωρίστηκαν σε 4 επίπεδα ανάλογα την τιμή τους, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Levels	Coefficient intervals	Frequency
0	$Ci < 0$	5
1	$0.001 < Ci < 0.5$	13
2	$0.501 < Ci < 0.7$	19
3	$0.701 < Ci$	4

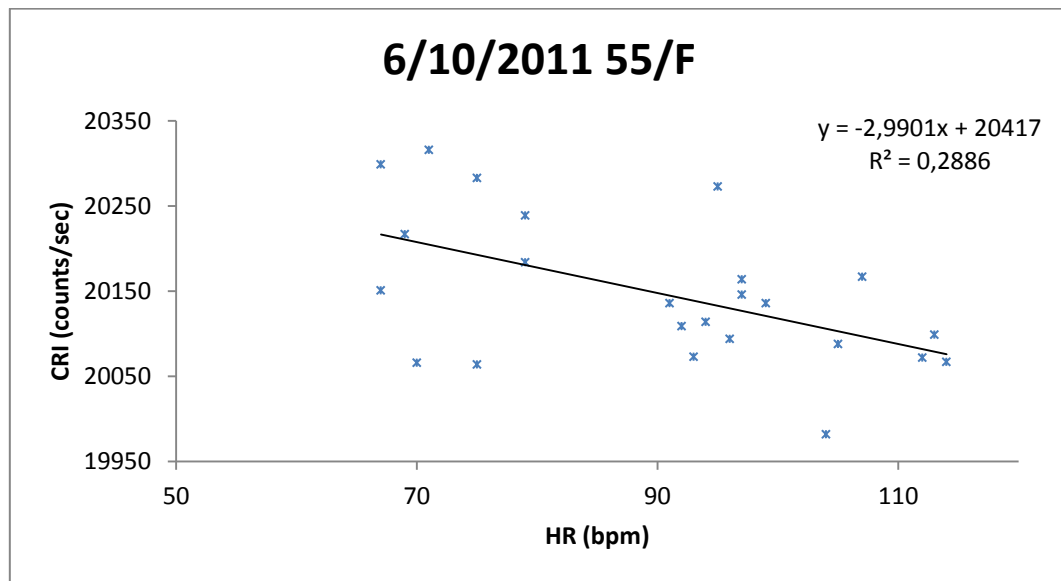
Πίνακας 4.6 Τα επίπεδα των συντελεστών συσχέτισης και οι αντίστοιχες συχνότητες

Η συχνότητα κάθε επιπέδου φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα.

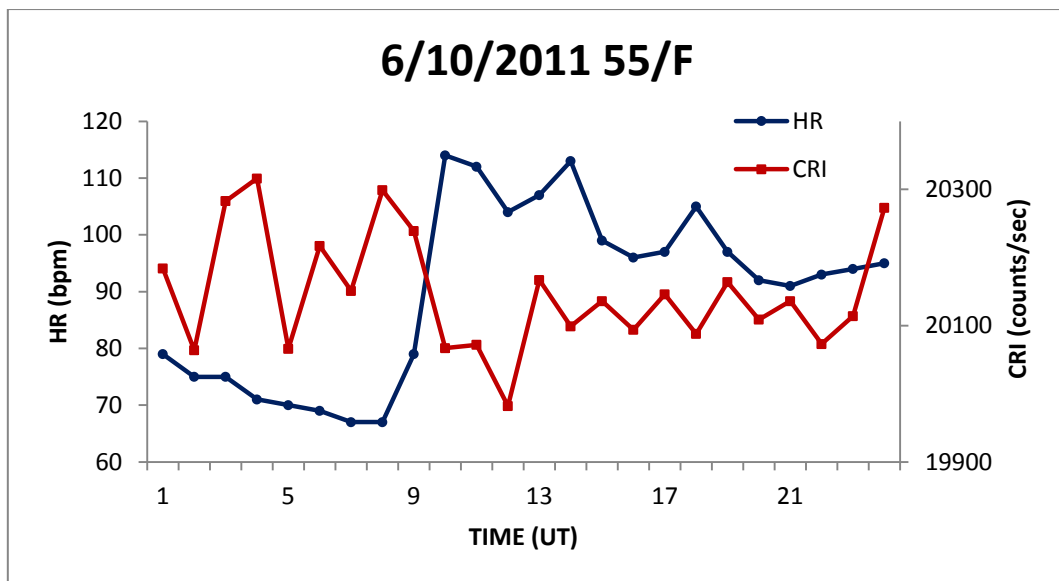


Σχήμα 4.8 Τα επίπεδα των συντελεστών συσχέτισης και οι αντίστοιχες συχνότητες

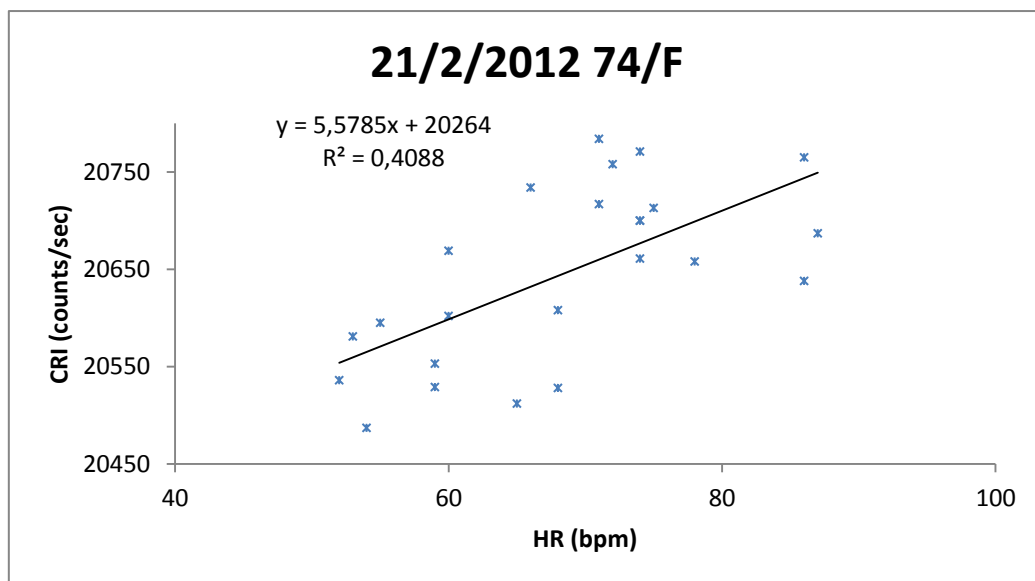
Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές ($p < 0.05$) ήταν 41 στο σύνολο των 190 που εξετάστηκαν. Μερικοί από αυτούς ήταν αρνητικοί (5), ενώ στην πλειοψηφία (36) ήταν θετικοί. Μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν - η αντίστοιχη εξίσωση φαίνεται πάνω στα σχήματα.



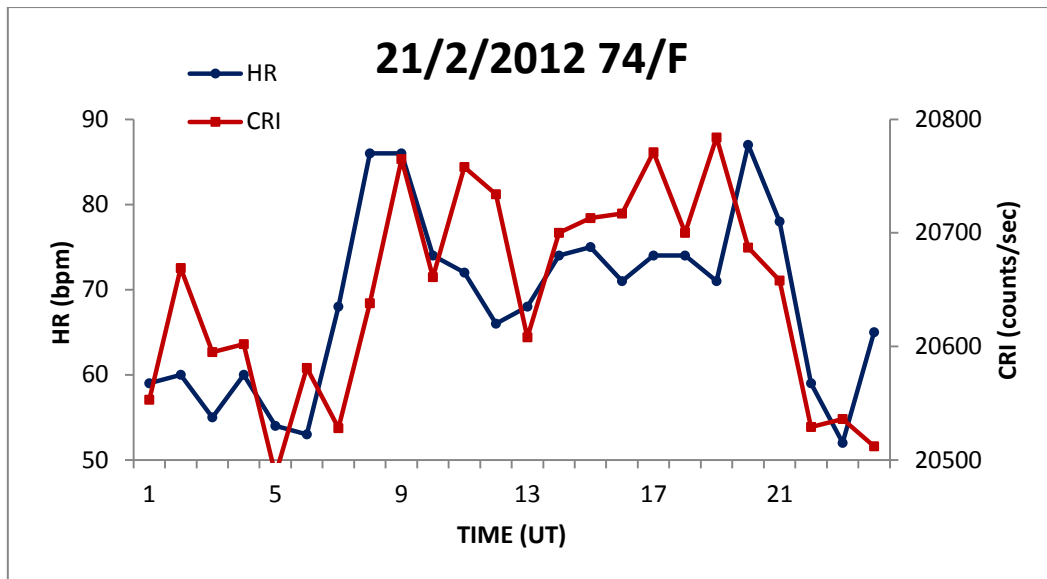
Σχήμα 4.9 Οι τιμές CRI και HR μιας γυναίκας 55 χρονών για την ημέρα 6/10/2011



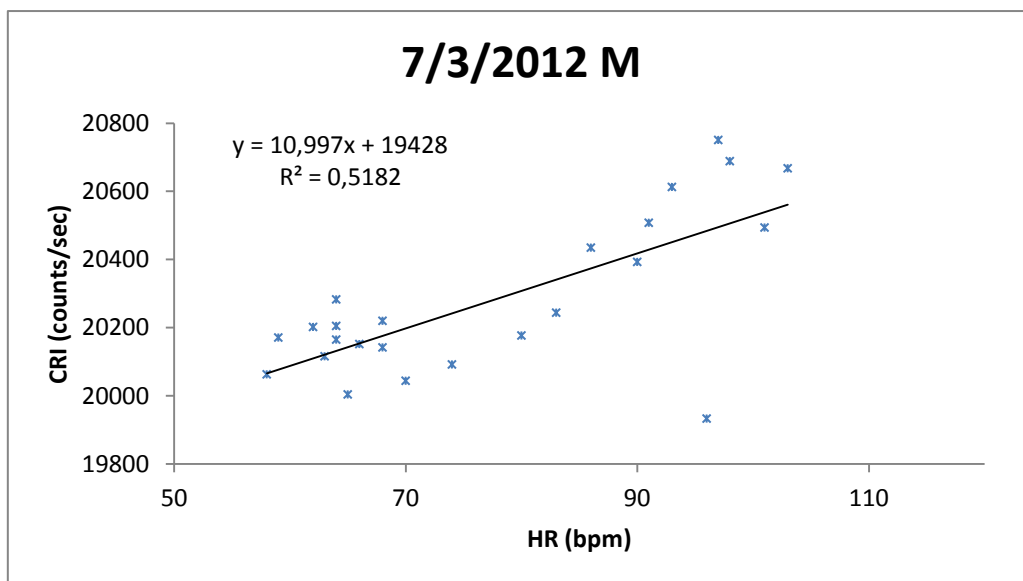
Σχήμα 4.10 Ημερήσια μεταβολή των τιμών CRI και HR μιας γυναίκας 55 χρονών για την ημέρα 6/10/2011



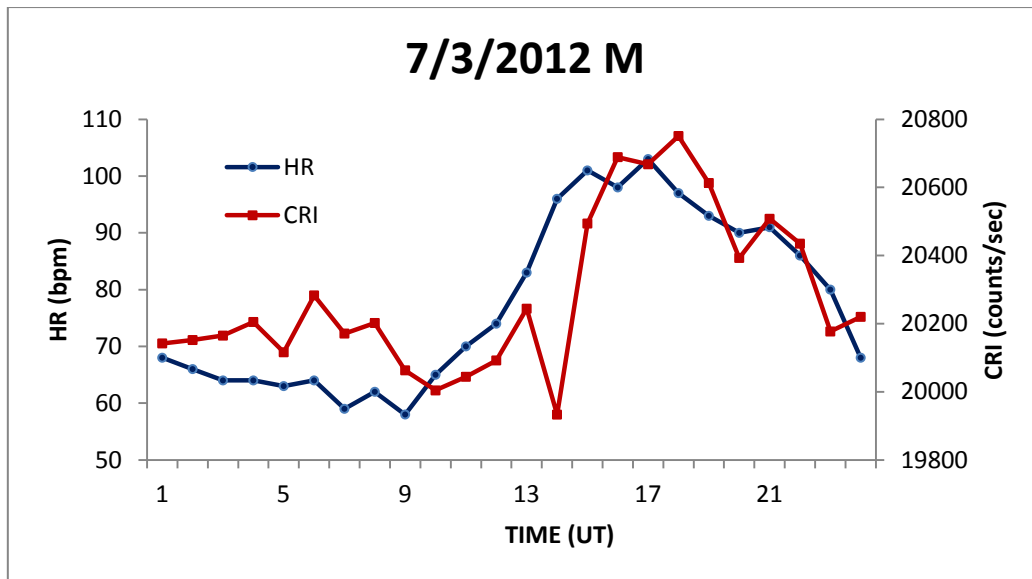
Σχήμα 4.11 Οι τιμές για CRI και HR μιας γυναίκας 74 χρονών για την ημέρα 21/2/2012



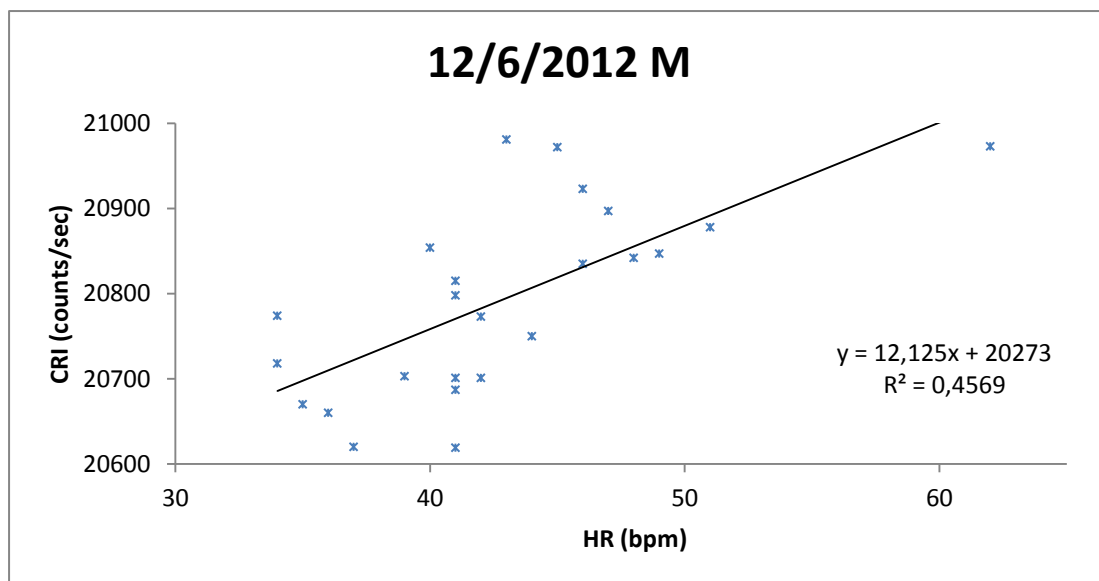
Σχήμα 4.12 Ημερήσια μεταβολή των τιμών CRI και HR μιας γυναίκας 74 χρονών για την ημέρα 21/2/2012



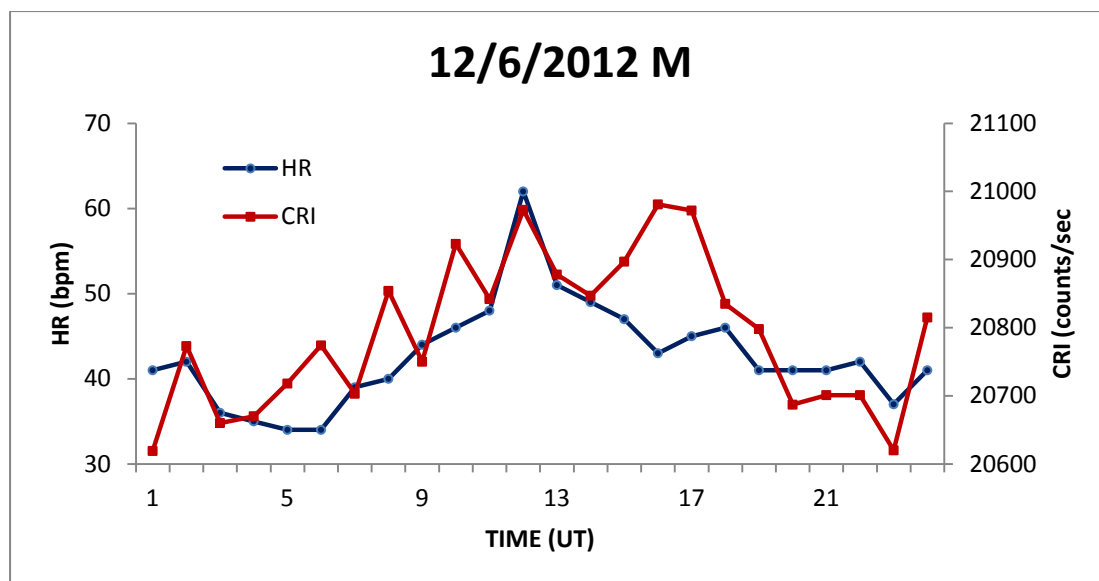
Σχήμα 4.13 Οι τιμές για CRI και HR ενός άνδρα για την ημέρα 7/3/2012



Σχήμα 4.14 Ημερήσια μεταβολή των τιμών CRI και HR ενός άνδρα για την ημέρα 7/3/2012

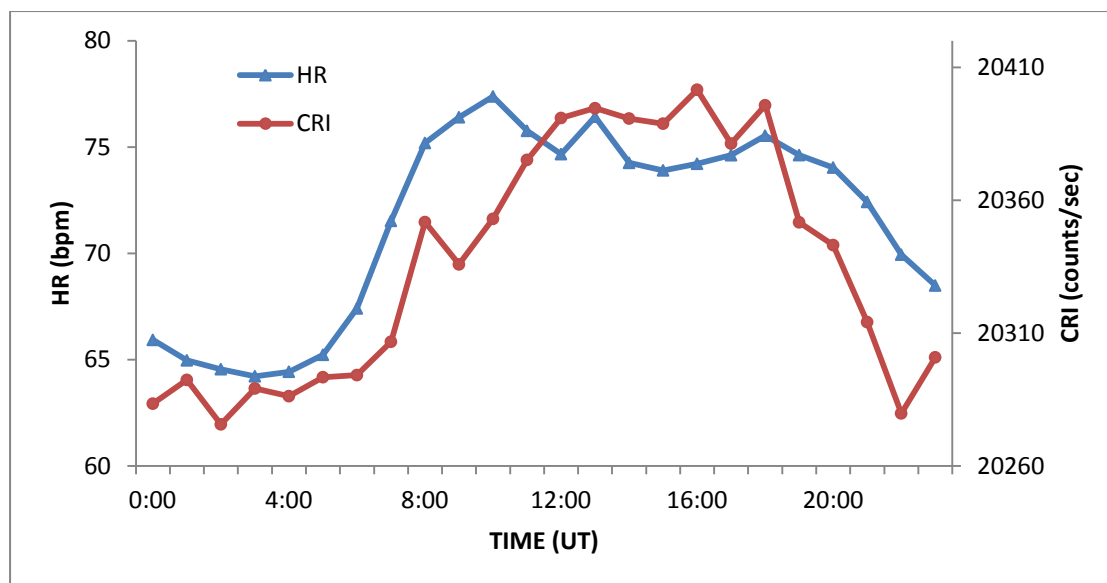


Σχήμα 4.15 Οι τιμές για CRI και HR ενός άνδρα για την ημέρα 12/6/2012

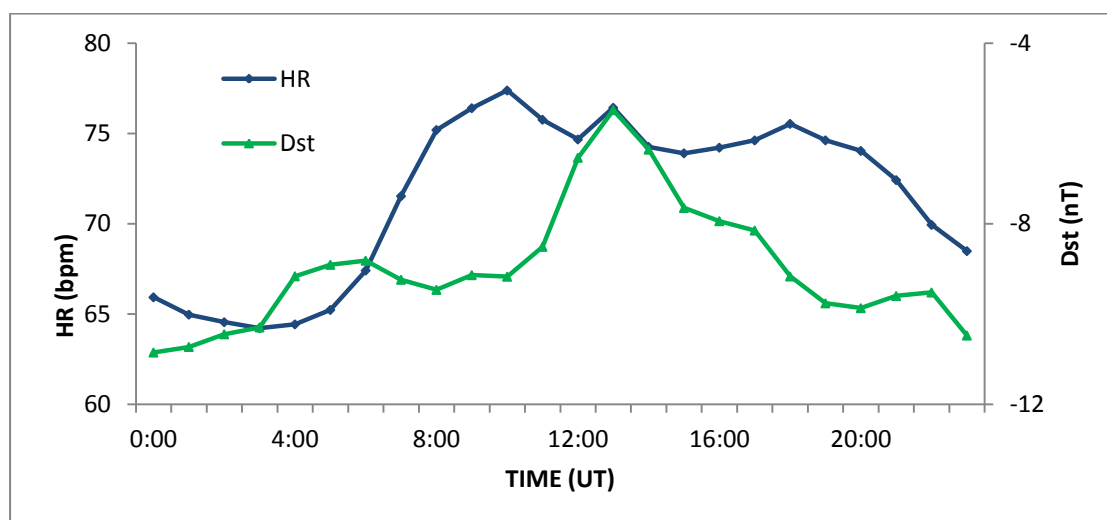


Σχήμα 4.16 Ημερήσια μεταβολή των τιμών CRI και HR ενός άνδρα για την ημέρα 12/6/2012

Επιπλέον για την καλύτερη αναπαράσταση και μελέτη της ημερήσιας διακύμανσης του καρδιακού ρυθμού των υποκειμένων ως σύνολο και της ημερήσιας μεταβολής τόσο της κοσμικής ακτινοβολίας όσο και του Dst, έγινε γραφική αναπαράστασή τους ως σύνολο κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Συγκεκριμένα, υπολογίσαμε τις μέσες τιμές των παραμέτρων HR, CRI και Dst, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με την ώρα της ημέρας βασισμένες στα δεδομένα μας. Η γραφική αναπαράσταση της σύνδεσης μεταξύ των ωριαίων τιμών HR και καθώς επίσης και των αντίστοιχων των HR και Dst φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



Σχήμα 4.17 Ημερήσια κατανομή των μέσων ωριαίων τιμών του HR και της CRI κατά τη χρονική περίοδο από Ιούλιο 2011 έως Ιούνιο 2012

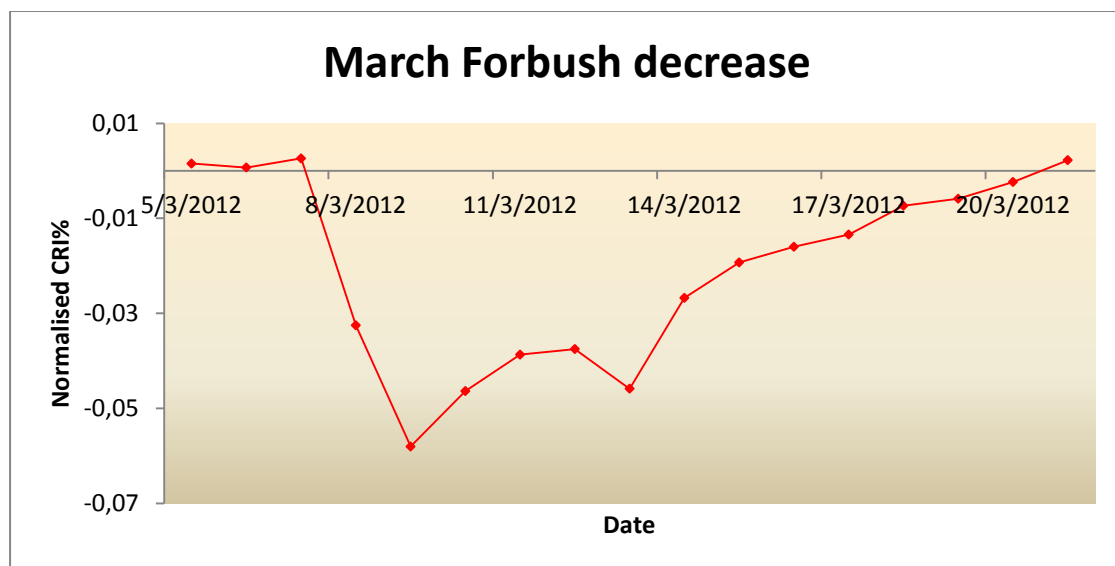


Σχήμα 4.18 Ημερήσια κατανομή των μέσων ωριαίων τιμών του HR και του Dst index κατά τη χρονική περίοδο από Ιούλιο 2011 έως Ιούνιο 2012

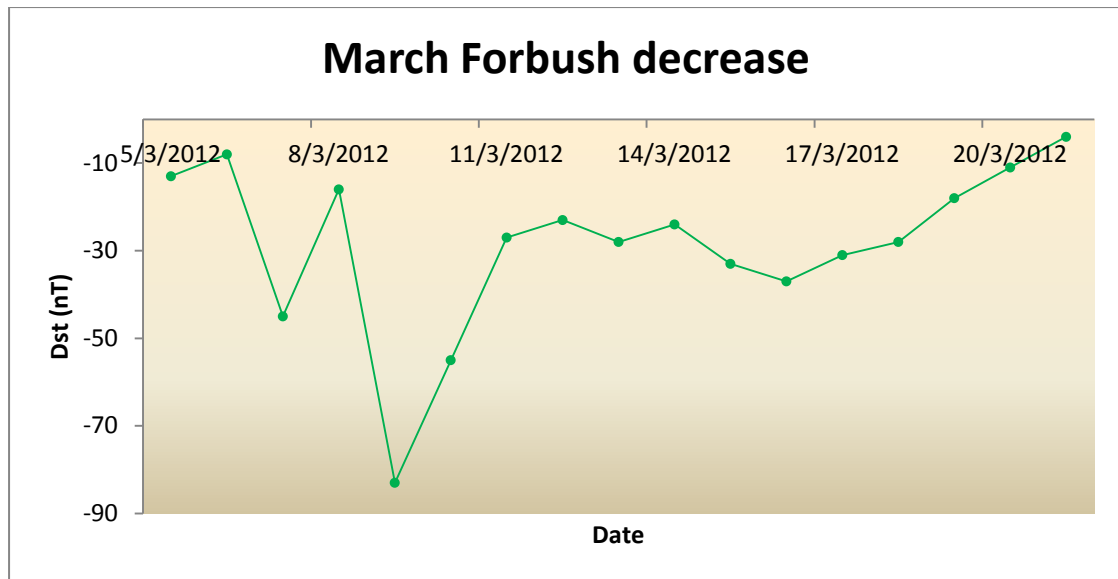
Τα σχήματα αυτά δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για στατιστική επεξεργασία, καθώς έχει γίνει η παραδοχή ότι η περίοδος που εξετάζουμε αναφέρεται σε ήσυχη περίοδο, πράγμα που στην πραγματικότητα δεν ισχύει αφού παρατηρήθηκαν σημαντικά γεγονότα, με χαρακτηριστικότερο την μείωση Forbush τον Μάρτιο του 2012. Η παραδοχή αυτή έγινε ώστε να βγάλουμε μέσες ωριαίες τιμές των παραμέτρων για όλες τις μέρες που είχαμε δεδομένα. Αν και τα παραπάνω

γραφήματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για στατιστική ανάλυση, είναι σημαντικά για μια ποιοτική προσέγγιση και μελέτη της τάσης της ημερήσιας μεταβολής που ακολουθούν οι παράμετροι μας. Έτσι όπως αναμέναμε θεωρητικά, παρατηρούμε το μέγιστο της κοσμικής ακτινοβολίας τις πρώτες απογευματινές ώρες, ενώ ο καρδιακός ρυθμός αυξάνεται τις πρώτες πρωινές ώρες (λόγω της επίδρασης των κατεχολαμινών).

Σε ένα άλλο επίπεδο, τα δεδομένα μας κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την ένταση των γεγονότων του διαστημικού καιρού που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου που εξετάζουμε. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση Forbush την περίοδο Μαρτίου 2012 και γι αυτό απομονώθηκε και αναλύθηκε ξεχωριστά. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εξετάστηκε ένα σύνολο 33 ασθενών που αντιστοιχούν σε 792 μετρήσεις καρδιακού ρυθμού. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν, αναλύθηκαν σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της κοσμικής ακτινοβολίας. Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης: -0.186 , $p < 0.01$) μεταξύ του καρδιακού ρυθμού και των αντίστοιχων τιμών κοσμικής ακτινοβολίας. Ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε περίπου ο ίδιος, με αυτόν στην συσχέτιση όλης της περιόδου (συντελεστής συσχέτισης -0.172).



Σχήμα 4.19 Μείωση Forbush κατά την περίοδο 5-21 Μαρτίου 2012-Normalised CRI%



Σχήμα 4.20 Μείωση Forbush κατά την περίοδο 5-21 Μαρτίου 2012- Dst index

Από τα παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι οι μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αντίστοιχες μεταβολές του Dst.

4.4 Συζήτηση

Τα αποτελέσματά μας δείχνουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του διαστημικού καιρού και του ανθρώπινου καρδιακού ρυθμού, όπως καταγράφηκαν από τις συσκευές Holter σε άτομα που νοσηλεύθηκαν ή επισκέφθηκαν τις δύο καρδιολογικές κλινικές τη χρονική περίοδο Ιουλίου 2011 έως Ιουνίου 2012. Αυτή η περίοδος είναι πολύ κοντά στο μέγιστο της περιόδου του 24 ου ηλιακού κύκλου, που ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2009 και αναμένεται να φτάσει στο μέγιστο το 2013. Θεωρείται ως μια ενεργητική περίοδος στον λιγότερο δραστήριο κύκλο των τελευταίων 100 ετών, σύμφωνα με προβλέψεις της NASA (Hathaway, 2012). Λαμβάνοντας υπόψη μας τα παραπάνω, υπήρχαν περιορισμένες παρατηρήσεις που αντιστοιχούν σε μέρες με έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα στην μελέτη μας και συνεπώς η διεξαγωγή αναφορικά με την σχέση μεταξύ HR και Dst υπό αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζεται περιορισμένη.

Η σχέση μεταξύ του ήλιου, της γεωμαγνητικής και κοσμικής δραστηριότητας με αλλαγές σε ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές και πληθώρα μελετών έχει δημοσιευθεί. Πρωτοπόρος ο Stoupel (*Stoupel et al., 1999;2002*) δημοσίευσε μια σειρά μελετών που αφορούν στις αλλαγές στον ανθρώπινο οργανισμό στις ημερήσιες και μηνιαίες μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τους *Stoupel et al., 2006b; 2006d*, τα δεδομένα από ημερήσια και μηνιαία εποχική μεταφορά των ξαφνικών καρδιακών θανάτων στην περιοχή του Baku δείχνουν ότι η θνησιμότητα από ξαφνικό καρδιακό θάνατο είναι μεγαλύτερη στα μέγιστα και ελάχιστα επίπεδα της ημερήσιας γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ενώ ο μηνιαίος αριθμός της θνησιμότητας από ξαφνικό καρδιακό θάνατο είναι αντίστροφα συσχετισμένος με την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν συνεχώς για μεγάλες χρονικές περιόδους συνδέουν τα οξεία εμφράγματα του μυοκαρδίου με την ηλιακή, γεωμαγνητική και της κοσμικής ακτινοβολίας δραστηριότητα (*Stoupel et al., 2005, Stoupel et., 2007b*). Το μηνιαίο ποσοστό των εμφραγμάτων του μυοκαρδίου ήταν αντίστροφα συσχετισμένο με την μηνιαία ηλιακή δραστηριότητα και θετικά συσχετισμένο με την δραστηριότητα της κοσμικής ακτινοβολίας.

Πολλοί ερευνητές έχουν στραφεί στην μελέτη του σύγχρονου πεδίου της κλινικής κοσμοβιολογίας. Οι μελέτες στοχεύουν στην εξέταση της ενδεχόμενης επίδρασης στην ανθρώπινη καρδιαγγειακή λειτουργία μέσω αλλαγών σε φυσιολογικές παραμέτρους όπως η αρτηριακή πίεση, ο καρδιακός ρυθμός, η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού κτλ. (*Babayev and Allahverdiyeva, 2007; Mavromichalaki et al., 2008; 2009; 2011 Dimitrova et al., 2009a; Papailiou et al., 2009, 2010; Ioannidou et al., 2012*).

Παλαιότερες μελέτες έδειξαν πως σε περιόδους υψηλής γεωμαγνητικής δραστηριότητας παρατηρείται μείωση των παραμέτρων της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού (*Baevsky et al., 1997; Stoilova and Dimitrova, 2008*). Σε πιο πρόσφατες μελέτες (*Dimitrova 2006; 2008a*) που αφορούσαν σε ένα σύνολο 86 υγείων εθελοντών εξετάστηκε η αρτηριακή πίεση (συστολική και διαστολική) σε σχέση με τα επίπεδα των δεικτών Ap, Dst και με τη μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Παρατηρήθηκε ότι η αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα καθώς και οι μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής

ακτινοβολίας σχετίζονται με αυξήσεις των εξεταζόμενων ανθρωπίνων παραμέτρων.

Τα αποτελέσματά μας από την παρούσα μελέτη είναι σε συμφωνία με παλαιότερες δημοσιευμένες μελέτες. Δύο πρόσφατες μελέτες εξέτασαν την ενδεχόμενη επίδραση της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας και των γεωμαγνητικών διαταραχών στην ανθρώπινη υγεία αναφορικά με την καρδιά. (Mavromichalaki et al., 2008; Mavromichalaki et al, 2012). Και οι δύο μελέτες αναφέρονται στην χρονική περίοδο από τον Ιούλιο 2006 έως Μάρτιο 2008 και περιλαμβάνουν ένα σύνολο 1673 μετρήσεων καρδιακού ρυθμού από εφτά υγιείς εθελοντές. Η καρδιακή συχνότητα μελετήθηκε σε σχέση με τις ημερήσιες μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και τις αντίστοιχες ημερήσιες μεταβολές των γεωμαγνητικών δεικτών Dst και Ap με έμφαση στις μέρες που λαμβάνουν χώρα γεωμαγνητικές καταιγίδες. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι οι επιπτώσεις στον καρδιακό ρυθμό ήταν σημαντικότερες στα χαμηλότερα επίπεδα του Dst (όταν λαμβάνει χώρα γεωμαγνητική καταιγίδα) και σε υψηλές μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (μείωση Forbush). Επίσης, καθορίστηκε ότι η καρδιακή συχνότητα αυξήθηκε τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια γεωμαγνητική καταιγίδα και στις ημέρες που προηγούνται αλλά και έπονται των μειώσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Και οι δύο μελέτες κατέληξαν στο ότι οι μεταβολές του καρδιακού ρυθμού μπορεί να συνδέονται με γεωμαγνητικές διαταραχές και μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Σε μια άλλη μελέτη, εξετάστηκαν οι μεταβολές του καρδιακού ρυθμού, η γεωμαγνητική δραστηριότητα και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σε ένα σύνολο 4018 πιλότων αεροσκαφών (υγιείς εθελοντές) (Papailiou et al., 2011). Οι ερευνητές κατέληξαν στο γεγονός ότι η καρδιαγγειακή λειτουργία των υποκειμένων επηρεάστηκε τόσο από τη γεωμαγνητική δραστηριότητα όσο και από τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Επίσης, έχει εξεταστεί ενδελεχώς η θνησιμότητα και η νοσηρότητα που προκαλούνται από καρδιαγγειακές παθήσεις. Συγκεκριμένα, οι Cornelissen et al. (2002) μελέτησαν την θνησιμότητα από έμφραγμα του μυοκαρδίου για μια περίοδο 29 ετών, στη Μινεσότα και βρήκαν έναν κύκλο περίπου 10.5 ετών παρόμοιο με τον ηλιακό κύκλο. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, η πιθανότητα θνησιμότητας εξαιτίας εμφράγματος του μυοκαρδίου αυξάνεται στη Minnesota κατά 5% κατά τη διάρκεια των ετών με μέγιστη ηλιακή δραστηριότητα συγκρινόμενη με αυτή για ελάχιστη ηλιακή δραστηριότητα. Μια άλλη μελέτη που διεξήχθη στη δημοκρατία της

Λιθουανίας για 249 συνεχόμενους μήνες στόχευσε να εξετάσει την ενδεχόμενη σύνδεση μεταξύ των παραμέτρων του διαστημικού καιρού, συμπεριλαμβανομένου της ηλιακής, της γεωμαγνητικής και της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας με τον μηνιαίο αριθμό θανάτων (*Stoupel et al., 2011*). Οι ερευνητές κατέληξαν στο γεγονός ότι παρατηρείται σχέση μεταξύ κοσμοφυσικής δραστηριότητας και του χρόνου των θανάτων.

Υπάρχει και μια σειρά μελετών στην βιβλιογραφία οι οποίες καταλήγουν στο ότι ακόμη κι όταν δεν συμβαίνουν συγκεκριμένες μεταβολές των κοσμοφυσικών παραγόντων, κάποιες φυσιολογικές παράμετροι εμφανίζουν έντονες μεταβολές (*Stoupel et al., 1991; Dimitrova 2009b*).

Όμως δεν κατέληξαν όλες οι μελέτες σε στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και του καρδιακού ρυθμού. Μια μελέτη που εξέτασε τις επιπτώσεις της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σε κάποιες καρδιαγγειακές παραμέτρους, βρήκε ότι η χαμηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα συνδέεται με διαταραχές στην καρδιακή λειτουργία, όπως σε υψηλότερα επίπεδα αυξητικών ορμονών και 11-κετοστεροειδή στο περιφερειακό αίμα, περισσότερους ξαφνικούς θανάτους και υψηλότερα επίπεδα κοιλιακής ταχυκαρδίας. Αντίθετα, άλλες παράμετροι που μελετήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, όπως τα επίπεδα αιμοσφαιρίνης, τα επίπεδα ηλεκτρολυτών, ο καρδιακός παλμός και η καρδιακή συχνότητα δεν βρέθηκαν να είναι συσχετισμένα με την γεωμαγνητική δραστηριότητα (*Stoupel, 2002*). Ομοίως, μια άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για 5 συνεχή έτη δεν βρήκε τέτοια συσχέτιση, αν και οι ερευνητές αναγνωρίζουν αρκετούς περιορισμούς στο σχεδιασμό της μελέτης (*Ghione et al., 1998*). Μια πρόσθετη μελέτη εξέτασε την ενδεχόμενη επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια ανάκαμψης μετά από άσκηση. Βρέθηκε ότι δεν υπάρχει γραμμική επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού μετά από σωματική άσκηση (*Weydahl, 2002*).

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί, ότι προκειμένου να καταλήξουμε σε οριστικά συμπεράσματα αναφορικά με την σύνδεσή (ή όχι) της γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τον καρδιακό ρυθμό, απαιτούνται μεγαλύτερες μελέτες με μεγαλύτερο δείγμα, οι οποίες πιθανώς θα περιλαμβάνουν περισσότερα δεδομένα που αφορούν σε γεωμαγνητικά φαινόμενα. Η πολυπλοκότητα και πολυαιτιότητα των

φαινομένων αυτών, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στον σχεδιασμό και την πραγμάτωση των μελετών αυτών, καθώς προσεγγίσεις επικεντρωμένες στη μελέτη μεμονωμένων παραμέτρων (χωρίς την εξέταση και τον καθορισμό πιθανών συνεργηστικών παραμέτρων) ενδεχομένως αποπροσανατολίζει την έρευνα που απαιτείται για τον καθορισμό των επιπτώσεων των παραμέτρων του διαστημικού καιρού στην ανθρώπινη υγεία. Για το λόγο αυτό, παρ'όλο που οι μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και στην γεωμαγνητική δραστηριότητα, σε κάποιες περιπτώσεις, φαίνεται να μην είναι ο κύριος παράγοντας που προκαλεί συγκεκριμένες ασθένειες, περισσότερες μελέτες είναι απαραίτητες προκειμένου να εξετάσουν τον ακριβή ρόλο αυτών των παραμέτρων στην ανάπτυξη των ασθενειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε την πιθανή συσχέτιση μεταξύ των μεταβολών του διαστημικού καιρού, χρησιμοποιώντας ως δείκτες τις μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και τον γεωμαγνητικό δείκτη Dst, με τον ανθρώπινο καρδιακό ρυθμό. Είναι ενδιαφέρον ότι με όλες τις στατιστικές μεθόδους που εφαρμόσαμε καταλήξαμε στα ίδια συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, βρέθηκε στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και του καρδιακού ρυθμού σε ημερήσια βάση. Ενώ για τον Dst δείκτη βρέθηκε να είναι θετικώς συσχετισμένος με τον καρδιακό ρυθμό, δείχνοντας την ύπαρξη επιπτώσεων των γεωμαγνητικών παραμέτρων στον καρδιακό ρυθμό. Σε ημερήσια βάση, η μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας συνδέεται σε κάποιες περιπτώσεις με τον καρδιακό ρυθμό. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματά μας, μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και στην γεωμαγνητική δραστηριότητα, θα μπορούσαν να είναι δείκτες του διαστημικού καιρού, οι οποίοι παίζουν κάποιο ρόλο στην ρύθμιση των κοσμοφυσικών παραγόντων στην καρδιολογική κατάσταση υγείας του ανθρώπου.

Από όλα τα παραπάνω φαίνεται η σημαντικότητα της κατανόησης και σύνδεσης του διαστημικού καιρού με την ανθρώπινη φυσιολογία με σκοπό την πρόληψη και θεραπεία φυσικών ή ψυχολογικών ασθενειών. Ο προσδιορισμός της πιθανής επίδρασης των κοσμοφυσικών παραμέτρων στον καρδιακό ρυθμό, ενδεχομένως να οδηγήσει σε νέους δρόμους για την πρόβλεψη και διαχείριση επιπτώσεων και κατ' επέκτασιν λήψη μέτρων για την προστασία ιδιαίτερων ομάδων πληθυσμού που εκτίθενται περισσότερο στις συνθήκες του Γεωπεριβάλλοντος, όπως τα πληρώματα αεροσκαφών, αλλά και ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού της Γης μας, όπως άνθρωποι με προϋπάρχοντα νοσήματα ηλικιωμένοι και παιδιά που από τη φύση τους είναι πιο ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές μεταβολές.

Επιπλέον, έχουν δημοσιευθεί πολλές μελέτες με αντικείμενο συναφές με αυτό της παρούσας, τα αποτελέσματά τους βρίσκονται σε μικρή ή μεγάλη συμφωνία με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από την εργασία αυτή. Ωστόσο, μεταξύ των διαφόρων μελετών εμφανίζονται και διαφορές αναφορικά με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά τους, γεγονός που καταδεικνύει την αναγκαιότητα για περαιτέρω έρευνα και μελέτη του αντικειμένου της κοσμοβιολογίας.

Η μελέτη που πραγματοποιήσαμε θα μπορούσε να επεκταθεί και σε σύγκριση μεταξύ πληθυσμών που ζουν σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, μιας και ως γνωστό η παράμετρος αυτή διαφοροποιεί σημαντικά την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας κι το γεωμαγνητικό πεδίο που διαφοροποιείται ανά τον κόσμο. Επίσης, θα μπορούσαν να γίνουν διακρίσεις ανά τον πληθυσμό όπως με κριτήριο την ηλικία ή και καθορισμένες ομάδες του πληθυσμού με κάποιο συγκεκριμένο προϋπάρχον νόσημα. Συγκεκριμένα, ενδεχομένως να ήταν ενδιαφέρον να απομονωθούν ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού βάση ηλικίας (ηλικιωμένοι και παιδιά) και να συγκριθεί η επίδραση των κοσμικών παραμέτρων με την αντίστοιχη επίδραση των παραμέτρων αυτών σε άτομα του γενικού πληθυσμού (άτομα αναφοράς). Αναφορικά με τη διάκριση σύμφωνα με κάποια προϋπάρχουσα κατάσταση υγείας, θα ήταν δόκιμο στην προκειμένη περίπτωση μιας και μελετούμε την παράμετρο του καρδιακού ρυθμού, να επιλεγούν άτομα με γνωστή καρδιακή νόσο και άτομα αναφοράς (υγιείς εθελοντές) ή άτομα του γενικού πληθυσμού, με σκοπό να συγκριθεί η επίδραση των κοσμοφυσικών παραμέτρων στις δύο αυτές ομάδες.

Μια διαφορετική και αξιόλογη προσέγγιση θα ήταν επίσης, να προστεθούν σαν εξεταζόμενοι παράγοντες κάποιες μετεωρολογικές παράμετροι, έτσι να μελετηθεί ο συνδυασμός της επίδρασης του διαστημικού και του μετεωρολογικού καιρού στις ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους. Η μελέτη της πιθανής συνέργειας των παραγόντων του περιβάλλοντος ενδεχομένως οδηγήσει πιο κοντά στην κατανόηση των μηχανισμών επίδρασης των φαινομένων αυτών στην ανθρώπινη φυσιολογία και συνεπώς συμβάλλει στην λήψη μέτρων κυρίως για πρόληψη, αλλά και θεραπεία. Τα φυσικά φαινόμενα είναι πολύπλοκα και πολυσύνθετα, όπως άλλωστε και ο ανθρώπινος οργανισμός συνεπώς το κλειδί θα πρέπει να αναζητηθεί σφαιρικά από την πολυαιτιότητα, συνυπαιτιότητα και αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων μαζί κι όχι εξέτασή τους ως μεμονωμένες παράμετροι. Πιθανώς η εξέταση κάθε παράγοντα ξεχωριστά να μην οδηγεί σε συγκεκριμένα συμπεράσματα για τις

αντίστοιχες επιπτώσεις υγείας, όμως η ταυτόχρονη δράση τους και η συνέργιά τους ίσως φανεί σημαντική προς την κατεύθυνση αυτή.

Συνοψίζοντας, η σε βάθος κατανόηση των πιθανών μηχανισμών που υπογραμμίζουν τη συσχέτιση των παραμέτρων του περιβάλλοντος με ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους, μοιάζει να είναι χρήσιμη στον καθορισμό της παθοφυσιολογίας, της προληψης, και θεραπείας των καρδαγγειακών ασθενειών, οι οποίες είναι σύνθετες και πολυπαραγοντικές. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος προς την κατεύθυνση αυτή. Δημοσιευμένες έρευνες επιβεβαιώνουν πως η επίδραση αυτή δεν είναι αμελητέα. Για τους λόγους αυτούς είναι αναγκαίο να συνεχιστεί η έρευνα στον τομέα αυτό της κοσμοβιολογίας, με σκοπό να εξεταστεί και να προσδιοριστεί η σχέση παραμέτρων του περιβάλλοντος με την ανθρώπινη υγεία. Περισσότερες μελέτες με μεγαλύτερα δείγματα πληθυσμού απαιτούνται για τον ακριβή καθορισμό του ρόλου των παραγόντων του διαστημικού καιρού στην ανθρώπινη υγεία.

Αναφορές

Altamura G., Toscano S., Gentilucci G., Ammirati F., Castro ., Pandozi C., Santini M. "Influence of digital and analogue cellular telephones on implanted pacemakers", Eur Heart Journal, 18(10): 1632-4161, 1997

Angelov I. et al., " The Forbush decrease after the GLE on 13 December 2006 detected by the muon telescope at BEO-Mussala, Advances in space research, 43, 504-508, 2009

Anh V.V, Yu Z. G., Wanliss J. A. and Watson S. M. "Prediction of magnetic storm events using the Dst index", Nonlinear Processes in Geophysics, 12, 799–806, 2005.

Ashkaliev Ia.F, Drobzhev V. I, Somsikov V.M, Turkeeva B.A, Iakovets T.K. "The effect of heliogeophysical parameters on the ecological situation", Biofizika. V. 40(5). P. 1031-7, 1995

Babayev E. and Allahverdiyeva A. " Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies", Adv. Space Res., V. 40, P. 1941-1951, 2007

Baevsky R.M. , Petrov V. M. , Cornelissen G., Halberg F. , Orth-Gomer K, Akerstedt T, Otsuka K, Breus T, Siegelova J, Dusek J, Fiser B. "Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease", Scripta Medica, V. 70(4-5), P. 201-6, 1997

Barnden, L. R. " Forbush Decreases 1966-1972: Their Solar and Inter-planetary Associations and their Anisotropies", 13th Int. Cosmic Rays Conf. Proc., 2 , p. 1271, 1973.

Bartels J. "The eccentric dipole approximating the earths magnetic field", Terr. Magn., 41, 3, 1936

Bazylevskaya G.A. "Solar cosmic rays in the near earth space and the atmosphere, ADvances in Space Research 35, 458-464,2005

Beck P. , Latocha M., Dorman L., Pelliccioni M. and Rollet S., "Measurements and simulations of the radiation exposure to aircraft crew workplaces due to cosmic radiation in the atmosphere", *Radiat Prot Dosimetry*, 126 (1-4): 564-567, 2007

Bhattacharyya A. and Mitra B. "Changes in cosmic ray cut-off rigidities due to secular variations of the geomagnetic field ", *Ann. Geophysicae* 15, 734-739, 1997

Bochev A., "A dipole Approximating to the highest Possible Degree the earth's Magnetic Field *Pure and Applied Geophysics* , Vol 74, 1969

Bolduc L. "GIC observations and studies in the Hydro-Québec power system", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, V. 64 (16), P. 1793–1802, 2002

Boudreau P., Yeh W.H., Dumont G.A. , Boivin D.B." A Circadian Rhythm in Heart Rate Variability Contributes to the Increased Cardiac Sympathovagal Response to Awakening in the Morning", *Chronobiology International*, 29(6): 757–768, 2012

Braun I. et al., "Forbush decreases and solar events seen in the 10-20 GeV energy range by the Karlsruhe Muon Telescope", *Advances in Space Research*, 43, 480-488, 2009

Budikofer R. et al., "The solar cosmic ray ground level enhancements on 20 January 2005 and 13 December 2006", *Advances in Space Research*, 43, 499-503, 2009

Campbell, Reece-Biology, 7th Ed. p.873,874

Cherry N. "Cardiac effects of natural and artificial EMR", Human sciences department, Lincoln University Canterbury, New Zealand, 2002

Cliver E.W. et al., "The 22-year cycle of geomagnetic and solar wind activity", *Geophys*, 27, 91-109, 1996

Conesa J. "Isolated sleep paralysis, vivid dreams and geomagnetic influences: II"Perceptual and motor skills, V. 85(2). P. 579-584, 1997

Cornelissen G. , Halberg F. , Breus T. Syutkina E.V, Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.E." Non-photic solar

associations of heart rate variability and myocardial infarction", JASTP. V.64. P. 707-720, 2002

Cornelissen G. , Halberg F., Kovac M., Mikulecky M., Otsuka K., Bakken E." Geographic and extraterrestrial aspects of morbidity and/or mortality patterns from myocardial infarction and stroke" Biomed. Pharmacother. V. 59. P. 68-75, 2005

Corsetti R., Lombardi G., Barassi A., Lanteri P., Colombini A., D'Eril G.M., Banfi G. "Cardiac indexes, cardiac damage biomarkers and energy expenditure in professional cyclists during the Giro d'Italia 3-weeks stage race", Biochem Med (Zagreb). V. 22(2). P. 237-46, 2012

Deagute JP, van de Borne P, Linkowski P, Van Couter E. " Quantitative analysis of the 24- hour blood pressure and heart rate patterns in young men", Hypertension, 18: 199-210, 1991

Dimitrova S. "Relationship between human physiological parameters and geomagnetic variations of solar origin", Advances in Space Research, 4(6):1251-1257, 2006

Dimitrova S. Possible heliogeophysical effects on human physiological state// Proc. IAU Symposium. V. 257.P. 65-67, 2008

Dimitrova S."Possible heliogeophysical effects on human physiological state", Universal heliophysical processes proceedings IAU Symposium No. 257, 2008a

Dimitrova S. , Mustafa F.R. , Stoilova I. , Babayev E.S. , Kazimov E.A." Possible influence of solar extreme events and related geomagnetic disturbances on human cardio-vascular state: results of collaborative Bulgarian-Azerbaijani studies", Adv. Space Res. V. 43. P. 641–648, 2009

Dimitrova S., Babayev E.S., Mustafa F.R., Stoilova I., Taseva T., Georgieva K. "Geomagnetic Storms and Acute Myocardial Infarctions Morbidity in Middle Latitudes", Sun and Geosphere, 4(2): 72-78, 2009a

- Dimitrova S. "Cosmic Rays Variations and Human Physiological State", Sun and Geosphere 4(2):79-83, 2009b
- Dorfman G., "Physical phenomena going on in living objects under the influence of static magnetic fields. In: influence of magnetic fields on biological objects", Moscow:Nauka (science), 15-23, 1971
- Dorman L.I. , Iucci N. , Ptitsyna N.G., Villaresi G. " Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infarct myocardial, brain strokes, car and train accidents" Proc. 27th ICRC (Hamburg). P. 3511-3514, 2001
- Fluckiger, E. O. "XIX ICRC Rapporteur Paper for Sessions SH5, SH6, and SH7", 19th Int. Cosmic Ray Conf. Proc., 9, p.301, 1985.
- Garcia T. B and Miller T. "Arrhythmia recognition :the art of interpretation, Jones and Barlett Publishers Inc, 2004
- Ghione S., Mezzasalma L., Del Seppia C., Papi F., "Do geomagnetic disturbances of solar origin affect arterial blood pressure? " Journal of Human Hypertension. V. 12. P. 749–754, 1998 .
- Giannaropoulou E., Papailiou M., Mavromichalaki H., Gigolashvili M., Tvildiani L., Janashia K., Preka – Papadema P., Papadima PTh. "Possible influence of the polarity reversal of the solar magnetic field on the various types of arrhythmias", Proc. 23rd ECRS (Moscow), ecrs_geo_615, 2012
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006) Textbook of Medical Physiology (11th ed.)
- Hathaway D.H, "Solar cycle prediction", National Aeronautics and Space Administration. <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>, 2012
- Hopstock L. A., Barnett A. G., Bønaa K. H., Mannsverk J., Njølstad I., Wilsgaard T. "Seasonal variation in cardiovascular disease risk factors in a subarctic population: the Tromso Study 1979-2008", Journal of Epidemiology and Community Health, 2012

Ioannidou S.P, Papailiou M., Mavromichalaki H., Apostolou Th., Paravolidakis K., Kouremeti M., Rentifis L. , Simantirakis E. , Xystouris G., "Impact of cosmic ray intensity and geomagnetic activity on human heart rate", Proceedings of the 'Space Weather effects on Humans: In space and Earth' Conference (Moscow, 4-7 June 2012) SWH P.49, 2012

Kagami S, Bradshaw SE, Fukumoto M, Tsukui I. "Cataracts in airline pilots: prevalence and aeromedical considerations in Japan". Aviation, Space and Environmental Medicine, 80(9):811-4, 2009

Kamide Y. et al., "Current understanding of magnetic storms : storm- substorm relationships", J Geophys., 17, 1-23, 1998

Kay RW. "Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission", The British Journal of psychiatry. V. 164(3). P. 403-9, 1994

Knox E.G., Armstrong E., Lancashire R., Wall M., Kaynes R. "Heart attacks and geomagnetic activity", Nature, 281(5732):564-5, 1979

Kolesnik A.G., Borodin A.S., Kolesnik S.A., Pobachenko S.V., "Resonant Mechanism of Solar- Terrestrial Relationships", Russian Physics Journal, 46, 8, 2003

Kumar V., Abbas A., Fausto N.: Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease, 7th Ed. p. 556.

Ladynin A.V and Popova A.A . "Optimization fitting of the eccentric dipole models to the observed geomagnetic field", Russian Geology and Geophysics, 50, 196-205, 2009

Longair, M. S.: "High Energy Astrophysics", 2nd ed., 1, Cambridge University Press, 1990

Marieb, Elaine Nicpon. Human Anatomy & Physiology. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2003

Mavromichalaki H. et al. "Solar cycle phenomena in cosmic ray intensity: differences between even and odd cycles, Earth, Moon, and Planets, 42, 233-244, 1988

Mavromichalaki H., " Application of diffusion-convection model to diurnal anisotropy data", Earth, Moon and Planets 47, pp. 61-72, 1989

Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S., Babayev E. S, Mustafa S.R.
"Geomagnetic disturbances and cosmic ray variations in relation to human cardio-health state: A wide collaboration" Proc. 21st ECRS. P. 351-356, 2008

Mavromichalaki H., Papailiou M., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S. "Physiological state of Slovak aviators in relation to geomagnetic disturbances and cosmic ray intensity variations". Proceedings of the 31st ICRC, LODZ, 2009

Mavromichalaki H., Papailiou M., Kudela K., Stetiarova J. "Effect of geomagnetic disturbances on physiological parameters: An investigation on aviators". Adv. Space Res.43:1545-50, 2011

Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S. , Babayev E. S. & Loucas P. "Space weather hazards and their impact on human cardio-health state parameters on Earth", Natural Hazards. DOI 10.1007/s11069-012-0306-2, 2012

McNarry M.A, Kingsley M.I, Lewis M.J. "The influence of exercise intensity on pulmonary oxygen uptake kinetics in young and late middle-aged adults", American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology, 2012

Mikulecký M. and Strestík J. "Cerebral infarction versus solar and geomagnetic activity: a cross-regression study" The Israel medical association Journal. V. 9(12). P. 835-8, 2007

Mok M.H. and Cheng M.K. "The day-night variation of cosmic rays intensity at sea level under the influence of meteorological fronts and troughs ", Proceedings of the 10th international Congress of IRPA, 2000

Murphy S.L, Xu J.Q, Kochanek K.D. " Deaths: Preliminary data for 2010", National vital statistics reports. V. 60 (4), 2012

Mursula, K. and Usoskin I.: "Heliospheric physics and cosmic rays", lecture notes, University of Oulu, 2003

Nagashima K. and Ueno H. , " Three dimensional cosmic ray anisotropy in interplanetary space , part II, Rep. Ionos. Res J 25, p. 212, 1971

Olbert S. "Atmospheric Effects on Cosmic-Ray Intensity Near Sea Level" Phys. Review. V. 92. P. 454–461, 1953.

Pal G.K., Chandrasekaran A., Hariharan A.P., Dutta T.K, Pal P., Nanda N., Venugopal L. "Body mass index contributes to sympathovagal imbalance in prehypertensives" BMC Cardiovasc Disord. V. 19; 12(1). P. 54, 2012

Papailiou M, Mavromichalaki H, Vassilaki A, Kelesidis KM, Mertzanos GA, Petropoulos B."Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during December 2006 solar extreme events." Adv Space Res 43:523–529, 2009

Papailiou M, Dimitrova S, Babayev ES, Mavromichalaki H. " Analysis of changes of cardiological parameters at middle latitude region in relation to geomagnetic disturbances and cosmic ray variations", In: Proceedings in (AIP) Conference, Vol 1203. pp 748–753. 2009

Papailiou M. , Mavromichalaki H. , Kudela K. , Stetiarova J. , Dimitrova S. , Giannaropoulou. E. : 'The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators' , ASTRA,7, 373-377, 2011

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J. , Dimitrova S. " Cosmic radiation influence on the physiological state of aviators", Natural Hazards. V. 61. P. 719-727, 2012

Pearson Ed., Emergency Medical Responder 3rd Can, 2010 p. 131

Perry F.S., Reichmanis M., Marino A.A., Becker R.O., "Environmental power-frequency magnetic fields and suicide" Health Physics, Vol 41, 267-277, 1981

Plainaki et al., "Modeling the solar cosmic ray event of 13 December 2006 using ground level neutron monitor data ", Advances in Space research, 43, 474-479, 2009

Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D., Karavaev .A.S. "Interaction between respiration and low frequency cardiovascular rhythms , Wold academy of science , Engineering and Technology 56, 2009

Reynolds P., Cone J., Layefsky M., Goldberg D.E., Hurley S., " Cancer incidence in California flight attendants (United States)", Cancer Causes and Control. V. 13(4). P. 317-24, 2002

Rosner B. "Fundamentals of Biostatistics" Cengage Learning, 2010

Sandercock G., Gladwell V., Dawson S., Nunan D., Brodie D., Beneke R. "Association between RR interval and high-frequency heart rate variability acquired during short-term, resting recordings with free and paced breathing, Physiol. Meas. 29, 795-802, 2008

Shea A.M and Smart F.D " Cosmic ray implications for Human Health, Space Science Reviews 93: 187-205,2000

Smart F.D and Shea A.M. "World grid of calculated cosmic ray vertical cut-off rigidities for epoch 2000.0, proceedings of the 30th International Cosmic Ray conference, V 1, 737-740, 2008

Sørensen M., Andersen Z.J., Nordsborg R.B., Jensen S.S., Lill Lund K.G., Beelen R., Schmidt E.B., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O." Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study" PLoS One. V. 7(6):e39283, 2012

Stapelberg N.J., Hamilton-Craig I., Neumann D.L., Shum D.H., McConnell H. " Mind and Heart: Heart Rate Variability in Major Depressive Disorder and Coronary Heart Disease - a Review and Recommendations" The Australian and New Zeland Journal of Psychiatry, 2012

Stefanovska A., Bracic Lotric M., Strie S., Haken H. "The cardiovascular system as coupled oscillators?", *Physiol. Meas.* 22, 535-550, 2001

Stoilova I. and Dimitrova S., " Geophysical variables and human health and behavior", Original Research Article, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* , 70(2-4): 428-435, 2008

Stoupel E, Shimsoni M, "Hospital cardiovascular deaths and total distribution of deaths in 180 consecutive months with with different cosmic physical activity: a correlation study(1974-1988)", *Int Journal in Biometeorology* 35:6-9,1991

Stoupel E, Wittenberg C, Zabłudowski J, Boner G., Ambulatory blood pressure monitoring in patients with hypertension on days of high and low geomagnetic activity. *J Hum Hypertens* 9:293–294, 1995

Stoupel E, Petrauskiene J, Abramson E, Kalediene R, Israelovich P, Sulkes J. "Relationship between deaths from stroke and ischemic heart disease--environmental implications", *Journal of Basic and clinical physiology and pharmacology*, 10(2):135-45,1999

Stoupel E, Petrauskiene J, Abramson E, Kalediene R, Sulkes J. "Distribution of monthly deaths, solar (SA) and geomagnetic (GMA) activity: their interrelationship in the last decade of the second millennium: the Lithuanian study 1990-1999". *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 56 Suppl 2:301s-308s,2002

Stoupel, E., Domarkiene, S., Radishauskas, R., Bernotiene, G., Abramson, E., Israelevich, P., and Sulkes, J.: Variants of Acute Myocardial Infarction in Relation to Cosmophysical Parameters, *Seminars in Cardiology*, 11, 51–55, 2005

Stoupel E. " Cardiac Arrhythmia and Geomagnetic Activity", *Indian Pacing Electrophysiol.* V. 6(1). P. 49-53, 2006a

Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Gaizauskiene A., Israelevich P., Abramson E., Sulkes J. "Monthly number of newborns and environmental physical activity" *Medicina (Kaunas, Lithuania)*,V. 2(3). P. 238-41, 2006b

Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P, Sulkes J. " Clinical Cosmobiology-sudden cardiac death and daily/monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity- the Baku study (2003-2005)" Sun Geosphere. V. 1. P. 13-16, 2006c

Stoupel E, Domarkiene S, Radishauskas R, Abramson E, Israelevich P, Sulkes J. "Neutrons and sudden cardiac death (SCD)", codes 121-125 ICD 10. Journal of Basic and clinical physiology and pharmacology, 17(1):45-53, 2006d

Stoupel E, Kalediene R, Petrauskiene J, Starkuviene S, Abramson E, Israelevich P, Sulkes J. "Clinical cosmobiology: distribution of deaths during 180 months and cosmophysical activity. The Lithuanian study, 1990-2004. The role of cosmic rays", Medicina (Kaunas), 43(10):824-31, 2007a

Stoupel E, Babayev E, Mustafa F, Abramson E, Israelevich P, Sulkes J. Acute myocardial infarction occurrence: environmental links - Baku 2003-2005 data. Medical Science Monitor.13(8):BR175-9, 2007b

Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Starkuviene S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J. Twenty years study of solar, geomagnetic, cosmic ray activity links with monthly deaths number (n=850304). J. Biomedical Science and Engineering, 4, 426-434, 2011

Suzuki K. , Miyamoto M , Miyamoto T. , Sakuta H. , Hirata K. " The impact of sleep disturbances on neuroendocrine and autonomic functions" Nihon Rinsho. V. 70 (7). P. 1169-76. 2012

Thom T.J. "International mortality from heart disease: rates and trends" International Journal of Epidemiology. V. 18(3 Suppl 1). P. S20-8, 1989

Tsipouras M.G., Fotiadis D.I., Sideris D., "An arrhythmia classification system based on the RR-interval signal" Artificial intelligence in Medicine, 33, 237-250, 2005

Ventriglio A., Borelli A., BelloMo A., Lepore A., "Birthdates of patients affected by mental illness and solar activity: A study from Italy" Advance Space Research 47:1135-1139, 2011

Villoresi G., Kopytenko YA, Ptitsyna NG, Tyasto MI, Kopytenko EA, Iucci N, Voronov PM, "The influence of geomagnetic storms and man-made magnetic field disturbances on the incidence of myocardial infarction in St. Petersburg (Russia)", *Phys Med* 10:107-117, 1994

Waydahl A. , Sothorn R.B. , Cornelissen G. , Wetterberg L. " Geomagnetic activity influences the melatonin secretion at latitude 70 degrees N" *Biomedicine and pharmacotherapy*. V. 55(1). P. 57s-62s, 2001

Weydahl A., Sothorn R.B, Cornélissen G." Non-linear relation of heart rate variability during exercise recovery with local geomagnetic activity", *Biomed Pharmacother*. V. 56. P 298–300, 2002

Whitsel E. A., Raghunathan T. E., Pearce R.M., Lin D., Rautahartju P.M., Lemaitre R., Siscovick D.S. "RR interval variation, the Qt interval index and risk of primary cardiac arrest among patients without clinically recognized heart disease, *European Heart Journal*, 22,165-173, 2001

Yu T, Parks BW, Yu S, Srivastava R, Gupta K, Wu X, Khaled S, Chang PY, Kabarowski JH, Kucik DF, " Iron-ion radiation accelerates atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice", *Radiation Research*, 175(6):766-73, 2011

Κρεμαστινός Θ. Κλινική Καρδιολογία, τόμος I, 2η έκδοση, Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης, 2009

Καλαχάνης Κωσταντίνος, "Περί της περιβαλλοντικής επίδρασης στην υγεία στο έργο του Ιπποκράτους", διπλωματική εργασία, 2011

Λουκάς Παναγιώτης, "Μελέτη των γεωμαγνητικών διαταραχών και των μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τις ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους", διπλωματική εργασία, τομέας πυρηνικής φυσικής και στοιχειωδών σωματιδίων ΕΚΠΑ, 2009

Μαυρομιχαλάκη Ε.: "Κοσμική ακτινοβολία", *Πανεπιστήμιο Αθηνών*, 2005

Μαυρομιχαλάκη Ε., "Κοσμική Ακτινοβολία", εκδόσεις Συμμετρία, 2009

Πανάρετος Ι. και Ξεκαλάκη Ε., "Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη", τόμος ΙΙ
"Εισαγωγή στις πιθανότητες και στην στατιστική συμπερασματολογία, Αθήνα 2000.

Αναφορές στο διαδίκτυο

auger.physics.wisc.edu/physics.php

neutronm.bartol.udel.edu/main.html

http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html

<http://cosray.phys.uoa.gr>

"Eating for a healthy heart" (<http://www.medicineweb.com/nutrition-/eating-for-a-healthy-heart>). MedicineWeb. . Retrieved 2009-03-31.

Division of Vital Statistics; Arialdi M. Miniño, M.P.H., Melonie P. Heron, Ph.D., Sherry L. Murphy, B.S., Kenneth D. Kochanek, M.A.(2007-08-21). "Deaths: Final data for 2004" (http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr55/nvsr55_19.pdf) (PDF). National Vital Statistics Reports (United States: Center for Disease Control) 55 (19): 7. . Retrieved 2007-12-30

<http://incardiology.gr>

<http://spidr.ngdc.noaa.gov>

<http://www.cbi.dongnocchi.it>

Biomedical Results From Apollo - Radiation Protection and Instrumentation

Πίνακας συντομογραφιών

Ένταση κοσμικής ακτινοβολίας

CRI

GMA

Γεωμαγνητική δραστηριότητα

HR

Καρδιακός ρυθμός

K.A.

Κοσμική ακτινοβολία

Impact of cosmic ray intensity and geomagnetic activity on human heart rate

S. P. Ioannidou¹, M. Papailiou¹, H. Mavromichalaki¹, Th. Apostolou², K. Paravididakis², M. Kouremeti³, L. Rentifis³, E. Simantirakis³, G. Xystouris¹.

¹Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, National and Kapodistrian University of Athens, 15784 Athens, Greece (emavromi@phys.uoa.gr)

²Cardiology Department, Nikaia General Hospital, Piraeus, Greece

³Cardiology Department, Heraklion University Hospital, Heraklion, Crete, Greece

ABSTRACT

Accumulating evidence suggests a link between solar and geomagnetic disturbances and human physiological parameters. Several published studies have addressed the alterations in human physiological responses at different levels of geomagnetic activity. We sought to examine the potential association between heart rate variations and specific cosmophysical activities. In the present study, a total of 190 individuals treated at the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece, were assessed from July 2011 to June 2012. The heart rate of the subjects was recorded hourly by a Holter monitor, while the hourly variations of the cosmic ray intensity and the geomagnetic index Dst were measured by the Neutron Monitor Station of the Athens University and the Kyoto Observatory, respectively. Statistical methods included the ANalysis Of VAriance (ANOVA) and the Multiple Linear Regression analysis. A statistically significant effect of both cosmic ray and geomagnetic activity on heart rate was observed (negative and positive correlation, respectively). Our findings indicate that changes in space weather parameters could be possibly related to heart rate variations.

KEYWORDS

Cosmic ray intensity, geomagnetic activity, magnetic storms, space weather, heart rate

1. INTRODUCTION

Cosmic rays are energetic subatomic particles with a large energetic range ($10^6 - 10^{21}$ eV) and their precise origin is still unknown. Cosmic rays are divided into two categories, the primary cosmic rays and the secondary particles. When the primary cosmic rays enter the Earth's atmosphere they collide with molecules, mainly oxygen and nitrogen and a cascade of billions of lighter particles are produced (secondary particles). Cosmic rays are everywhere, and several dozen slam into our body every moment. Our body receives an average dose of about 2.4 mSv of radiation due to the cosmic rays every year. The intensity of the primary and secondary cosmic ray particles is known as the cosmic ray intensity (CRI). High energetic cosmic particles are primarily detected from ground detectors. Grossly, CRI depends on the altitude and latitude, as the Earth's magnetic field deflects some of the cosmic radiation away from the Earth and the shielding ability of the magnetic field is more effective over the equator than over the poles. Moreover the Sun's magnetic field can deflect cosmic ray particles away from the Earth, depending on the phase of solar cycle. When solar activity is low (solar minimum), the magnetic field is less effective to deflect particles. On the other hand, Sun ejects energetic particles (solar flares and coronal mass ejections) that contribute to the cosmic ray intensity. This intensity is also affected by atmospheric conditions, such as atmospheric temperature and pressure (*Olbert, 1953*).

Geomagnetic activity (GMA) is caused by solar wind, which hits the Earth with hot, magnetized, supersonic plasma that carries a large amount of energy (kinetic and electric). This energy is drained to the Earth's magnetosphere causing geomagnetic storms, substorms and auroras, which constitute the geomagnetic activity. The level of this activity is measured by using different geomagnetic indices, such as Kp, Ap and Disturbances Storm Time index (Dst), which is used in the present study. A negative Dst index value means that Earth's magnetic field is weakened. This is particularly the case during solar storms. A geomagnetic storm is caused by a solar wind shock wave and cloud of magnetic field which interacts with the Earth's magnetic field. The frequency of geomagnetic storms depends on the sunspot cycle.

According to the United States National Space Weather Program, space weather “refers to conditions on the Sun and in the solar wind, magnetosphere, ionosphere and thermosphere that can influence the performance and reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life or health” (<http://www.nswp.gov/>). Interestingly, space weather may affect many aspects of human life and health (*Stoupel, 2006a*). In 1989, a geomagnetic storm energized ground (Ground Level Enhancement- GLE) induced currents which disrupted electric power distribution throughout most of the province of Quebec (*Bolduc, 2002*). Space weather effects on human health depend on the latitude and altitude; in this regard, people living at higher altitude can obtain several times more cosmic radiation than at sea level, and long-distance airline crews can significantly increase their yearly ionizing radiation exposure due to this source (*Beck et al., 2007*). The potential health outcomes such as the occurrence of cataract and the increased incidence of cancer in aircraft crews have been discussed in many studies (*Kagami et al., 2009; Reynolds et al., 2002*). Furthermore, since the intensity of cosmic rays is much higher outside the Earth's atmosphere and its magnetic field, it is expected to have a major impact on astronaut health, and therefore should be taken under consideration in the design of

spacecraft that can safely transport humans in interplanetary space. Last, a study conducted by the University of Alabama at Birmingham concluded that cosmic radiation is related to the occurrence of atherosclerosis (Yu *et al.*, 2011).

The potential relationship between space weather and human physiological parameters has been studied extensively. Specifically, many studies have examined the impact of geomagnetic factors and cosmic ray intensity on physiological human parameters. These cosmophysical factors may affect the function of human brain and nervous system, and have been associated with cerebrovascular accidents, disturbances on circadian rhythm, as well as motor vehicle accidents. Specifically, cosmo-geophysical parameters appear to be related to the occurrence of cerebrovascular infarctions (Mikulecký and Strestík, 2007). In addition, it has been observed that geomagnetic activity influences the melatonin secretion and is therefore related to changes in normal sleep patterns (Conesa, 1997; Weydahl *et al.*, 2001). Geomagnetic variations have been related to motor vehicle accidents, which in turn were associated with increased driver anxiety and nervousness (Ascikaliev *et al.*, 1995; Dorman *et al.*, 2001). Space weather also seems to affect human emotional state. Geomagnetic storms may play a significant role in the seasonal increase of incidents with depression in susceptible individuals (Babayev and Allahverdiyeva, 2007). Similarly, a raise in hospital admissions with depression and manic-depressive illness during the week which follows a geomagnetic storm has been observed (Kay, 1994). Last, the number of monthly newborns (of both genders) has been related to the level of monthly cosmic ray intensity and solar activity indices 9 months before the month of delivery (Stoupel *et al.*, 2006b).

Heart rate is a physiological parameter that may reflect the response of the human body in external or internal stimuli. Heart rate is regulated by the combination of the neural and chemical components in the body and it is generally genetically determined. It varies among individuals, and can also be affected by many variables such as the age, the sex, substances and drugs, the lifestyle, the variations in temperature, pressure, humidity and other meteorological parameters and disease states (Hopstock *et al.*, 2012; Pal *et al.*, 2012; McNarry *et al.*, 2012; Corsetti *et al.*, 2012). Also, situations as lack of sleep, irritability, rapid changes in blood chemistry can diversify the heart rate (Suzuki *et al.*, 2012; Sørensen *et al.*, 2012). Moreover, emotions play a significant role, especially the condition of stress (Stapelberg *et al.*, 2012). In addition to these factors, disturbances in cosmophysical parameters may also play a role in the observed variations in human heart rate.

During the last decades many researchers have dealt with the potential relationship between space weather and cardiovascular homeostasis. Many studies have demonstrated that geomagnetic activity (GMA) and cosmic ray intensity (CRI), are associated with variations in human physiological parameters such as heart rate (HR) and arterial blood pressure (Dimitrova, 2008; Mavromichalaki *et al.*, 2008; Papailiou *et al.*, 2011; 2012). Also, there is a link between the above indicators (GMA, CRI) with cardiovascular disease, including arrhythmias, ischemic heart disease, and myocardial infarction (Baevsky *et al.*, 1997; Dorman *et al.*, 2001; Cornelissen *et al.*, 2002; Stoupel *et al.*, 2002; 2007). It has been indicated that the daily and monthly temporal distribution of sudden cardiac death and therefore the sudden cardiac death mortality is higher on the highest and lowest daily levels of GMA, while the monthly number of sudden cardiac mortality is inversely related to solar and geomagnetic activity (Stoupel *et al.*, 2006c). Furthermore, decrease in

parameters of heart rate variability has been determined in periods which characterized by high geomagnetic activity (*Baevsky et al., 1997; Dimitrova et al., 2009*). In addition, a temporal relationship has been suggested between the periodicities of geomagnetic phenomena of the solar cycle and cardiovascular incidents (*Cornelissen et al., 2005*). Furthermore, myocardial infarctions and heart arrhythmias have been connected with the periodicity of the solar activity (11 year cycle) and geomagnetic storms, while others have observed a relation between polarity reversal of solar magnetic field and various types of arrhythmias (*Giannaropoulou et al., 2012*).

Despite the accumulating evidence regarding the impact of space weather on human health, no definitive studies have been published yet. Taking into account that heart disease is the leading cause of mortality (*Thom, 1989; Murphy et al., 2012; http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr60/nvsr60_04.pdf*), the study of factors that may adversely affect cardiac functionality is of great importance. In this context, we sought to examine the possible association of the cosmic ray intensity and the geomagnetic activity with human heart rate. A sample of 190 individuals monitored with a Holter monitor at the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece, were assessed from July 2011 to June 2012. The hourly variations of the cosmic ray intensity and the geomagnetic index Dst measured by the Athens Neutron Monitor Station and the Kyoto Observatory, respectively, were also used. The statistical methods of Analysis Of VAriance (ANOVA) and Multiple Linear Regression analysis were applied to evaluate the effect of both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the heart rate variations.

2. DATA AND METHOD OF ANALYSIS

For the purposes of this work medical data as well as cosmic ray intensity and geomagnetic activity data were used.

MEDICAL DATA

In this study, a total of 190 people were assessed in the time period from July 2011 to June 2012. Data on the hourly heart rate were collected during their treatment in the Cardiology clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece. The patients' heart rate was monitored using a Holter (ambulatory electrocardiography) device. This device records the heart rate on a 24-hour base, while the patient carries out everyday life activities. Each one of the Holter devices was placed in each patient for 24 hours.

COSMIC RAY INTENSITY DATA

The hourly corrected for pressure values of the hadronic component of the cosmic ray intensity, were adapted from the Athens Neutron MOnitor DAta Processing centre (ANMODAP) of the National and Kapodistrian University of Athens. The Athens Neutron Monitor Station is a modern one providing high resolution real-time cosmic ray data to the Internet (<http://cosray.phys.uoa.gr>), while those are transferred every 1-min to the European High resolution Neutron Monitor Database (<http://www.nmdb.eu>). This station is located at the University Campus at

260 m above the sea level and detects particles with a cut-off rigidity of 8.53 GV. The cosmic ray intensity data were normalized according to the relation

$$[CRI_{obs} - CRI_{aver}] / CRI_{aver}$$

Where CRI_{obs} is the observed value and CRI_{aver} is the average CRI pertaining to the examined period. The normalized cosmic ray intensity values (%) during the time period under examination are presented in Figure 1a. The total values were divided into five levels (0, 1, 2, 3, 4) corresponding to the CRI intervals given in Table 1. A similar technique has been used in previous studies, such as by *Papailiou et al. (2011)*.

GEOMAGNETIC ACTIVITY DATA

The geomagnetic activity during the time period that the above mentioned medical data were recorded, was analyzed. For this reason, hourly values of the geomagnetic index Dst was used. These data were obtained from the World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto, which provides online real-time data (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html). Dst index variations during the examined period are shown in Figure 1b. The GMA data were divided into five levels (0, 1, 2, 3, 4), as in the CRI data, according to Dst index values given in Table 1. This stratification technique has been used in the past (*Papailiou et al., 2011*).

STATISTICAL METHODS

The statistical methods of Analysis Of VAriance (ANOVA) and Multiple Linear Regression analysis were applied to evaluate the effect of both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the heart rate variations. The respective levels of significance (p-values) were calculated and discussed. In the applied regression models, the HR was taken as dependent variable, while the independent variables included the CRI, the Dst index, the time of data recording, and a unique patient identifier (to control for inter-patient variability). The statistical package SPSS version 17.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and STATISTICA (ver. 6, Stat-Soft Inc., 2001), were used for the statistical analyses.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As it was mentioned above, a sample of a total of 190 individuals was examined, among which 106 (56%) were men, 74 (39%) were women and 10 (5%) unknown, while their average age was 64 years. In total, 4560 measurements of heart rate, Dst index and cosmic ray intensity were recorded and analyzed (Figure 2).

At first, the heart rate variations of the individuals were analyzed with regard to CRI and Dst index variations using the method of ANOVA analysis. This analysis indicated a statistically significant negative correlation between HR and CRI ($p < 0.01$). The mean heart rate values in the different cosmic ray intensity levels are presented in Figure 3. It is noticed that the highest heart rate was documented at the

lowest CRI level, and as the mean cosmic ray intensity increased, the heart rate decreased. In contrast, no significant association between heart rate and Dst index variations was observed ($p=0.064$; Table 1), as depicted in Figure 4, where the mean heart rate values in the different Dst index levels are presented. In the lowest levels of Dst index that correspond to low geomagnetic activity, the variations of the heart rate were small.

According to the multiple linear regression model, after adjusting for day time and individual patient, both CRI and Dst index were found to be independently associated with HR. The cosmic ray activity was negatively correlated to the heart rate with a regression coefficient: -0.203 (95% CI: $-0.011, -0.008$) and $p_{\text{value}} < 0.01$, while Dst index values were positively correlated with a regression coefficient: 0.064 (95% CI: $0.028, 0.081$) and $p_{\text{value}} < 0.01$.

Moreover, the average HR, CRI, and Dst values, stratified by day time, based on our data, were calculated. A graphic presentation of the mean hourly HR and CRI values, as well as of the mean hourly HR and Dst ones, is given in Figures 5 & 6, respectively.

Our results suggest a statistically significant association between space weather and human heart rate, as assessed by ambulatory Holter monitoring in individuals treated in two cardiology clinics in Greece, from July 2011 through June 2012. This time period is very close to the maximum period of the solar cycle 24 starting in January 2009 and is predicted to peak in 2013; it is considered to be an active period in the last active cycle in the past 100 years, according to NASA's predictions (*Hathaway, 2012; Paouris et al., 2012*). In this regard, there were limited observations corresponding to days with strong geomagnetic disturbances (low GMA) in our study, and the extrapolation of our findings regarding the relationship between HR and Dst to such a setting may be limited.

Our findings are in concordance with previous studies. Two recent studies examined the potential influence of cosmic ray activity and geomagnetic disturbances on human cardio-health state (*Mavromichalaki et al., 2008; Mavromichalaki et al., 2012*). Both studies refer to the time period from July 2006 to March 2008 and included a total of 1673 measurements of HR from seven healthy volunteers. The HR was studied in relation to daily variations in cosmic ray intensity (CRI) and the respective daily variations of Dst and Ap geomagnetic indices, with a focus on days of geomagnetic storms. The investigators observed that the effects on HR were stronger in the low levels of Dst (when geomagnetic storms exist) and in high CRI decreases (Forbush decrease). It was as well determined that HR increased on the days before, during and after geomagnetic storms and on the days preceding, and following CRI decreases. Both studies concluded that HR variations might be connected to geomagnetic disturbances and CRI variations. In another study, the variations of heart rate, geomagnetic activity and cosmic ray intensity were examined in a group of 4018 aviators (healthy volunteers) (*Papailiou et al., 2011*). The investigators concluded that the cardiovascular function of the subjects was affected by both geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations.

However, not all studies have detected a statistically significant relationship between GMA and HR. A study examining the effect of geomagnetic activity on some cardiovascular parameters found that low GMA was associated with

disturbances in heart functionality such as higher levels of growth hormone and 11-ketosteroids in the peripheral blood, more sudden deaths and higher rate of ventricular tachycardia. In contrast, other studied parameters, including hemoglobin level, electrolyte level, heart beat and pulse rate, were found not to be related to the GMA (Stoupel, 2002). Similarly, another study conducted for about 5 consecutive years found no such association, although the investigators acknowledged several limitations in the study design (Ghione *et al.*, 1998). An additional study examined the potential influence of GMA on heart rate variability during exercise recovery. And found out that there is no linear effect of GMA on heart rate variability after the exercises (Weydahl, 2002).

It should be noted that, in order to reach definitive conclusions about the association (or not) of GMA with HR, larger studies with long follow up, which might include more data about GMA events, are warranted. Multicausality and multicomplexity should be taken under consideration in the design of such studies, since approaches focusing only on individual parameters (not adjusting for possible cofounders) may mislead research needed to clarify the impact of space weather parameters on health. Therefore, even though CRI and GMA variations, in some cases, seem not to be the main contributors in causing specific illnesses, further research is warranted to examine their precise role in the development of disease.

CONCLUSION

This study examined the potential association between Space Weather variations, indicating by the cosmic ray intensity and the geomagnetic activity parameters, with the human heart rate. It is interesting that a statistically significant inverse relationship between cosmic ray intensity and heart rate on a daily basis was found. While the Dst index values were positively associated with the heart rate, indicating a significant effect of geomagnetic parameters on human heart rate. In this regard, the thorough comprehension of the profound mechanisms underlying this association may be helpful in identifying the pathophysiology, prevention, and treatment of cardiovascular disease, which is complex and multifactorial. Further studies with a greater sample of measurements are warranted to precisely determine the role of geomagnetic factors on human health.

Acknowledgments: Thanks are due to the staff of the two Cardiological clinics of the Nikaia General Hospital in Piraeus and the Heraklion University Hospital in Crete, Greece for the medical data. Thanks are also due to the Special Research Account of the National and Kapodistrian University of Athens for supporting the Athens Neutron Monitor Station.

REFERENCES

- Ashkaliev Ia.F, Drobzhev V. I, Somsikov V.M, Turkeeva B.A, Iakovets T.K.* (1995) The effect of heliogeophysical parameters on the ecological situation// *Biofizika*. 1995. V. 40(5). P. 1031-7.
- Babayev E. and Allahverdiyeva A.* (2007) Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies// *Adv. Space Res.* 2007. V. 40. P. 1941-1951.
- Baevsky R.M. , Petrov V. M. , Cornelissen G., Halberg F. , Orth-Gomer K, Akerstedt T, Otsuka K, Breus T, Siegelova J, Dusek J, Fiser B.* (1997). Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease// *Scripta Medica*. 1997. V. 70(4-5). P. 201-6.
- Beck P., Latocha1 M. , Dorman L., Pelliccioni M. and Rollet S.* (2007) Measurements and simulations of the radiation exposure to aircraft crew workplaces due to cosmic radiation in the atmosphere// *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2007. V. 126 (1-4). P. 564-567.
- Bolduc L.* (2002) GIC observations and studies in the Hydro-Québec power system// *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. V. 64 (16). P. 1793–1802.
- Conesa J.* (1997) Isolated sleep paralysis, vivid dreams and geomagnetic influences: II// *Perceptual and motor skills*. 1997. V. 85(2). P. 579-584.
- Cornelissen G. , Halberg F. , Breus T. Syutkina E.V, Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.E.* (2002) Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction// *JASTP*. 2002. V.64. P. 707-720.
- Cornelissen G. , Halberg F., Kovac M., Mikulecky M., Otsuka K., Bakken E.* (2005) Geographic and extraterrestrial aspects of morbidity and/or mortality patterns from myocardial infarction and stroke// *Biomed. Pharmacother*. 2005. V. 59. P. 68-75.
- Corsetti R., Lombardi G., Barassi A., Lanteri P., Colombini A., D'Eril G.M., Banfi G.* (2012) Cardiac indexes, cardiac damage biomarkers and energy expenditure in professional cyclists during the Giro d'Italia 3-weeks stage race// *Biochem Med (Zagreb)*. 2012. V. 22(2). P. 237-46.
- Dimitrova S.* (2008) Possible heliogeophysical effects on human physiological state// *Proc. IAU Symposium*. 2008.V. 257.P. 65-67 .
- Dimitrova S. , Mustafa F.R. , Stoilova I. , Babayev E.S. , Kazimov E.A.* (2009) Possible influence of solar extreme events and related geomagnetic disturbances on human cardio-vascular state: results of collaborative Bulgarian-Azerbaijani studies// *Adv. Space Res.* 2009. V. 43. P. 641–648.
- Dorman L.I. , Iucci N. , Ptitsyna N.G., Villaresi G.* (2001) Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infract myocardial, brain strokes, car and train accidents// *Proc. 27th ICRC (Hamburg)*. 2001. P. 3511-3514.

Giannaropoulou E., Papailiou M., Mavromichalaki H., Gigolashvili M., Tvildiani L., Janashia K., Preka – Papadema P., Papadima PTh. (2012) Possible influence of the polarity reversal of the solar magnetic field on the various types of arrhythmias// Proc. 23rd ECRS (Moscow). 2012. ecrs_geo_615.

Ghione S., Mezzasalma L., Del Seppia C., Papi F. (1998), Do geomagnetic disturbances of solar origin affect arterial blood pressure?// Journal of Human Hypertension. 1996. V. 12. P. 749–754.

Hathaway D.H. (2012) Solar cycle prediction// National Aeronautics and Space Administration. <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml> (Last accessed 12 August 2012)

Hopstock L. A., Barnett A. G., Bønaa K. H., Mannsverk J., Njølstad I., Wilsgaard T. (2012) Seasonal variation in cardiovascular disease risk factors in a subarctic population: the Tromso Study 1979-2008// 2012. Journal of Epidemiology and Community Health.

Kagami S, Bradshaw SE, Fukumoto M, Tsukui I. (2009) Cataracts in airline pilots: prevalence and aeromedical considerations in Japan// Aviation, Space and Environmental Medicine. 2009. V. 80(9). P. 811-4.

Kay RW. (1994) Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission// The British Journal of psychiatry. 1994. V. 164(3). P. 403-9.

Mavromichalaki H. Papailiou M. , Dimitrova S. , Babayev E. S, Mustafa S.R. (2008) Geomagnetic disturbances and cosmic ray variations in relation to human cardio-health state: A wide collaboration// Proc. 21st ECRS. 2008. P. 351-356 .

Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S. , Babayev E. S. & Loucas P . (2012) Space weather hazards and their impact on human cardio-health state parameters on Earth// Natural Hazards. 2012. DOI 10.1007/s11069-012-0306-2.

McNarry M.A, Kingsley M.I, Lewis M.J. (2012) The influence of exercise intensity on pulmonary oxygen uptake kinetics in young and late middle-aged adults// American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology. 2012.

Mikulecký M. and Strestík J. (2007) Cerebral infarction versus solar and geomagnetic activity: a cross-regression study// The Israel medical association journal, 2007. V. 9(12) . P. 835-8.

Murphy S.L, Xu J.Q, Kochanek K.D. (2012) Deaths: Preliminary data for 2010// National vital statistics reports. 2012. V. 60 (4).

Olbert S. (1953) Atmospheric Effects on Cosmic-Ray Intensity Near Sea Level// Phys. Review. 1953. V. 92. P. 454–461.

Pal G.K., Chandrasekaran A., Hariharan A.P., Dutta T.K, Pal P., Nanda N., Venugopal L. (2012) Body mass index contributes to sympathovagal imbalance in prehypertensives// BMC Cardiovasc Disord. 2012. V. 19;12(1). P. 54.

Paouris E., Mavromichalaki H., Belov A., Guischina R., Yanke V., (2012) Galactic cosmic ray modulation and the last solar minimum// Solar Phys. 2012. V. 280, P. 255-271.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., Giannaropoulou. E. (2011) The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators// ASTRA. 2011. V. 7. P. 373-377.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S. (2012) Cosmic radiation influence on the physiological state of aviators// Natural Hazards. 2012. V. 61. P. 719-727.

Reynolds P., Cone J., Layefsky M., Goldberg D.E., Hurley S., (2002) Cancer incidence in California flight attendants (United States)// Cancer Causes and Control. 2002. V. 13(4). P. 317-24.

Sørensen M., Andersen Z.J., Nordsborg R.B., Jensen S.S., Lillelund K.G., Beelen R., Schmidt E.B., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O. (2012) Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study// PLoS One. 2012. V. 7(6):e39283.

Stapelberg N.J., Hamilton-Craig I., Neumann D.L., Shum D.H., McConnell H. (2012) Mind and Heart: Heart Rate Variability in Major Depressive Disorder and Coronary Heart Disease - a Review and Recommendations// The Australian and New Zeland Journal of Psychiatry. 2012.

Stoupel E. (2002) The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters// Biomedicine and Pharmacotherapy. 2002. V. 56. P. 247-256.

Stoupel E. (2006a) Cardiac Arrhythmia and Geomagnetic Activity// Indian Pacing Electrophysiol. 2006a. V. 6(1). P. 49-53.

Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Gaizauskiene A., Israelevich P., Abramson E., Sulkes J., (2006b) Monthly number of newborns and environmental physical activity// Medicina (Kaunas, Lithuania). 2006b. V. 2(3). P. 238-41.

Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J. (2006c) Clinical Cosmobiology-sudden cardiac death and daily/monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity- the Baku study (2003-2005)// Sun Geospher. 2006c.V. 1. P. 13-16.

Stoupel E., Babayev E., Mustafa F., Abramson E., Israelevich P., Sulkes, J. (2007) Acute myocardial infarction occurrence: Enviromental links – Baku 2003 – 2005 data// Med. Sci. Monit. 2007. V. 13. P. 175 – 179.

Suzuki K., Miyamoto M., Miyamoto T., Sakuta H., Hirata K. (2012) The impact of sleep disturbances on neuroendocrine and autonomic functions// Nihon Rinsho. 2012. V. 70(7). P. 1169-76.

Thom T.J. (1989) International mortality from heart disease: rates and trends// International Journal of Epidemiology. 1989. V. 18(3 Suppl 1). P. S20-8.

Waydahl A. , Sothorn R.B. , Cornelissen G. , Wetterberg L. (2001) Geomagnetic activity influences the melatonin secretion at latitude 70 degrees N// Biomedicine and pharmacotherapy. 2001. V. 55(1). P. 57s-62s.

Weydahl A., Sothorn R.B, Cornélissen G. (2002) Non-linear relation of heart rate variability during exercise recovery with local geomagnetic activity// Biomed Pharmacother. 2002. V. 56. P 298–300.

Yu T., Parks B.W., Yu S., Srivastava R., Gupta K., Wu X., Khaled S., Chang PY., Kabarowski J.H., Kucik D.F (2011) Iron-ion radiation accelerates atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice// Radiation Research. 2011. V. 175(6). P. 766-73.

Table 1. The CRI and the Dst levels and the respective mean HR in the ANOVA analysis.

	<i>Normalised</i>			
Levels	<i>CRI intervals (%)</i>	Number of measurements	Mean HR (bpm)	CI 95%
<i>CRI</i>				
0	$CRI \leq -3\%$	220	76.33	74.11 - 78.55
1	$-3\% < CRI \leq -1\%$	602	76.00	74.67 - 77.35
2	$-1\% < CRI \leq 1\%$	2227	70.61	70.00 - 71.21
3	$1\% < CRI < 3\%$	1150	68.51	67.75 - 69.27
4	$CRI \geq 3\%$	17	67.12	60.34 - 73.89
<i>Dst index</i>	<i>Dst intervals (nT)</i>			
0	$Dst \geq 0$	1444	71.24	70.50 - 71.98
1	$-20 < Dst < 0$	1850	70.63	69.92 - 71.35
2	$-50 < Dst \leq -20$	824	71.97	71.03 - 72.91
3	$-100 < Dst \leq -50$	106	71.00	68.08 - 73.92
4	$Dst \leq -100$	9	61.11	54.99 - 67.23

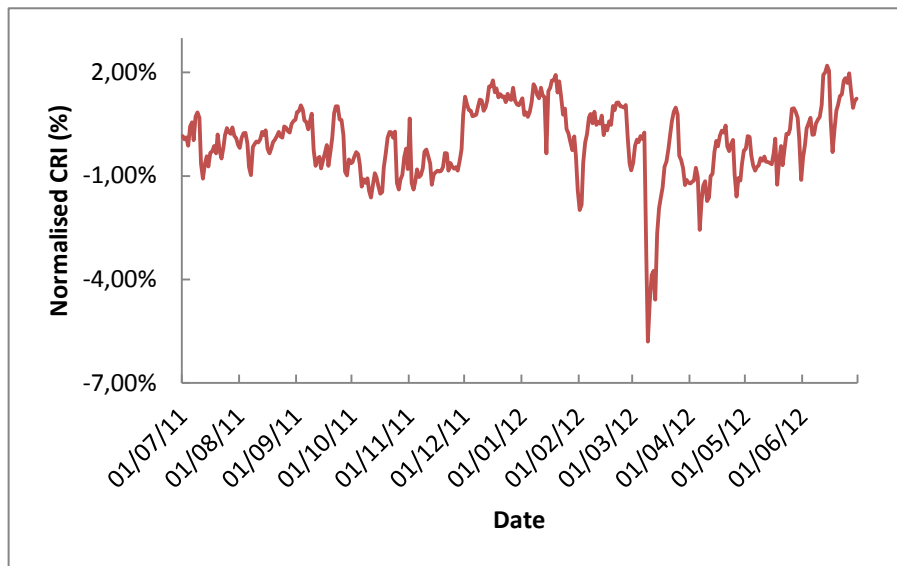


Figure 1a. Distribution of normalized daily CRI (%) during the examined period

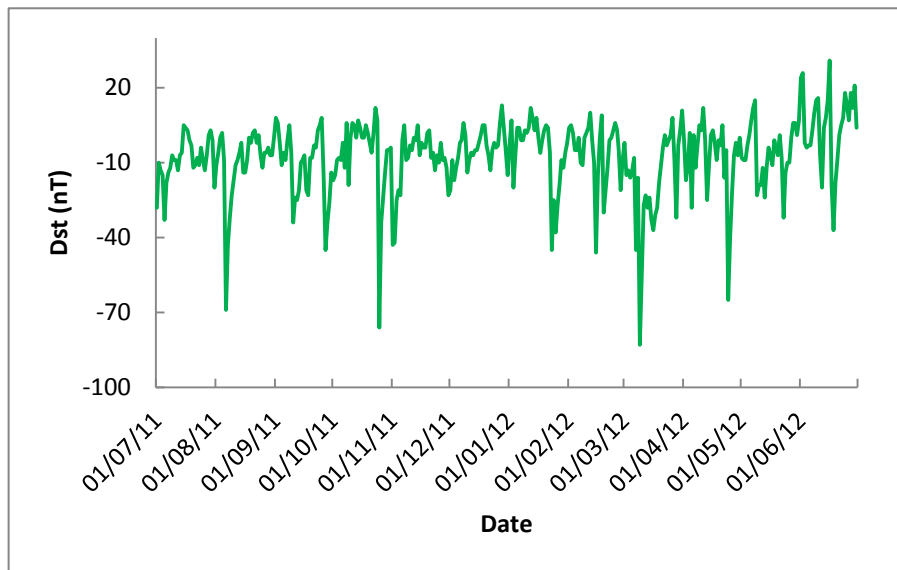


Figure 1b. Daily average Dst index variations during the examined period

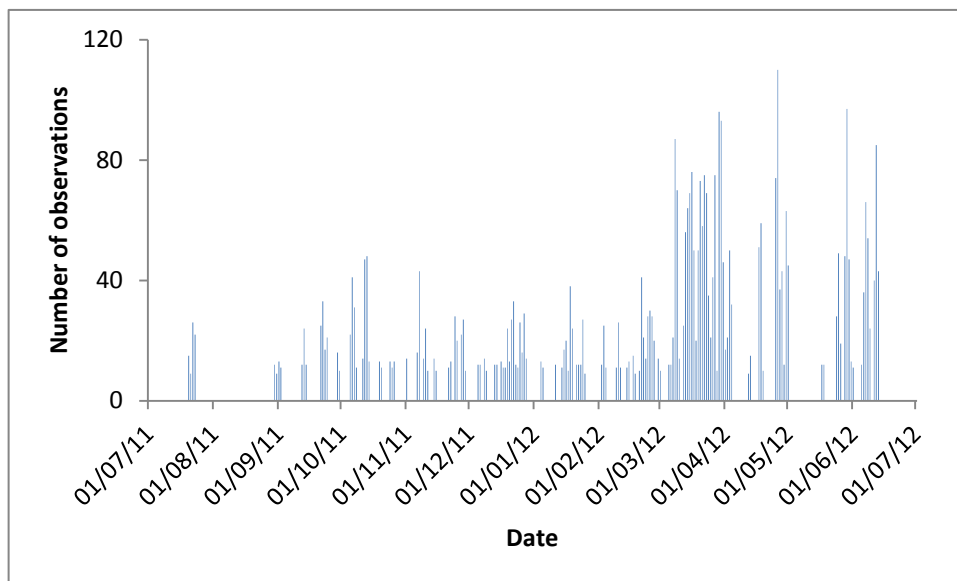


Figure 2. Number of Holter measurements during the period under examination

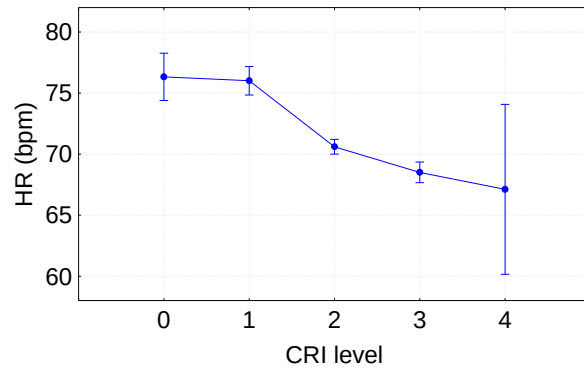


Figure 3. Distribution of the mean HR values for the different CRI levels

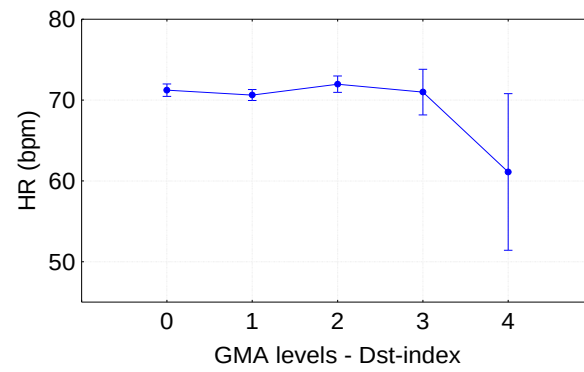


Figure 4. Distribution of the mean HR values for the different Dst index levels

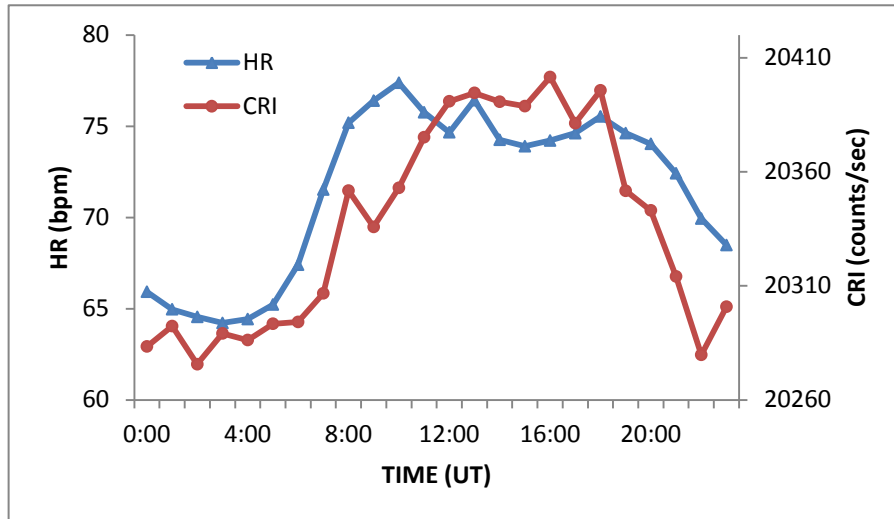


Figure 5. Daily distribution of the mean hourly HR and CRI values during the time period from July 2011 to June 2012.

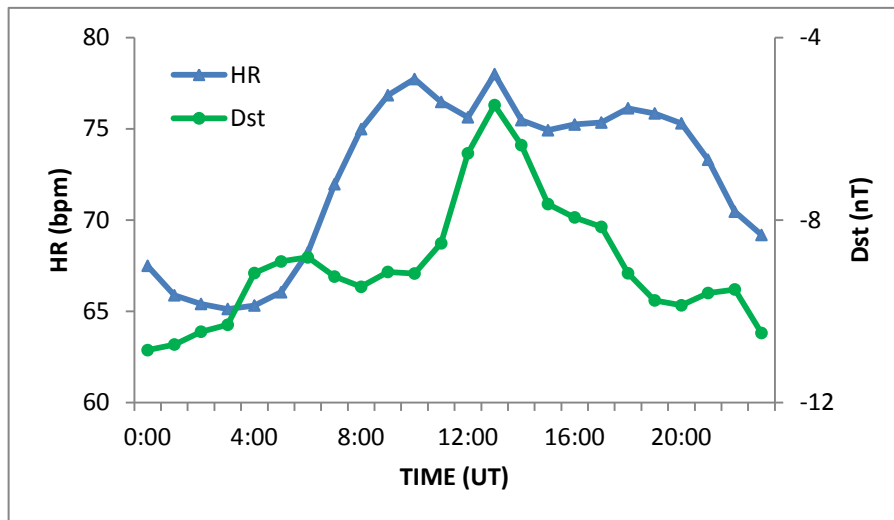


Figure 6. Daily distribution of the mean hourly HR and Dst index values during the time period from July 2011 to June 2012.