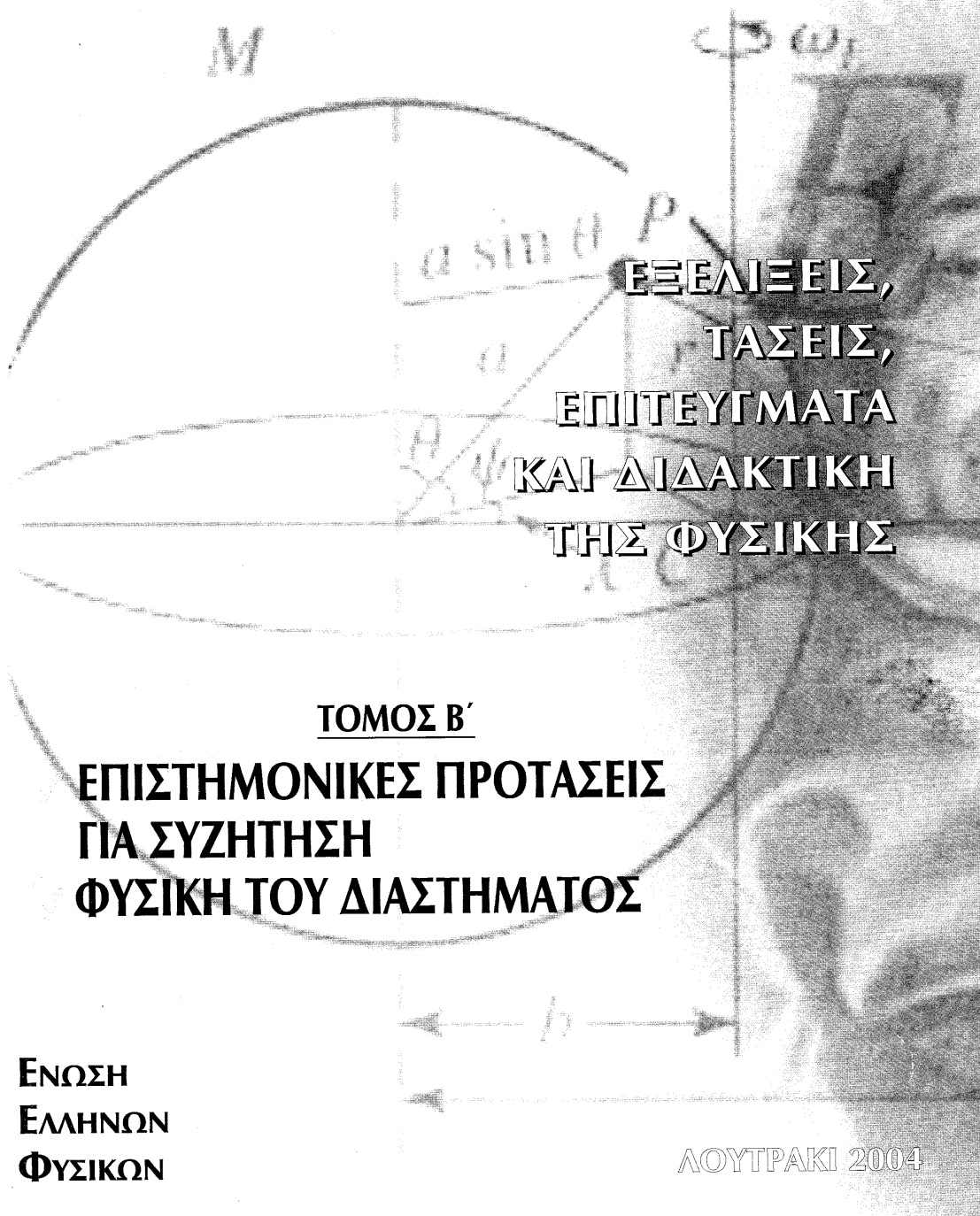


**10<sup>ο</sup>** ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ  
ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΦΥΣΙΚΗΣ



**ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ,  
ΤΑΣΕΙΣ,  
ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ  
ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ  
ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΟΣ Β΄  
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ  
ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ  
ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ**

**ΕΝΩΣΗ  
ΕΛΛΗΝΩΝ  
ΦΥΣΙΚΩΝ**

ΛΟΥΤΡΑΚΙ 2004

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baisultanova L., A. Belov, L. Dörma, V. Yanke: "Magnetospheric effects in cosmic rays during Forbush decrease" Proc. 20-th ICRC, Moscow, 4, 231, 1987
- Baisultanova L., A. Belov, V. Yanke: "Magnetospheric effects of cosmic rays within the different Phases of magnetic storms", Proc. 24-th ICRC, Roma, 4, 1090, 1995.
- Dvornikov V., Sdobnov V.: "Variation in the rigidity spectrum and anisotropy of cosmic rays at the period of Forbush effect on 12-25 July", International JGA, 3, No 3, 1, 2002.
- Krymsky G.F. et al.: "Cosmic ray distribution and reception vectors of detectors, 1" G&A, 6, 991, 1966.
- Mavromichalaki, H., Sarlanis, C., Souvatsoglou, G., Beleov, A., Eroshenko, E., Yanke, V.: "Athens Neutron Monitor and its aspects in the cosmic-ray variations " Proc. 27th ICRC 2001 (Hamburg) 10, 4099, 2001.
- Treiman S.B.: "Effect of equatorial ring current on cosmic ray intensity" Phys. Rev. 89, 130, 1953.
- Tsyganenko, N.A., Singer, H.J. and Kasper, J.C.: "Storm-time distortion of the inner magnetosphere: How severe can it get" J. Geophys. Res. 108, 1209, 2003.

## Επίδραση της ημερήσιας ανισοτροπίας της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις μεταβολές της καρδιακής συχνότητας

*B. Πετρόπουλος<sup>(1)</sup>, E. Μανρομιχαλάκη<sup>(2)</sup>, K. M. Κελεσιδής<sup>(3)</sup> και Γ. Α. Μερτζάνος<sup>(3)</sup>*

- 1. Κέντρο Ερευνών Αστρονομίας και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών Ακαδημίας Αθηνών, Αναγνωστοπούλου 14, 10673 Αθήνα*
- 2. Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παν/πολη 15771, Αθήνα [emavromi@cc.uoa.gr](mailto:emavromi@cc.uoa.gr)*
- 3. Νοσοκομείο Ατυχημάτων (ΚΑΤ), Κηφισίας 4, Κηφισιά*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία μελετάται η σχέση της μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας που μετρείται από το Μετρητή Νετρονίων του Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://cosray.phys.uoa.gr>) και της μεταβολής της μέσης καρδιακής συχνότητας που μετρήθηκε με Holters σε ασθενείς της καρδιολογικής κλινικής του νοσοκομείου ΚΑΤ κατά την χρονική περίοδο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου 2003, που η ηλιακή δραστηριότητα βρισκόταν σε ασυνήθη έξαρση. Κυκλικές μεταβολές της τάξης των 2, 3, 4, 6, 8 και 12 ωρών που παρατηρούνται στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ήσυχων ημερών, φαίνεται ότι υπάρχουν και στη μέση καρδιακή συχνότητα των ατόμων που μετρήθηκαν με Holters. Κατά τη διάρκεια όμως μεγάλων διακυμάνσεων της κοσμικής ακτινοβολίας που προέρχονται από έντονα ηλιακά φαινόμενα, όπως αυτά της 28ης και 29ης Οκτωβρίου 2003, το εύρος των κυκλικών δομών γίνεται ελάχιστο και στις δύο σειρές δεδομένων. Τα αποτελέσματα συμφωνούν και με φασματική ανάλυση Fourier, είναι δε ιδιαίτερα χρήσιμα στα πλαίσια των μελετών του Διαστημικού Καιρού. Συμπεραίνουμε ότι πιθανή επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μαγνητικών καταιγίδων στο αυτόνομο νευρικό σύστημα των ανθρώπων δημιουργεί έντονες αρυθμίες στον καρδιακό ρυθμό οι οποίες μπορεί να συνδεθούν με εμφράγματα ή ισχαιμικά φαινόμενα.

### 1. Εισαγωγή

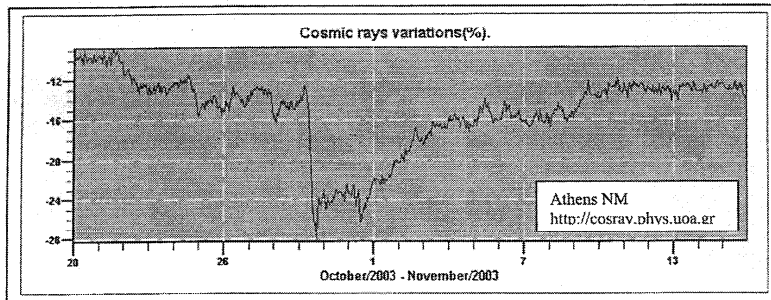
Είναι γνωστό ότι υπάρχει έντονη μεταβλητότητα στην ηλιακή ημερήσια μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία προέρχεται από τις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του διαπλανητικού χώρου. Συστηματική και ουσιαστική απόκλιση από τη μέση τιμή στο πλάτος και στη φάση της ημερήσιας ανισοτροπίας συνδέεται με έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα, όπως μαγνητικές καταιγίδες. Είναι επίσης γνωστό ότι διάφορες σειρές από επιδημιολογικές, φυσιολογικές και ηλεκτροκαρδιογραφικές μετρήσεις συσχετίζονται με τις μεταβολές της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας (ΓΚΑ), της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της ατμοσφαιρικής πίεσης δίνοντας τη δυνατότητα σύνδεσης αυτών των φυσικών περιβαλλοντικών παραμέτρων με επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως εμφράγματα μυοκαρδίου (myocardial infarctions) ή ισχαιμικά φαινόμενα (ischemic strokes) (Cornelissen et al, 2002). Σε πρόσφατες εργασίες αύξηση των εμφραγμάτων μυοκαρδίου κατά τη διάρκεια μαγνητικών καταιγίδων αναφέρεται στη Ρωσία, Ισραήλ, Ιταλία και Mexico, όπως και Minnesota. Οι μαγνητικές καταιγίδες φαίνεται επίσης ότι επιδρούν στη μεταβολή του καρδιακού ρυθμού (Cornelissen et al, 2002; Halberg et

Στη παρούσα εργασία μελετάται η σχέση της έντασης της ΓΚΑ όπως καταγράφεται στις ενέργειες των Μετρη-  
των Νετρονίων και διαφόρων ηλιακών και γεωμαγνητικών παραμέτρων με τη μέση καρδιακή συχνότητα διαφό-

ρων ατόμων σε ημερήσια βάση κατά το χρονικό διάστημα Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003.

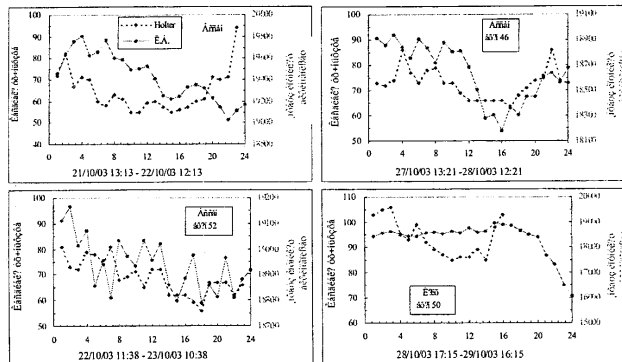
## 2.- Συλλογή δεδομένων

Οι διορθωμένες με την πίεση ωριαίες τιμές της αδρονικής συνιστώσας της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (ΚΑ) από το Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του Παν/μίου Αθηνών (κατώφλι δυσκαμψίας 8.53 GV, ύψος 261m) χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία. Ο σταθμός αναλύει και παρέχει συνεχώς δεδομένα στο Διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο (<http://cosray.phys.uoa.gr>) με διακριτική ικανότητα 1 hour, 1 min και 1 sec. Η μεταβολή της έντασης της ΚΑ από 20 Οκτωβρίου ως 14 Νοεμβρίου δίνεται στο σχήμα 1. Παρατηρείται μια σειρά μειώσεων Forbush που ξεκίνησε στις 22 Οκτωβρίου και προχωρεί με μια μείωση συνολικά 21% στις 28 Οκτωβρίου, όπου ενέβη η μεγάλη ηλιακή έκρηξη (X17.2). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεδομένα των ηλιακών εκλάμψεων από τους GOES Δορυφόρους και των γεωμαγνητικών δεικτών  $D_{st}$  και  $K_p$  (<http://www.swdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/distdir>).



Σχ. 1. Μεταβολή της έντασης της Κ.Α. από το Σταθμό του Παν/μίου Αθηνών από 20 Οκτωβρίου έως 14 Νοεμβρίου 2003

Σε ημερήσια βάση επίσης μετρήθηκε η μέση καρδιακή συχνότητα 36 ατόμων ηλικίας 20-80 ετών στην καρδιολογική κλινική του Νοσοκομείου ΚΑΤ με συνεχές ηλεκτροκαρδιογράφημα 24ωρης καταγραφής (Μέθοδος Holter). Οι μετρήσεις ήταν συνεχείς. Το δείγμα αποτελείται από 26 άνδρες και 10 γυναίκες. Μερικές από τις μέσες καρδιακές συχνότητες που μετρήθηκαν συγχρόνως με την ένταση της ΚΑ δίνονται στο σχήμα 2.

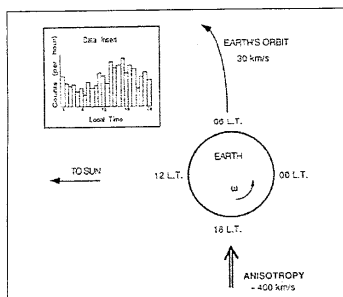


Σχήμα 2. Μεταβολές της ημερήσιας ανισοτροπίας της έντασης της ΚΑ και της μέσης καρδιακής συχνότητας σε ημερήσια βάση

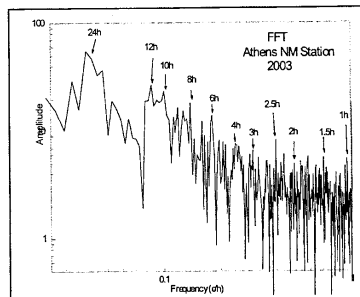
## 3.- Ημερήσια ανισοτροπία της έντασης της Κ.Α.

Το εύρος της ημερήσιας μεταβολής της έντασης της ΚΑ που απεδόθη κατ' αρχάς σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα απεδείχθη ότι δεν είναι σταθερή στα μέγιστα και ελάχιστα της ηλιακής δραστηριότητας. Ο Forbush (1967) έδειξε ότι η μεταβολή της εξαρτάται από δύο συνιστώσες, μία από το γεωμαγνητικό πεδίο και μία από το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο. Ο Nagashima (1971) βρήκε ότι η κατανομή χώρου της ημερήσιας ανισοτροπίας μπορεί να παρασταθεί αναλυτικά με μια ημιτονοειδή μεταβολή με περίοδο 24 ωρών. Σήμερα γνωρίζουμε ότι οφείλεται σε ασυμμετρικές χώρου, ανεξάρτητα της γήινης ατμόσφαιρας και του γεωμαγνητικού πεδίου (σχήμα 3). Οι Rao et

al.(1963) καθόρισαν τους ασυμπτωτικούς κώνους ενός μετρητή, ως "την στερεά γωνία" που περιέχει τις ασυμπτωτικές διευθύνσεις, που συμμετέχουν στις μετρήσεις ενός σταθμού. Βρέθηκε ότι ο ασυμπτωτικός κώνος εξαρτάται από τη θέση της Γης, από τις φυσικές διαστάσεις του μετρητή και από το τοπικό μαγνητικό πεδίο. Συνεπώς η μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας είναι δυνατόν να παρασταθεί από μια σειρά ημιτονοειδών όρων, που περιέχουν αφ' ενός μεν τους όρους της ανισοτροπίας, αφ' ετέρου δε περιοδικούς όρους που οφείλονται στις μεταβολές της έντασης του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου. Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας λόγω της ανισοτροπίας παρουσιάζει ένα μέγιστο της πρώτες απογευματινές ώρες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3 (Mavromichalaki, 1989; Hall et al, 1996).



Σχήμα 3. Ημερήσια ανισοτροπία της έντασης Κ.Α.



Σχήμα 4. Ανάλυση κατά Fourier της έντασης της Κ.Α. κατά το έτος 2003

Προκειμένου να εντοπίσουμε τέτοιους περιοδικούς όρους αναλύσαμε κατά Fourier ωριαίες τιμές της έντασης της Κ.Α. για το έτος 2002 και 2003 και βρέθηκαν οι εξής περιοδικότητες 10, 8, 6, 4, 3, 2.5, 2.2 και 1.5 hours (Σχ. 4). Αυτές που δεν είναι υποπολλαπλάσια των 24h είναι αυτές που οφείλονται στο διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο. Στις περιπτώσεις όμως ισχυρής ηλιακής δραστηριότητας με ένα γεγονός Forbush η δομή αυτή καταστρέφεται. Στον πίνακα I δίνονται οι περιοδικότητες της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας που εντοπίστηκαν σε ημερήσια βάση από 11/10/2003 μέχρι 15/11/2003 οι οποίες είναι σύμφωνες με την Fourier ανάλυση. Ταλαντώσεις επίσης 2, 3 και 4 ωρών παρατηρήθηκαν στο ύψος της ιονοσφαιρικής στοιβάδας F2 (hmF2) κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταιγίδων. Κατά τη διάρκεια που εξετάσαμε υπήρξε μια πολύ μεγάλη μαγνητική καταιγίδα από 29-30 Οκτωβρίου 2003 που οφείλονται σε ισχυρές εκλάμψεις με ισχυρές εκπομπές πρωτονίων. Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν στις 4-5 Νοεμβρίου 2003.

Πίνακας I : Περιοδικότητες της μέσης καρδιακής συχνότητας και της έντασης της Κ.Α.

A/A	Ημερομηνία	Γένος	Ηλικία	Περιοδικότητες μέσης καρδιακής συχνότητας (hrs)	Περιοδικότητες κοσμικών ακτίνων (hrs)
1	11/10/2003	∞		2, 3, 4, 8	2, 3, 4
2	21/10/2003	∞		2, 3, 5	2, 3, 4
3	21/10/2003	∞		2, 3	2, 3, 4
4	21/10/2003	Ε		2, 3, 5	2, 3, 6
5	21/10/2003	∞	52	2, 3, 6	2, 3, 4, 6
6	21/10/2003	Ε		3, 4, 5, 8	2, 3, 4, 6
7	21/10/2003	∞	76	2, 3, 4, 6	2, 3, 4, 7
8	25/10/2003	∞	70	2, 4, 6	2, 3, 6, 8
9	25/10/2003	Ε	65	2, 3, 4	2, 3, 6, 8
10	26/10/2003	Ε	73	4	2, 3, 4, 8
11	26/10/2003	∞	70	2, 7	2, 3, 4, 8
12	26/10/2003	∞	46	2, 2, 1/2, 8	2, 4
13	27/10/2003	∞	50	3, 3	2, 3, 4
14	28/10/2003	Ε	80	3, 4	2, 3, 4
15	30/10/2003	∞	28	2, 4	2, 3, 4
16	30/10/2003	∞	83	2, 3	2, 3, 4
17	31/10/2003	∞	82	2, 3	2, 3, 4
18	31/10/2003	∞	68	2, 5	2, 3, 4
19	31/10/2003	∞	75	2, 4	2, 3, 6
20	31/10/2003	∞	55	4, 3, 7	2, 4, 6
21	4/11/2003	∞	50	4	2, 4, 6
22	4/11/2003	Ε	65	3, 6	2, 3, 4, 6
23	4/11/2003	Ε	70	3, 7	2, 3, 4, 6
24	4/11/2003	Ε	70	2, 5, 6, 1/2	2, 3, 4, 6
25	5/11/2003	Ε	52	2, 3, 4, 6, 6 1/2	2, 3, 4, 6
26	5/11/2003	∞	65	2, 3, 4	2, 3, 4, 6
27	5/11/2003	∞	7	7	2, 3, 4, 6
28	6/11/2003	Ε	83	2, 4, 6	3, 4
29	8/11/2003	∞	70	3, 4	3, 4
30	8/11/2003	∞	70	2, 4, 6	2, 3, 6
31	9/11/2003	∞	58	4, 12	2, 3, 6
32	9/11/2003	∞	70	2, 3, 5	2, 3, 6
33	9/11/2003	Ε	75	2, 4	2, 4, 8
34	14/11/2003	∞	75	2, 5	2, 4, 8
35	14/11/2003	∞		2, 3	2, 4, 8
36	15/11/2003	∞			

#### 4.- Καρδιακή συχνότητα

Μερικά χρόνια πριν οι χρονοβιολόγοι συζητούσαν αν οι ρυθμοί, όπως οι περίπου ημερήσιες (circadian) και ετήσιες (circannual) μεταβολές των οργανισμών, είναι κυρίως απόκριση των περιβαλλοντικών κύκλων ή είναι ενδογενείς (Halberg, 1969). Πρόσφατα οι Cornelissen et al. (1999) βρήκαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση της μέσης καρδιακής συχνότητας με τον αριθμό των κηλίδων κατά το ανοδικό τμήμα του ηλιακού κύκλου και αρνητική κατά το καθοδικό. Στην παρούσα εργασία αναλύσαμε ωριαίες μετρήσεις της μέσης καρδιακής συχνότητας σε 36 άτομα οι οποίες συγκρίνονται με τις περιοδικότητες της έντασης της Κ.Α. στον Πίνακα Ι. Στον ίδιο πίνακα αναφέρεται η ηλικία και το φύλο του ατόμου που μετρήθηκε. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται συγχρονισμός των περιοδικοτήτων της Κ.Α. με την καρδιακή συχνότητα, πλην των περιπτώσεων όπου η Κ.Α. υφίσταται διαταραχές λόγω των έντονων μεταβολών της ηλιακής δραστηριότητας (φαινόμενα Forbush, GLEs, κ.λ.π.). Παρατηρούνται αυξημένες τιμές την 22, 23, 24 και 25/10, την 28, 30 και 31/10 ως και επίσης την 3, 4 και 5/11/2003. Οι ημέρες αυτές ταυτίζονται με τις ημέρες των μειώσεων Forbush της Κ.Α.). Επίσης παρατηρείται μέγιστη τιμή της μέσης καρδιακής συχνότητας κατά τις απογευματινές ώρες, η οποία συμπίπτει με το μέγιστο της ημερήσιας μεταβολής της Κ.Α. (Hall et al, 1996). Οι περιοδικότητες που εμφανίζονται στην μέση καρδιακή συχνότητα φαίνεται ότι δεν εξαρτώνται από το φύλο, παρουσιάζονται όμως κάποιες μεταβολές με την ηλικία.

#### 5. Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τις στατιστικές δημιουργούνται εμφράγματα με την ίδια συχνότητα στους άνδρες και στις γυναίκες. Επίσης άρχισαν να εμφανίζονται εμφράγματα και σε περιπτώσεις νεαρής ηλικίας. Η μελέτη των Holters είναι δυνατόν να μας δείξει κυκλικές αρρυθμίες που πιθανόν να είναι πρόδρομοι εμφραγμάτων ή ισχαιμικών φαινομένων. Αυτά οφείλονται σε γνωστούς παράγοντες (υπέρταση, παχυσαρκία, χοληστερίνη, κάπνισμα, σάκχαρο κ.λ.π.) αλλά και σε άλλους παράγοντες, όπως μεταβολές θερμοκρασίας, μεταβολές ηλιακής δραστηριότητας, γεωμαγνητικές καταιγίδες (Petropoulos et al, 1991; StoupeI, 2002; Halberg et al, 2000). Οι αυξήσεις του εύρους της μέσης καρδιακής συχνότητας συμπίπτουν με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας και μπορεί να οδηγήσουν σε εγκεφαλικά επεισόδια και εμφράγματα. Αυτά συμβαίνουν σύμφωνα με το κωκαδιανό κύκλο της καρδιάς τις πρωινές και τις πρώτες απογευματινές ώρες και αποδίδονται στη διέγερση του συμπαθητικού συστήματος (άτομα νομοτασικά δηλ. χωρίς σημαντικές αρρυθμίες).

Στην προκειμένη περίπτωση είχαμε την τύχη να ερευνήσουμε την ηλιακή δραστηριότητα σε εποχή έξαρσης σε σύγκριση με τις μετρήσεις της έντασης της Κ.Α. που λαμβάνονται σε συνεχή βάση στο Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του Παν/μίου Αθηνών. Βρέθηκε συγχρονισμός των υποκωκαδιανών φαινομένων της μέσης καρδιακής συχνότητας με την κυκλική συχνότητα της έντασης της Κ.Α. Η διαμόρφωση της έντασης της Κ.Α. με την ηλιακή δραστηριότητα (φαινόμενα Forbush κ.λ.π.) συμπίπτει με τον αποσυγχρονισμό των υποκωκαδιανών φαινομένων της μέσης καρδιακής συχνότητας. Η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας φαίνεται εξ άλλου στην ταυτόχρονη μεταβολή του μεγίστου της μέσης καρδιακής συχνότητας (αυξημένες τιμές) κατά τις ημέρες της έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Δεν αποκλείονται βεβαίως και άλλοι παράγοντες, όπως ιονοσφαιρικές μεταβολές και μεταβολές της έντασης του γεωμαγνητικού και διαπλανητικού πεδίου που λαμβάνουν χώρα λίγες μέρες μετά τα έντονα φαινόμενα του Ήλιου. Ο μηχανισμός επίδρασης της Κ.Α., των ακτίνων-Χ, των πρωτονίων ή νετρονίων στο ολικό νευρικό σύστημα είναι δυνατόν να επιφέρει μεταβολές της κυκλοφορίας του αίματος (Cornelissen et al., 2002).

Η εργασία αυτή αποτελεί ένα μικρό δείγμα μιας στενής συνεργασίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, του ΚΕΑ-ΕΜ της Ακαδημίας Αθηνών και της Καρδιολογικής Κλινικής του ΚΑΤ από ένα εκτενέστερο ερευνητικό πρόγραμμα και είναι δυνατόν να χρησιμεύσει στη μελέτη της υγείας των αστροναυτών που βρίσκονται σε διαστημικές εξόδους.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cornelissen, G. et al.: 2002 JASTP 64, 707  
Cornelissen, et al.: 1999 Biomedical Instrumentation Technology 33, 152  
Halberg, F. : 1969 Annual Review of Physiology 31, 675  
Halberg, F., et al.: 2000 Neuroendocrinology Letters 21, 233  
Hall et al: 1996 Space Sci. Rev. 78, 401  
Forbush, S. E.: 1967 J. Geophys. Res. 72, 4937  
Mavromichalaki, H.: 1989 Earth, Moon and Planets 47, 61  
Nagashima K. and Ueno H.: 1971 Rep. Ionosph. Res. Japan 25, 212  
Rao, U. R. et al.: 1963 J. Geophys. Res. 68, 345  
Petropoulos, B. and Poulakos, C.: 1991 Earth, Moon and Planets 55, 110  
StoupeI, E.: 2002 Biomed Pharmacother 56, 247