

Κοσμική Ακτινοβολία και Γεωμαγνητική Δραστηριότητα: Άγνωστοι Παράγοντες Κινδύνου για το Καρδιαγγειακό Σύστημα;

ΤΣΙΠΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ¹
ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ ΜΑΡΙΑ²
ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ ΑΝΝΑ-ΜΑΡΙΑ³
ΜΑΥΡΟΜΙΧΑΛΑΚΗ ΕΛΕΝΗ²

¹ Καρδιολογικός τομέας, Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο

² Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

³ Εργαστήριο Παθολογικής Ανατομικής, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Λέξεις Ευρετηρίου:

Κοσμική ακτινοβολία,
Γεωμαγνητική Δραστηριότητα,
Καρδιαγγειακό Σύστημα

Άγγελος Τσίπης

Καρδιολόγος

Διεύθυνση Επικοινωνίας:

Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο
Λεωφ. Συγγρού 356, 176 74 Καλλιθέα
Τηλ: +30 210 94 93 000
E-mail: angelostsipis@gmail.com

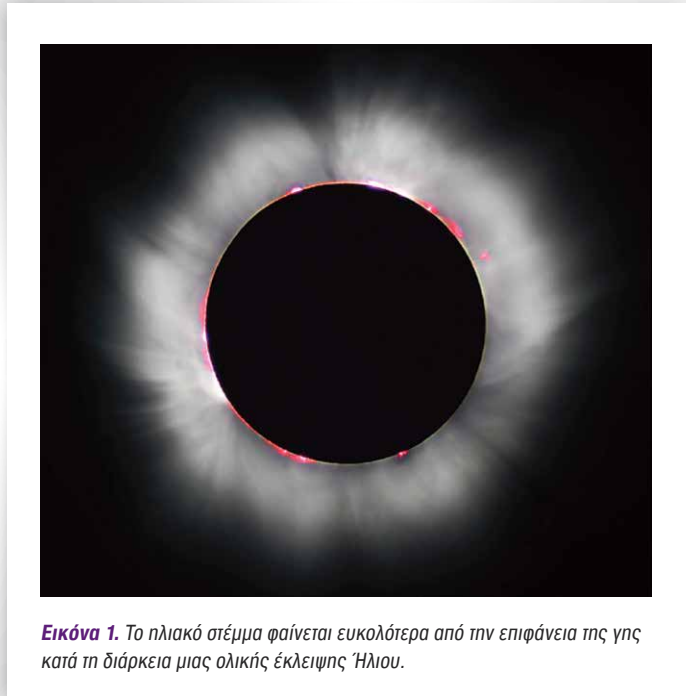
Στις 11 Φεβρουαρίου 2016 ανακοινώθηκε επίσημα από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα η ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων που επί έναν αιώνα αποτελούσε μόνο μια ανεπιβεβαίωτη πρόβλεψη της θεωρίας της γενικής σχετικότητας του Αϊνστάιν και συγκρίθηκε ως επίτευγμα με την αποκρυπτογράφηση του DNA.^{1,2} Τα παρατηρητήρια Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) στη Λουιζιάνα και στην Ουάσινγκτον ανίχνευσαν για πρώτη φορά τα βαρυτικά κύματα το Σεπτέμβριο του 2015. Τα βαρυτικά κύματα προέρχονται από τη συγχώνευση δύο γιγάντιων μαύρων τρυπών με μάζα περίπου τριάντα φορές μεγαλύτερη της μάζας του ήλιου και σε απόσταση 1,3 δισεκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη. Η συγχώνευση είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες μάζες να εξαϋλωθούν σε κλάσματα δευτερολέπτου σε ασύλληπτες ποσότητες ενέργειας και σύμφωνα με τη Γενική Σχετικότητα να ταξιδέψουν στο Σύμπαν με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων.^{1,2} Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες μέλη της διεθνούς αστροφυσικής κοινότητας έχουν εντατικοποιήσει τη μελέτη και τις παρατηρήσεις τους στην επίδραση των μεταβολών του Διαστημικού καιρού στην ανθρώπινη ομοιοστάση αλλά και σε διάφορες μορφές νοσηρότητας. Η ηλιακή επίδραση, η γεωμαγνητική δραστηριότητα και οι μεταβολές που παρατηρούνται στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας αποδεδειγμένα έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν τη φυσιολογία των ανθρώπινων συστημάτων και ειδικότερα σε καρδιαγγειακό επίπεδο.³⁻⁵ Οι παρατηρήσεις αυτές οδήγησαν στη δημιουργία πιο εξειδικευμένων επιστημονικών πεδίων, όπως το Βιογεωμαγνητισμό, την Κλινική Κοσμοβιολογία και την Ηλιοβιολογία.² Ο Βιογεωμαγνητισμός μελετά την επίδραση των παραμέτρων του Διαστημικού καιρού, μέσω του γεωμαγνητικού πεδίου στην παθογένεση διάφορων ασθενειών του καρδιαγγειακού και νευρικού συστήματος, καθώς και σε αιμοποιητικό επίπεδο.⁷ Η Κλινική Κοσμοβιολογία με τη σειρά της συσχετίζει τη συχνότητα θανάτων λόγω καρδιακών αρρυθμιών, οξέων στεφανιαίων συνδρόμων, αγγειακών εγκεφαλικών επεισοδίων, αλλά και ανθρωποκτονιών με το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας που παρατηρείται στο περιβάλλον.⁸ Τέλος, η Ηλιοβιολογία ή Αστροβιολογία εξετάζει την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στην ανθρώπινη φυσιολογία και φυσιολογία.^{9,10}

Ενώ αρχικά η ιατρική γνώμη ήταν δύσπιστη και διφορούμενη όσον αφορά τους συσχετισμούς μεταξύ της συμπαντικής δραστηριότητας και της ανθρώπινης ομοιοστάσης, οι σύγχρονες ανακαλύψεις σε σχέση με τις ιδιότητες των σωματιδίων υψηλών ενεργειών καπύθουναν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας προς μια οδό παρατήρησης, άγνωστης έως τώρα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι σε ελληνικό επίπεδο καταγράφονται και αξιολογούνται δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας που λαμβάνονται από το Σταθμό συνεχούς καταμέτρησης της κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας (Super 6NM-64) και παρέχονται στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο και από μετρήσεις διαστημοπλοίων και δορυφόρων (Athens Neutron Monitor

Station – AneMoS).¹¹ Πρόσφατα ο σταθμός αυτός έγινε το διεθνές κέντρο συλλογής και επεξεργασίας μετρητών νετρονίων και δορυφορικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Athens Neutron Monitor On Data Processing – ANMODAP Center), ενώ διαθέτει σε διεθνές επίπεδο έναν από τους τρεις εξυπερετητές της διεθνούς βάσης υψηλής ανάλυσης δεδομένων μετρητών νετρονίων (High resolution neutron monitor Database - NMDB).^{12,13} Τελευταία λειτουργεί κέντρο πρόβλεψης Διαστημικού καιρού εκδίδοντας καθημερινό δελτίο.

Βασικές αρχές και έννοιες του διαστημικού καιρού

Ο Ήλιος και η Γη και οι μεταξύ τους αλληλοεπιδράσεις, αποτελούν τους κύριους παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη του Διαστημικού καιρού. Έκτακτα εκρηκτικά γεγονότα που συμβαίνουν στον Ήλιο, όπως οι εκλάμψεις και οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας δημιουργούν την ηλιακή σωματιδιακή εκπομπή με την μορφή ηλιακού ανέμου.⁶ Οι ηλιακές εκλάμψεις (solar flares) ορίζονται ως ξαφνικές και απότομες εκρήξεις με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας και παρατηρούνται συνήθως σε περιοχές όπου υπάρχουν κηλίδες πάνω στην ηλιακή φωτόσφαιρα, δηλαδή την επιφάνεια του ήλιου.¹⁴ Παρατηρούνται για πολύ περιορισμένο χρόνο, από μερικά λεπτά έως λίγες ώρες και τις ακλουθεί ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες γ. Επιπλέον, λόγω των τεράστιων ποσών ενέργειας που εκλύονται, σωματίδια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, ελαφρείς πυρήνες) αυξάνουν την κινητική τους ενέργεια.¹⁵ Η πρώτη ηλιακή έκλαμψη που καταγράφηκε στην αστρονομική ιστορία ήταν την 1^η Σεπτεμβρίου 1859 από τους Carrington και Hodgson. Οι μεγάλες εκλάμψεις μπορούν να εκπέμπουν ενέργεια ακόμα και 10^{32} ergs/sec, η οποία είναι δέκα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απελευθερώνεται από μια ηφαιστειακή έκρηξη. Ένα άλλο σημαντικό φαινόμενο της ηλιακής δραστηριότητας είναι οι στεμματικές εκτινάξεις μάζας (coronal mass ejections, CMEs). Στέμμα είναι το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Τα στέμματα αποτελούνται από πλάσμα και εκτείνονται εκατομμύρια χιλιόμετρα στο διάστημα. Το ηλιακό στέμμα φαίνεται ευκολότερα από την επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης Ηλιου, καθώς περιβάλλει τον βασιλιά του Ηλιακού συστήματος όπως το στέμμα το κεφάλι των βασιλέων (Εικόνα 1). Οι εκτινάξεις στεμματικής μάζας γίνο-



Εικόνα 1. Το ηλιακό στέμμα φαίνεται ευκολότερα από την επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης Ήλιου.

νται επειδή ο ισημερινός του ήλιου περιστρέφεται γρηγορότερα από τους πόλους του με αποτέλεσμα να αναγκάζει τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου να περιπλοκούν μεταξύ τους. Όταν οι γραμμές γίνουν τόσο πεπλεγμένες που φτάσουν σε σημείο να διασπαστούν, τότε αποδεσμεύουν τεράστια ποσά ενέργειας υπό μορφή CME και περιλαμβάνει την αποβολή πλάσματος και μαγνητικού πεδίου από το ηλιακό στέμμα προς τον διαπλανητικό χώρο.¹⁶ Ο ηλιακός άνεμος που έχει χαρακτηριστεί και ως ηλιακή σωματιδιακή ακτινοβολία αφορά την ύλη που εκτοξεύεται από τον Ήλιο και αποτελείται από ίσο αριθμό θετικών φορτίων, κυρίως πρωτόνια και λίγα σωματίδια-α και ηλεκτρονίων, τα οποία με υπερηχητικές ταχύτητες εκπέμπονται σχεδόν ακτινικά από το στέμμα του Ήλιου.^{17,18} Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου ξεκινάει από $350-400 \text{ km s}^{-1}$ και εκτινάσσεται στα $700-1000 \text{ km s}^{-1}$ όταν συμβαίνουν έκτακτα γεγονότα στον ήλιο. Λόγω της περιστροφής του Ήλιου, ο ηλιακός άνεμος φτάνει στη γη κατά ριπές ή ρεύματα ηλιακού ανέμου (6). Οι στεμματικές οπές είναι τα κύρια σημεία διαφυγής και επιταχύνσεως του ηλιακού ανέμου δεδομένου ότι βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές, χαμηλής θερμοκρασίας και πυκνότητας σε σχέση με τις αντίστοιχες του στέμματος.

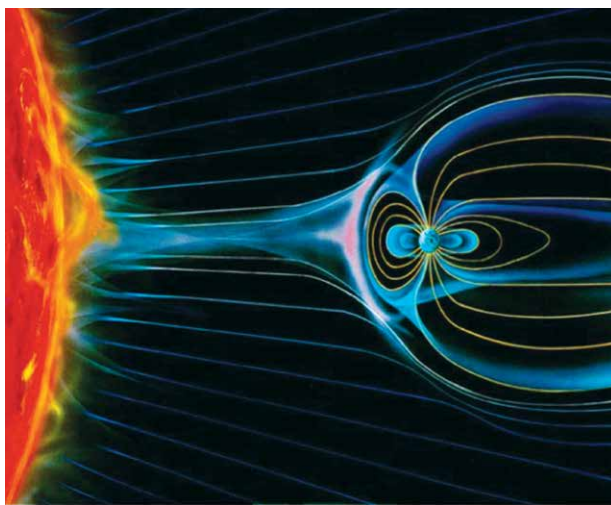
Ο William Gilbert το 1600 περιγράφει ότι το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι διπολικό και όμοιο με το πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη.¹⁴ Η παραπάνω

περιγραφή θα ευσταθούσε μόνο στην περίπτωση που η Γη θα ήταν απομονωμένη στο διάστημα και καταρρίφτηκε το 1958 όταν οι διαστημικές παρατηρήσεις ανέδειξαν ότι το μαγνητικό πεδίο συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά από το διπολικό πρότυπο και η ένταση σε μεγάλες αποστάσεις είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη.¹⁴ Ο ηλιακός άνεμος πιέζει το μαγνητικό πεδίο αναγκάζοντας το να περιορισθεί σε μια κοιλότητα γνωστή ως γήινη μαγνητόσφαιρα με μια μακριά ουρά που εκτείνεται στην αντίθετη πλευρά του ήλιου (Εικόνα 2). Καθώς ο ηλιακός άνεμος πλησιάζει τη Γη με υπερηχητική ταχύτητα αισθάνεται το γεωμαγνητικό εμπόδιο και το παρακάμπτει σαν ρευστό γύρω από κυρτή επιφάνεια.¹⁴

Οι γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι πολύπλοκα φαινόμενα, τα οποία πηγάζουν από το ηλιακό στέμμα και εξελίσσονται στον ηλιακό άνεμο και τη μαγνητόσφαιρα. Πέρα από το φυσικό φαινόμενο έχουμε επιδράσεις σε τεχνολογικά συστήματα, όπως στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, άμυνας και ηλεκτροδότησης. Τα δύο πρώτα οφείλονται σε δυσλειτουργίες δορυφόρων λόγω του βομβαρδισμού από μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ενώ αυξημένα ενεργειακά επίπεδα που επάγονται στο έδαφος είναι ικανά να καταστρέψουν μεγάλους μετασχηματιστές του δικτύου ηλεκτροδότησης. Από τις πιο γνωστές μαγνητικές καταιγίδες είναι εκείνη του 1989 που προκάλεσε κατάρρευση του δικτύου ηλεκτροδότησης για εννέα ώρες στο Κεμπέκ του Καναδά και κόστισε πάνω από πεντακόσια εκατομμύρια δολάρια.¹⁹ Το Διαστημικό περιβάλλον της Γης προστατεύεται από τον ηλιακό άνεμο με το γεωμαγνητικό πεδίο. Εξαιτίας μιας φυ-

σικής διαδικασίας που ονομάζεται μαγνητική επανασύνδεση, όταν δυο μαγνητικά πεδία έχουν αντίθετο προσανατολισμό, ενώνονται και αλληλοεξουδετώνονται και η μαγνητική θωράκιση εξαφανίζεται. Έτσι οι γεωμαγνητικές καταιγίδες αποτελούν σημαντικές διαταραχές της μαγνητόσφαιρας, οι οποίες συμβαίνουν όταν το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο αλλάζει προσανατολισμό. Τότε μπορεί να συμβεί η μαγνητική επανασύνδεση, κατά το οποίο η μαγνητόσφαιρα αποτελεί σύστημα ανταλλαγής ενέργειας με τον ηλιακό άνεμο.^{18,20}

Κοσμικές ακτίνες ορίζονται τα σωματίδια υψηλών ενεργειών που προέρχονται από συμπαντικές πηγές και ανάλογα την προέλευση τους χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες, προέρχονται από άγνωστες πηγές εκτός του ηλιακού συστήματος, αλλά μέσα από τον Γαλαξία και αποτελούνται από πρωτόνια, σωματίδια α και βαρύτερους πυρήνες και η ροή τους στο ηλιακό σύστημα καθορίζεται από την ηλιακή δραστηριότητα. Η έντονη ηλιακή δραστηριότητα δρα σαν ασπίδα και προστατεύει τη Γη από ανάλογες δραστηριότητες.^{6,14} Οι ηλιακές κοσμικές ακτίνες προέρχονται από τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκτινάξεις μάζας και αποτελούνται κυρίως από πρωτόνια (>89%). Τέλος οι ανώμαλες κοσμικές ακτίνες προέρχονται από τον μεσοαστρικό χώρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό σωματιδίων που ανιχνεύεται στη Γη είναι γαλαξιακής προέλευσης γιατί εκείνα που προέρχονται από τον ήλιο, απορροφώνται από την ατμόσφαιρα και το γεωμαγνητικό πεδίο.¹⁸



Εικόνα 2. Το μαγνητικό πεδίο της Γης συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά από το διπολικό πρότυπο και η ένταση σε μεγάλες αποστάσεις είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη.

Μελέτης της επίδρασης του διαστημικού καιρού στον άνθρωπο

Οι Palmer και συν προτείνουν τη χρήση άμεσων και έμμεσων δεικτών για την αξιολόγηση της επίδρασης της κοσμικής ακτινοβολίας και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας στον ανθρώπινο οργανισμό.⁹ Έμμεσους δείκτες αποτελούν οι στατιστικές και επιδημιολογικές μελέτες που αξιολογούν και συσχετίζουν στοιχεία νοσηρότητας και θνησιμότητας με τη γεωμαγνητική και κοσμική δραστηριότητα σε ένα συγκεκριμένο χώρο και σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Συνήθως αφορά αναδρομικές μελέτες που καταγράφουν και ποσοτικοποιούν τα επεισόδια εμφραγμάτων του μυοκαρδίου, τις αρρυθμίες, τους αιφνίδιους θανάτους και τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια, καθώς και επεισόδια αυτοκτονιών και τροχαίων ατυχημάτων σε σχέση με το Διαστημικό καιρό. Οι άμεσοι δείκτες είναι η αξιολόγηση των φυσιολογικών παραμέτρων που περιλαμβάνουν τον καρδιακό ρυθμό και συχνότητα, την αρτηριακή πίεση, μετρή-

σεις ΗΚΓ, τη διακύμανση του καρδιακού ρυθμού η οποία αντικατοπτρίζει την επίδραση του αυτόνομου νευρικού συστήματος.^{7,9,22-24} Επιπλέον μπορεί να μετρηθεί η οπτική και ακουστική οξύτητα, η μυϊκή δύναμη και αισθητικότητα, ορμονολογικοί, μεταβολικοί και βιοχημικοί παράγοντες. Οι ομάδες πληθυσμού που συμπεριλαμβάνονται στις μελέτες προέρχονται από γεωγραφικούς χώρους που υπόκεινται σε αυξημένη κοσμική δραστηριότητα. Τέλος, ξεχωριστές και ιδιόμορφες ομάδες αξιολόγησης θεωρούνται το προσωπικό των αεροπορικών πτήσεων, καθώς και τα μέλη διαστημικών αποστολών, αφού εντοπίζονται σε διαφορετικές φυσικές συνθήκες.

Βιολογικές επιπτώσεις

Τα ενεργητικά σωματίδια είναι δυνατόν να προκαλέσουν βλάβες στα κύτταρα ή και ακόμα να οδηγήσουν σε κυτταρικό θάνατο μέσω απόπτωσης και νέκρωσης. Όταν ένα ενεργητικό σωματίδιο προσπίπτει σε ένα κύτταρο, αλληλεπιδρά με τα ηλεκτρόνια των μορίων που το αποτελούν και αποδίδει μέρος της ενέργειας του. Το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης αυτής εξαρτάται από το είδος και την ενέργεια του ενεργητικού σωματιδίου (πρωτόνιο, ιόν, ηλεκτρόνιο, νετρόνιο, φωτόνιο). Τα νετρόνια μπορούν να προκαλέσουν οργανικές βλάβες πιο εύκολα από ότι τα πρωτόνια υψηλής ενέργειας, τα ηλεκτρόνια ή οι ακτίνες γ. Η επίδραση της ακτινοβολίας στο DNA των κυττάρων μπορεί να είναι άμεση όταν αλληλεπιδρά απ'ευθείας με το DNA και έμμεση μέσω του σχηματισμού ελεύθερων ριζών που επιδρούν στο DNA. Επιπλέον τα ενεργητικά σωματίδια επηρεάζουν όργανα και ιστούς που παρουσιάζουν

έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα, όπως το μυοκάρδιο και το σύστημα αγωγής καθώς και το νευρικό σύστημα. Οι μυοκαρδιακές ίνες έρχονται σε στενή επαφή μεταξύ τους σχηματίζοντας τους εμβόλιμους δίσκους, οι οποίοι περιέχουν χασματοσυνάψεις και δεσμοσωμάτια, δηλαδή υποκυτταρικές δομές που συνδέουν τα μυοκαρδιακά κύτταρα μεταξύ τους τόσο μηχανικά όσο και ηλεκτρικά. Ο μυοκαρδιακός ιστός εκφράζει κυρίως κονεξίνη 43, κονεξίνη 45 και κονεξίνη 40. Ο αποσυντονισμός και η ανομοιόμορφη κατανομή της κονεξίνης 43 στο επίπεδο των χασματοσυνάψεων συντελεί στην ηλεκτρική αστάθεια και αποδιοργάνωση των μυοκαρδιακών κυττάρων και συνδέεται με αρρυθμιολογικό δράση και αιφνίδιο καρδιακό θάνατο.^{6,25}

Επιδημιολογικές μελέτες

Οι περισσότερες μελέτες συσχετίζουν τη συχνότητα καρδιαγγειακών επεισοδίων αλλά και αιφνιδίων θανάτων με την γεωμαγνητική δραστηριότητα αλλά και τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (Πίνακας 1 & 2). Ωστόσο η πληθώρα των μελετών προέρχονται από συγκεκριμένους γεωγραφικούς χώρους επειδή φαίνεται ότι εντοπισμένα γεωγραφικά πλάτη υπόκεινται σε πιο αυξημένες επιδράσεις. Το διεθνές πρόγραμμα BIOCOS καταγράφει τις μεταβολές φυσιολογικών παραμέτρων σε διάφορες γεωγραφικές θέσεις σε σχέση με τη γεωμαγνητική και την ηλιακή δραστηριότητα.²⁶ Παρατηρήσεις της Ρώσικης Ακαδημίας Επιστημών έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταιγίδων αυξάνουν τα επεισόδια έντονων κεφαλαλγιών, αυξάνουν στο διπλάσιο τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια καθώς

Πίνακας 1. Κλίμακα NOAA (Space Weather Scales) σχεπικά με τις επιδράσεις των γεωμαγνητικών καταιγίδων σε τεχνολογικά συστήματα.
<http://www.swpc.noaa.gov/>

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ
G5	Ακραία	Ενεργειακά συστήματα: εκτεταμένα προβλήματα σε συστήματα ελέγχου τάσης και μετασχηματιστές, κατάρρευση ηλεκτρικών δικτύων. Διαστημικές αποστολές: εκτεταμένα προβλήματα στα συστήματα πλοήγησης και προσανατολισμού καθώς και εντόπισης των δορυφόρων. Συστήματα μετάδοσης: εκτεταμένα προβλήματα στη μετάδοση ραδιοκυμάτων (HF – LF) καθώς και δορυφορικών μεταδόσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα.
G4	Ισχυρή	Ενεργειακά συστήματα: σημαντικά προβλήματα σε συστήματα ελέγχου τάσης και μετασχηματιστές. Διαστημικές αποστολές: σημαντικά προβλήματα στα συστήματα πλοήγησης και προσανατολισμού. Συστήματα μετάδοσης: σημαντικά προβλήματα στη μετάδοση ραδιοκυμάτων (HF – LF) καθώς και δορυφορικών μεταδόσεων για μικρό χρονικό διάστημα.
G3	Δυνατή	Ενεργειακά συστήματα: δυσλειτουργία σε συστήματα ελέγχου τάσης και μετασχηματιστές. Διαστημικές αποστολές: ελεγχόμενα προβλήματα σε συστήματα πλοήγησης και προσανατολισμού. Συστήματα μετάδοσης: διακοπόμενες συνδέσεις, ελεγχόμενα προβλήματα στη μετάδοση ραδιοκυμάτων (HF – LF) καθώς και δορυφορικών μεταδόσεων.

Πίνακας 2. Κλίμακα NOAA (Space Weather Scales) σχετικά με τις επιδράσεις των γεωμαγνητικών καταιγίδων σε βιολογικά συστήματα (24).

http://www.swpc.noaa.gov/		
SCALE	DESCRIPTION	EFFECT
G5	Extreme	Biological effects: increasing more than 10-15% of the daily rate of myocardial infarction, brain strokes and car road accident traumas for the population on the ground.
G4	Severe	Biological effects: increasing several percent (up to 10-15%) of the daily rate of myocardial infarction, brain strokes and car road accident traumas for the population on the ground.
G3	Strong	Biological effects: increasing a few percent of the daily rate of myocardial infarction, brain strokes and car road accident traumas for the population on the ground.

και τα οξέα στεφανιαία σύνδρομα. Συνδυασμός υψηλής ατμοσφαιρικής πίεσης και γεωμαγνητικής καταιγίδας αυξάνει τα εγκεφαλικά επεισόδια, ενώ χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση και γεωμαγνητική καταιγίδα οδηγεί σε αύξηση των καρδιακών επεισοδίων. Σε νότιες χώρες, μακριά από το γεωμαγνητικό ισημερινό, όπως η Ελλάδα, η επίδραση είναι μικρότερη γιατί είναι και μικρότερες οι μεταβολές των μαγνητικών πεδίων.²⁷ Οι Dorman και συν υποστηρίζουν ότι οι καρδιαγγειακές ασθένειες επηρεάζονται από το διαστημικό καιρό τόσο μακροπρόθεσμα (ηλιακή δραστηριότητα) όσο και βραχυπρόθεσμα (μειώσεις Forbush).^{6,28} Οι μειώσεις Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας μπορούν να θεωρηθούν ως ευαίσθητοι δείκτες της σχέσης μεταξύ των γεωμαγνητικών διαταραχών και των οξέων στεφανιαίων συνδρόμων.^{26,29} Οι μειώσεις Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας είναι ένα ηλιοσφαιρικό φαινόμενο το οποίο αφορά τις μεταβολές της πυκνότητας και της ανισotropίας των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων, που προκαλούνται από διαδιδόμενες διαταραχές του ηλιακού ανέμου σε μεγάλη κλίμακα.³⁰ Τα πιο στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα που αφορούν επεισόδια εμφράγματος του μυοκαρδίου παρατηρούνται σε μέρες γεωμαγνητικών διαταραχών που συνοδεύονται από μειώσεις Forbush και κυρίως κατά τη φάση της μείωσης.^{29,31} Όπως προκύπτει για την κύρια φάση της μείωσης Forbush ο μέσος αριθμός εμφραγμάτων και εγκεφαλικών αυξάνεται κατά (10,5 ± 1,2)% και (7 ± 1,7)% αντίστοιχα.^{6,24,28} Μία επιδημιολογική παρατήρηση η οποία θεωρείται σημαντική είναι η περιοδικότητα στα καρδιαγγειακά επεισόδια και στους αιφνίδιους θανάτους η οποία ταυτίζεται με την περιοδικότητα των γεωμαγνητικών φαινομένων και την ηλιακή δραστηριότητα.^{31,32} Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Baku, αναλύθηκαν 800 περιπτώσεις αιφνίδιων καρδιακών θανάτων και φαίνεται ότι παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα τις ημέρες γεωμαγνητικών καταιγίδων υψηλής έντασης.³³ Αξιόλογα συμπεράσματα μπορεί κανείς να αντλήσει από τις παράλληλες έρευνες που διεξήχθησαν ταυτόχρονα σε δυο πόλεις. Αναλύθηκαν 1200 περιπτώσεις

οξέως εμφράγματος στη Σόφια και αντίστοιχα 4500 περιπτώσεις στο Baku και προέκυψε ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των οξέων συμβάντων στις δύο πόλεις και των γεωμαγνητικών δεικτών.³⁴ Μια σημαντική μελέτη που διενεργήθηκε στο Καunas της Λιθουανίας και περιελάμβανε 16500 ασθενείς με οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, ανέδειξε σημαντική συσχέτιση με τα επίπεδα δραστηριότητας των κοσμικών ακτίνων και επιπλέον ότι ήταν πιο ισχυρή στις γυναίκες από ότι στους άνδρες.^{35,36} Οι παρατηρήσεις αυτές ήταν τόσο ενθαρρυντικές που η έρευνα επεκτάθηκε στην ανάλυση 675.000 θανάτων για το χρονικό διάστημα 1990-2005 και προέκυψε ότι ο συνολικός μηνιαίος αριθμός θανάτων συσχετίζεται σημαντικά με την κοσμική ακτινοβολία.

Μεταβολές φυσιολογικών ανθρωπινών παραμέτρων

Οι μεταβολές των φυσιολογικών παραμέτρων, όπως της καρδιακής συχνότητας, της αρτηριακής πίεσης, των διαστημάτων RR, μπορούν να περιγραφούν αναλυτικά μέσα από τις παρατηρήσεις δυο ερευνητικών πρωτοκόλλων με συμμετοχή της ομάδας κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το ερευνητικό πρωτόκολλο του Kosice της Σλοβακίας περιελάμβανε 4000 άνδρες, μέλη αεροπορικών πτήσεων και ηλικίας από 18 έως 60. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της αρτηριακής συστολικής και διαστολικής πίεσης για τα υψηλά επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ενώ ισχυρές μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σχετίζονται με μείωση των παραμέτρων της συστολικής πίεσης και αύξηση της διαστολικής.³⁷ Αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και μείωση στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σχετίζονται με αύξηση της καρδιακής συχνότητας, ενώ τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από αλλαγές στους παράγοντες του διαστημικού καιρού σημειώνονται έντονη μεταβολές στην ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς και επομένως του καρδιακού ρυθμού.³⁸ Διαφο-

ρετικού τύπου έρευνα που εστίασε σε λεπτομερείς μετρήσεις ηλεκτροκαρδιογραφικών παραμέτρων, πραγματοποιήθηκε στο Baku του Αζερμπαϊτζαν (γεωγραφικό πλάτος: 40° 23' Βόρεια; Γεωγραφικό μήκος : 49° 51' Ανατολικά). Το ερευνητικό πρωτόκολλο περιελάμβανε συγκεκριμένα μόνο επτά υγιείς εθελοντές και οι καταγραφές ακολουθούσαν συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στο εργαστήριο Ηλιοβιολογίας, σε ειδικό απομονωμένο χώρο για ελαχιστοποίηση επιδράσεων από περιβαλλοντικές συνθήκες και τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία για χρονική περίοδο δυο ετών 2006-2008. Η υψηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα, όπως οι γεωμαγνητικές καταιγίδες, και οι ισχυρές μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, συνοδεύονται από μείωση της παραμέτρου RRavg και έντονη αρρυθμολογική δραστηριότητα.³⁹ Οι δυο μελέτες ταυτίζονται ότι παρατηρείται μείωση της αρτηριακής πίεσης πριν από τις μεταβολές του Διαστημικού καιρού, αύξηση κατά τη διάρκεια των μεταβολών καθώς και λίγο μετά από αυτές και τέλος απότομη μείωση μετά το πέρας των γεγονότων. Φαίνεται ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων σημειώνονται στα υψηλότερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας ή στις μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Οι φυσιολογικές παράμετροι μεταβάλλονται σημαντικά τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από έντονα γεγονότα. Πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη από την ομάδα του εθνικού αστροφυσικού παρατηρητηρίου της Γεωργίας, μελετήθηκε στο Tbilisi η πιθανή σχέση μεταξύ αρρυθμολογικών επεισοδίων (συχνές υπερκοιλιακές και κοιλιακές συστολές, υπερκοιλιακές και κοιλιακές ταχυκαρδίες) σε 1900 ασθενείς, με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα (δείκτες Ap και Dst). Όπως προκύπτει από την μελέτη, οι μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα δείχνουν να συνδέονται με αύξηση των αρρυθμολογικών επεισοδίων.⁴⁰ Μια σημαντική παρατήρηση είναι η παρουσία αντίστροφης συσχέτισης των αρρυθμιών με τις ηλιακές και διαπλανητικές παραμέτρους κατά τα έτη 1988-1989, τα οποία συμπίπτουν με την αλλαγή πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του ηλιακού μεγίστου.⁴⁰ Οι Gigolashvili και συν επείσημαναν πιθανή επίδραση της αλλαγής της πολικότητας του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου στις περιπτώσεις των αρρυθμιών κατά τη διάρκεια της 27ήμερης συνοδικής περιόδου της Γης.⁴¹ Σημαντικές παρατηρήσεις προκύπτουν και από μελέτη που διεξήχθη στη Ρώμη και περιλάμβανε την ανάλυση δεδομένων από Hollter ρυθμού για 2000 ασθενείς και για τη χρονική περίοδο 2002-2004. Φαίνεται ότι οι ασθενείς με ιστορι-

κό κολπικής μαρμαρυγής είναι πιο επιρρεπείς στη γεωμαγνητική δραστηριότητα και τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τους ασθενείς με ισχαιμική νόσο.⁴² Επιπλέον οι ασθενείς που λαμβάνουν αγωγή με β-αναστολείς παρουσιάζουν αντίσταση και λιγότερες μεταβολές των φυσιολογικών παραμέτρων σε σχέση με εκείνους που δεν λαμβάνουν ανάλογη αγωγή.^{29,42}

Συμπεράσματα

Η παρατήρηση και η ανακάλυψη φυσικών φαινομένων ικανών να επηρεάσουν την ομοιόσταση και τη νοσηρότητα έθεσαν την αναγκαιότητα να ταυτιστούν σε κοινό στόχο διαφορετικά επιστημονικά πεδία και να εδραιωθούν νέες επιστημονικές οντότητες όπως η κλινική κοσμοβιολογία. Σύμφωνα με τη θεωρία της προσαρμογής (Selye, 1956) κάθε στρεσογόνος παράγοντας θέτει σε λειτουργία τα αντισταθμιστικά συστήματα του οργανισμού και όταν εκείνα εξαντληθούν προδιαθέτει στη νοσηρότητα. Οι διαταραχές του διαστημικού καιρού αποτελούν σημαντικό παράγοντα κινδύνου τόσο για τα τεχνολογικά μέσα όσο και για την υγεία του ανθρώπου. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η πρόγνωση των επικινδύνων διαταραχών μέσω της δημιουργίας σταθμών κυρίως στους γεωγραφικούς χώρους που υπόκεινται σε έντονες μεταβολές του διαστημικού καιρού καθώς και η διαστρωμάτωση κινδύνου για τις πιο ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού αφού είναι πιο επιρρεπείς σε ισχυρά φυσικά φαινόμενα.

Βιβλιογραφία

1. Castelveccchi D, Witze A. Einstein's gravitational waves found at last. Feb 2016. <http://www.nature.com/>
2. Abbott B. Observation of Gravitational waves from a binary black hole merger. *Phys. Rev Lett.* 2016; 116:061102.
3. Kleimenova NG, Troitskaia V. Geomagnetic pulsations as one of ecological environment factors. *Biofizika* 1992;37:429-438.
4. Mendoza B, Sanchez de la Pena S. Solar activity and human health at middle and low geomagnetic latitudes in Central America. *Advances in space research* 2010;46:449-459.
5. Diaz-Sandoval R, Erdelyi R, Maheswaran R. Could periodic patterns in human mortality be sensitive to solar activity? *Annales Geophysicae* 2011;29:1113-1120.
6. Παπαηλιου Μ. Προειδοποιήσεις γεωμαγνητικών διαταραχών και ανθρώπινες φυσιολογικές παράμετροι. 2013. Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πα-

- νεπιστήμιο Αθηνών.
7. Stoupel E. The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 2002;56:247-256.
 8. 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 and Geosphere* 2006; 1:13-16.
 9. Palmer S, Rycroft M, Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the earth's surface. *Surv Geophys* 2006;27:557-595.
 10. Babayev E, Allahveriyeva A. Effects of geomagnetic activity variations on the physiological state of functionally healthy humans: some results of Azerbaijani studies. *Advances in space research* 2007;40:1941-1951.
 11. Athens Neutron Monitor Station (A.Ne.Mo.S). <http://cosray.phys.uoa.gr>
 12. Real-Time database for high resolution neutron monitor measurements. <http://www.nmdb.eu>
 13. Mavromichalaki H, Gerontidou M, Mariatos G, Papailiou M, Papaioannou A, Plainaki C, Sarlanis C, Souvatzoglou G. Athens neutron monitor data processing center – ANMODAP Center. *Advances in space research* 2009;44:1237-1246.
 14. Usoskin I, Mursula K. *Heliospheric and Cosmic rays*. 2001; Lectures notes, University of Oulu.
 15. Πρέκα – Παπαδήμα Π, Δανέζης Μ, Θεοδοσίου Σ, Καργιολάκη Δ. Στα μονοπάτια του Ήλιου: εισαγωγή στη ηλιακή φυσική. Δίαυλος 2009.
 16. Daglis I. *Space storms and space weather hazards*. 2001; NATO ASI series.
 17. Kivelson M, Russell C. *Introductions to space physics*. 1995; Cambridge University press.
 18. Mavromichalaki H, Gerontidou M, Mariatos G, Plainaki C, Papaioannou A, Sarlanis C, Souvatzoglou G, Belov A, Eroshenko E, Yanke V, Tsitomenas S. Space weather forecasting at the new Athens centre: the recent extreme event of January 2005. *IEEE* 2005;52:2307-2312.
 19. Odenwald S. *Solar storms and the costly problems in technological society*. STEM Resource Development, National Institute of Aerospace. www.solarstorms.org
 20. Kallenrode M. *Space physics: an introduction to plasmas and particles in the heliosphere and magnetospheres*. Springer 1998.
 21. Dimitrova S, Babayev E, Georgieva K, Obdriko V, Mustafa F. Possible effects of solar and Geomagnetic activity on sudden cardiac death in middle latitudes. *Sun and geosphere* 2009;4:84-88.
 22. Stoupel E, Wittenberg C, Zabudowski J, Boner G. Ambulatory blood pressure monitoring in patients with hypertension on days of high and low geomagnetic activity. *J Hum Hypertens* 1995;9:293-294
 23. Baeovsky R, Petrov V, Cornelissen G, Halberg F, Orth-Gomer K, Akerstedt T, Otsuka K et al. Meta-analyzed heart rate. Variability exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease. *Script Med* 1997;70:201-206.
 24. Dorman L. Space weather and dangerous phenomena on the Earth: principles of great geomagnetic storms forecasting by online cosmic ray data. *Annales Geophysicae* 2005;23:2997-3002.
 25. Severs N, Dupont E, Thomas N, Kaba R, Rothery S, Jain R et al. Alterations in cardiac connexin expression in cardiomyopathies. *Adv Cardiol* 2006;42:228-242
 26. Ptitsyna N, Villoresi G, Kopytenko Y, Kudrin V, Tyasto M, Kopytenko E et al. Coronary heart diseases: an assessment of risk associated with work exposure to ultra low frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1996;17:436-444.
 27. Cornelissen G, Halberg F, Breus T, Syytkina E, Baeovsky R, Weydahl A. Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *JASTP* 2002;64:707-720.
 28. Dorman L, Iucci N, Ptitsyna N, Villoresi G. Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infarct myocardial, brain strokes, car and train accidents. *Proc 27th ICRC Hamburg* 2001:3511-3514
 29. Villoresi G, Breus T, Iucci N, Dorman L, Rapoport S. The influence of geophysical and social effects on the incidences of clinically important pathologies. *Physica Medica* 1994;10:79-91.
 30. Πλαϊνακη Χ. Φυσική ηλιακών κοσμικών σωματίων με δεδομένα από μετρητές νετρονίων και δορυφόρους. ΔΔΦΕ, ΕΚΠΑ, 2007.
 31. Katsavrias C, Preka-Papadema P, Moussas X, Apostolou T, Theodoropoulou A, Papadima T. Helio geomagnetic influence in cardiological cases. *Adv Space Res* 2013;51:96-106.
 32. Cornelissen G, Halberg F, Kovac M, Mikulecky M, Otsuka K, Bakken E. Geographic and extraterrestrial aspects of morbidity and mortality patterns from myocardial infarction and stroke. *Biomed Pharmacother* 2005;59:68-75.
 33. Dimitrova S. Relationship between human physiological parameters and geomagnetic variations of solar origin. *Advances in space research* 2006;37:1251-1257.
 34. Dimitrova S, Mustafa F, Stoilova I, Babayev E, Kazimov E. Possible influence of solar extreme events and related geomagnetic disturbances on human cardio-vascular state: results of collaborative Bulgarian-Azerbaijani studies. *Advances in space research* 2009;43:641-648.
 35. Stoupel E, Domarkiene S, Radishauskas R, Israelevich P, Abramson E, Sulkes J. In women myocardial infarction occurrence is much stronger related to environmental physical activity than in men- a gender or an advanced age effect? *J Clin Basic Cardiol* 2005;59:59-60.
 36. Stoupel E, Kalediene R, Petrauskiene J, Starkuviene S, Abramson E, Israelevich P, Sulkes J. Monthly deaths and concomitant environmental physical activity: 192 months observation (1990-2005). *Sun and Geosphere* 2007;2:78-83.
 37. Papailiou M, Mavromichalaki H, Kudela K, Stetiartova J, Dimitrova S. Cosmic radiation influence on the

- physiological state of aviators. *Natural Hazards* 2012;61:719-727.
38. 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. *Proc 31st ICRC* 2009.
 39. Mavromichalaki H, Papailiou M, Dimitrova S, Babayev E, Loucas P. Space weather hazards and their impact on human cardio-health state parameters in Earth. *Natural hazards* 2012;64:1447-1459.
 40. Giannaropoulou E, Papailiou H, Mavromichalaki H, Gigolashvili M, Tvildiani L, Janashia K et al. A study on the various types of arrhythmias in relation to the polarity reversal of the solar magnetic field. *Nat Hazards* 2014;70:1575-1587.
 41. Gigolashvili M, Ramishvili G, Janashia K, Tvildiani L, Pitiurishvili P. Possible dependence of the sign changing of the polarity of interplanetary magnetic field on complications of various arrhythmias. National Astronomical Observatory. Internal report. <http://observatory.iliauni.edu.ge/>
 42. Giannaropoulou E, Papailiou H, Mavromichalaki H, Tsipis A. Analysis of geomagnetic disturbances and cosmicray intensity variations in relation to medical data from Rome. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series* 2009;424:88.

Cosmic ray variations and geomagnetic disturbances: unknown risk factors for cardiovascular disease

Tsipis Angelos¹, Papailiou Maria², Athanassiadou Anna Maria³, Mavromichalaki Helen²

(1) Division of Cardiology, Onassis Cardiac Surgery Center, Athens, Greece

(2) Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, University of Athens, Athens, Greece

(3) Department of Pathology, University of Athens, Athens, Greece

Abstract

Many attempts have been in order to define the possible influence of geomagnetic and cosmic ray activity on human physiological state and in particular on human cardiovascular system. Clinical cosmobiology and heliobiology are branches of science that deals with the impact of space and solar activity and related effects in living organisms. Geomagnetic activity changes and cosmic ray intensity variations may regulate the human homeostasis and influence basic biological functions. As it is shown the human organism is sensitive to environmental changes and reacts to them through a series of variations of its physiological parameters such as heart rate, arterial systolic and diastolic blood pressure. However, it is of great importance to conduct further investigation of space weather activity effects on physiological and cardiologic parameters at different latitudinal and longitudinal areas.