



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΜΗ
ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ »**

**«INVESTIGATION OF THE BIOLOGICAL EFFECTS OF NON-IONISING
RADIATION»**

υπό

ΤΣΙΟΥΛΑΚΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης και Ακτινοπροστασία»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Τσούγκος Ιωάννης, Καθηγητής ΤΙ ΠΘ

Θεοδώρου Κυριακή, Καθηγήτρια ΤΙ ΠΘ

Κάππας Κωνσταντίνος, Ομ. Καθηγητής ΤΙ ΠΘ

Λάρισα, 2024

ABSTRACT

Today, non ionising radiation is part of everyday life. From the ultraviolet radiation of the sun to microwave ovens, humans are exposed to it and exploit it for their own needs. The more it is used, the more the public's concern about biological effects increases. Over the last decades, studies on the biological effects of non-ionising radiation have taken place. Due to the widespread use of mobile phones, which produce radiation in the radiofrequency range, there is great concern about the biological effects. The purpose of this thesis is to present studies that have been carried out on mobile telephones and to come to a conclusion on their biological effects. First, an analysis is made of non-ionizing radiation in general, its sources and its biological effects. Then, various studies on mobile phone radiation, as well as on the radiation of the 5th generation of mobile phone networks (5G) are presented, since they are the main radiation to which humans are exposed on a daily basis. The studies that selected show a positive side according to our knowledge so far and some of them suggest that further studies should be done to fully clarify the issue. The thesis concludes with a reference to radiation protection and the necessary legislation that has been enacted and must be followed to avoid adverse effects.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι κομμάτι της καθημερινότητας. Από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου μέχρι και τους φούρνους μικροκυμάτων, ο άνθρωπος εκτίθεται σε αυτή και την εκμεταλλεύεται για τις ανάγκες του. Όσο πιο πολύ χρησιμοποιείται, τόσο περισσότερο αυξάνεται και η ανησυχία του κοινού για τις βιολογικές επιπτώσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν λάβει χώρα μελέτες για τις βιολογικές επιπτώσεις των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Λόγω της εκτεταμένης χρήσης των κινητών τηλεφώνων, τα οποία παράγουν ακτινοβολία στη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, υπάρχει μεγάλη ανησυχία για τις βιολογικές επιπτώσεις. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να παρουσιάσει μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την κινητή τηλεφωνία και να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα για τις βιολογικές επιπτώσεις. Αρχικά γίνεται μια ανάλυση γενικότερα για τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, τις πηγές τους καθώς και τα βιολογικά τους αποτελέσματα. Στη συνέχεια, παρατίθενται διάφορες μελέτες για την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας, καθώς και για την ακτινοβολία της 5^{ης} γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας (5G), αφού πρόκεινται για τις κύριες ακτινοβολίες που εκτίθεται καθημερινά ο άνθρωπος. Οι μελέτες που επιλέχθηκαν παρουσιάζουν μια θετική πλευρά, σύμφωνα με την μέχρι τώρα γνώση μας και κάποιες από αυτές προτείνουν να γίνουν περαιτέρω μελέτες ώστε να ξεκαθαρίσει πλήρως ο προβληματισμός. Η εργασία ολοκληρώνεται με την αναφορά στην ακτινοπροστασία και την απαραίτητη νομοθεσία που έχει θεσπιστεί και πρέπει να ακολουθείται για την αποφυγή δυσμενών αποτελεσμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

1.1.ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ

1.2.ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

1.2.1. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

1.2.2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.1.ΓΕΝΙΚΑ

2.2.ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.3.ΟΡΑΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.4.ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.5.ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

2.6.ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ/ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

3.1.ΓΕΝΙΚΑ

3.2.ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ

3.3.ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΑΝΔΡΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΟΡΜΟΝΕΣ

3.4.ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΥΜΟΣΥΝΗ

3.5.ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

3.5.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

3.5.2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ 5ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία αποτελούν θεμελιωδώς διαφορετικές έννοιες διότι διαφέρουν και στη φύση τους και στον τρόπο αλληλεπίδρασης με τα υλικά. Η ύπαρξη ηλεκτρικού φορτίου είναι απαραίτητη για την δημιουργία ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Η παραγωγή ηλεκτρικού πεδίου είναι ανεξάρτητη από τη κίνηση των φορτίων, ενώ η παραγωγή του μαγνητικού πεδίου απαιτεί κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός αποτελούν δυο ξεχωριστά φαινόμενα μόνο όταν η ταχύτητα του ηλεκτρικού φορτίου και η ένταση του ρεύματος δεν μεταβάλλονται χρονικά. Σε περίπτωση που οι κατανομές των φορτίων είναι μεταβαλλόμενες και η ένταση δεν είναι σταθερή, τότε τα φορτία είναι επιταχυνόμενα με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. (1) Πιο συγκεκριμένα, ένα ηλεκτρικό πεδίο που μεταβάλλεται δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί ένα νέο μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που ουσιαστικά οφείλεται στην ηλεκτρομαγνητική διάδοση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων. (2)

Οι εντάσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου υφίστανται ταλάντωση με την ίδια φάση, σε δυο επίπεδα που είναι αφενός κάθετα μεταξύ τους αφετέρου κάθετα προς την κατεύθυνση της μετάδοσης της ενέργειας. Οι εντάσεις αποτελούν δυο διαφορετικά κύματα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα διπλό κύμα που ουσιαστικά αντιπροσωπεύει την μεταφορά της ηλεκτρικής και της μαγνητικής ενέργειας. (1) Με άλλα λόγια πρόκειται για μια ταλάντωση που διαδίδεται στον χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Αυτή η μεταφορά ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να εντοπίσει μόνο ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας, το ορατό φως που παράγει τα διάφορα χρώματα του ουράνιου τόξου. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια τα οποία δεν έχουν μάζα και φορτίο. Η διάδοση τους είναι σε κύματα και κινούνται με τη ταχύτητα του φωτός σύμφωνα με τους νόμους της κβαντομηχανικής. (1)

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα ενέργειας και επομένως συχνότητας και μηκών κύματος. Αυτό ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές. Η κάθε περιοχή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και τις δικές της εφαρμογές στη καθημερινή ζωή. Οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού

φάσματος είναι: τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το υπέρυθρο και το υπεριώδες φάσμα, το ορατό φως, και οι ακτίνες X και γ.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτός από αυτές τις επιμέρους περιοχές στις οποίες χωρίζεται, μπορεί να χωριστεί και σε δυο μεγαλύτερες κατηγορίες ακτινοβολιών, τις ιοντίζουσες και της μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες που η κάθε μια θα περιλαμβάνει κάποιες από τις περιοχές. Ο διαχωρισμός εξαρτάται από το ποιες περιοχές είναι ικανές να προκαλέσουν ιοντισμό της ύλης. Μερικές φορές ένα άτομο μπορεί να απορροφήσει τόσο μεγάλη ενέργεια, ώστε είναι δυνατό το ηλεκτρόνιο του να απομακρυνθεί από τον πυρήνα. Το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται οριστικά από τον πυρήνα και το άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν. Η απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα ονομάζεται ιοντισμός του ατόμου. Συνεπώς, κάποια ήδη ακτινοβολιών έχουν αυτή την ικανότητα και άλλα δεν την έχουν, και αυτό εξαρτάται από την ενέργεια και τη συχνότητα τους, είτε αυτή είναι χαμηλή είτε υψηλή. Στις υψηλές ενέργειες και στα μικρά μήκη κύματος ανήκουν οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες και συγκεκριμένα οι ακτίνες X και γ, οι οποίες έχουν την ικανότητα να προκαλέσουν ιοντισμό των ατόμων. Στις χαμηλές ενέργειες και τα μεγάλα μήκη κύματος ανήκουν οι μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, δηλαδή τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία, που δε προκαλούν ιοντισμό.

Διάφορες πηγές και συσκευές που χρησιμοποιούνται στη καθημερινή ζωή παράγουν μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Οι πηγές διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στις φυσικές και τις τεχνητές πηγές. Στις φυσικές πηγές ανήκουν η ηλιακή και η κοσμική ακτινοβολία και τα στατικά ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία της Γης. Στις τεχνητές ανήκουν το τεχνητό μαύρισμα (tanning bed, σολάριουμ), οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι ασύρματες συσκευές (κινητά τηλέφωνα, πύργοι κινητής τηλεφωνίας, εξοπλισμός WiFi, κεραίες ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών εκπομπών), οι συσκευές φωτισμού (λάμπες LED, λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού), τα ηλεκτροφόρα καλώδια και η οικιακή καλωδίωση, τα ραντάρ, και τέλος τα laser, είτε χειρός είτε δείκτες. (1)

Μια από τους πιο επαναστατικές εφευρέσεις της ανθρωπότητας είναι το κινητό τηλέφωνο, καθώς βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα ζωής αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι τους καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Η τεχνολογία τους έχει εξελιχθεί γρήγορα από ένα απλό εργαλείο επικοινωνίας σε μια ασύρματη συσκευή με πολλαπλές

λειτουργίες. Ωστόσο, λόγω της ευελιξίας και της ευρείας χρήσης της, αυξάνεται και η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κατ' επέκταση η ανησυχία για την ασφάλεια της υγείας. Επίσης, η εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι αξιοσημείωτη, από τις πρώτες κυκλοφορίες των κινητών συσκευών σε μορφή τούβλου μέχρι και τα σημερινά smartphones. (3)

Η εμφάνιση μιας βιολογικής επίδρασης εμφανίζεται όταν μπορεί να εντοπιστεί μια αλλαγή σε ένα βιολογικό σύστημα έπειτα από την εισαγωγή κάποιου ερεθίσματος. Ωστόσο, δεν υποδηλώνει απαραίτητα την ύπαρξη βιολογικού κινδύνου ή επίδραση στην υγεία η παρατήρηση κάποιας βιολογικής επίδρασης. Κίνδυνος γίνεται μόνο όταν η βλάβη ανιχνευτεί στην υγεία του ατόμου ή σε κάποιον απόγονο του. Γενικότερα, μια βιολογική επίπτωση σε έναν οργανισμό μπορεί να είναι φυσιολογική, βιοχημική ή κάποια αλλαγή στη συμπεριφορά του. (4)

Τέλος, καθώς η στοχευμένη νομοθεσία είναι απαραίτητη σε όλους τους κλάδους της καθημερινής μας ζωής, πρέπει να ακολουθείται από όλους τους πολίτες, επαγγελματικά εκτιθέμενους και μη. Έτσι θα αποφεύγονται συνέπειες που μπορεί να βλάψουν την υγεία τους, αλλά και να προκαλέσουν νομικά προβλήματα. Η ακτινοπροστασία είναι εκείνη η επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τους κανόνες και τις διαδικασίες που στοχεύουν στην ασφάλεια των εργαζομένων και του κοινού από τις ακτινοβολίες (ιοντίζουσες και μη). Το σύστημα της ακτινοπροστασίας που εφαρμόζει ένα κράτος βασίζεται στις ακόλουθες αρχές: αρχή της αιτιολόγησης, αρχή της βελτιστοποίησης και η αρχή των ορίων δόσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ.

1.1.ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ

Κοσμική ακτινοβολία

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία προέρχονται από τη φύση και είναι αναπόφευκτο να τα αποφύγουμε. Καθημερινά δεχόμαστε ακτινοβολία από το περιβάλλον, όπως για παράδειγμα ο ήλιος ή το στατικό μαγνητικό πεδίο της Γης ή οι κεραυνοί που δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Ένα μέρος της ενέργειας που εκτοξεύθηκε κατά τη δημιουργία του Σύμπαντος, αποτελεί η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου. Εμφανίζεται με τη μορφή της ακτινοβολίας μέλανος σώματος και πέφτει στη Γη από όλες τις κατευθύνσεις. (1) Ακτινοβολία μέλανος σώματος είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία εκπέμπουν όλα τα σώματα όταν θερμανθούν ($T > 0$), για αυτό και ο χαρακτηρισμός της ως θερμικής ακτινοβολίας. Στην ιδανική της μορφή η ακτινοβολία μέλανος σώματος εκπέμπεται από σώματα ικανά να απορροφήσουν ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία σ' όλα τα μήκη κύματος, οπότε και θα έχουν μαύρο χρώμα. (5) Στο φάσμα της κοσμικής ακτινοβολίας, η κορυφή της συχνότητας είναι τα 160,2GHz και λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση του Planck, προκύπτει πως η θερμοκρασία του Σύμπαντος είναι 2,725K. Ένα μέλαν σώμα είναι και ο ήλιος, του οποίου το φάσμα παρουσιάζει μια κορυφή στα $3,4 \times 10^{14}$ Hz και έχει εκτιμώμενη θερμοκρασία επιφάνειας τα 5778K. Η ακτινοβολία του ήλιου τοποθετείται σε ένα μεγάλο ποσοστό στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και ένα μικρό ποσοστό βρίσκεται ανάμεσα στα 30kHz με 300GHz. (1)

Γήινο μαγνητικό πεδίο

Το γήινο μαγνητικό πεδίο έχει ένταση 25 με 65 μ T στην επιφάνεια της Γης ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η Γη αποτελεί και αυτή ένα μέλαν σώμα με θερμοκρασία επιφάνειας 290K. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας της ανήκει στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και ένα μικρό ποσοστό ανήκει στις ραδιοσυχνότητες. (1)

Ηλεκτρικές εκκενώσεις

Τέλος, όσον αφορά τις ηλεκτρικές εκκενώσεις, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από τις αστραπές εμφανίζονται ως παλμοί και το σημείο που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση είναι αυτό που θα καθορίζει τη φύση τους. Σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 χιλιομέτρων ταξιδεύουν οι πιο ισχυροί παλμοί, αλλά η ένταση του ηλεκτρικού

πεδίου τους ελαχιστοποιείται ανάλογα την απόσταση. Κατά μέσο όρο, περίπου 40-50 αστραπές και κεραυνοί σημειώνονται στη Γη κάθε δευτερόλεπτο, ή 1,4 δισεκατομμύρια αστραπές και κεραυνοί ετησίως. (1)

«Σολάριουμ», τεχνητό μαύρισμα

Τα τελευταία χρόνια η χρήση τεχνητού μαυρίσματος που χρησιμοποιεί την υπεριώδη ακτινοβολία είναι ευρέως διαδεδομένη στον κόσμο, και ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες. Τα γνωστά σε όλους «σολάριουμ» είναι μια συσκευή, ένα μηχάνημα, που εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία προκαλώντας καλλυντικό μαύρισμα. (6) Η συχνή χρήση του τεχνητού μαυρίσματος μπορεί να τριπλασιάσει τον κίνδυνο εμφάνισης μελανώματος. (6) Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δεν συνιστά τη χρήση συσκευών μαυρίσματος με υπεριώδη ακτινοβολία για αισθητικούς λόγους. (6) Το 2009 ο Διεθνής Οργανισμός για την Έρευνα του Καρκίνου (IARC) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι συσκευές μαυρίσματος είναι επικίνδυνες. (7) Η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία από «σολάριουμ» σε εσωτερικούς χώρους, μπορεί να προκαλέσει: καρκίνο του δέρματος, δερματικά εγκαύματα, πρόωγη γήρανση του δέρματος, καθώς οφθαλμική βλάβη (τόσο βραχυπρόθεσμη όσο και μακροπρόθεσμη). Δεδομένων αυτών των κινδύνων, ο Οργανισμός Ελέγχου Φαρμάκων και Τροφίμων (FDA) το 2014 ζήτησε να υπάρχει γραπτή προειδοποίηση στους χώρους αυτούς, δηλώνοντας ότι τα προϊόντα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται από άτομα κάτω των 18 ετών. (8)

Φούρνοι μικροκυμάτων

Σύμφωνα με τις πρόσφατες γνώσεις σχετικά με την ακτινοβολία των μικροκυμάτων, ο Οργανισμός Ελέγχου Φαρμάκων και Τροφίμων δηλώνει πως οι φούρνοι που έχουν τις κατάλληλες προϋποθέσεις κατασκευής, είναι ασφαλείς για χρήση. (9) Οι φούρνοι μικροκυμάτων αποτελούν ένα μέσο που βοηθάει στη γρήγορη θέρμανση των τροφίμων και όταν η χρήση τους γίνεται με τον σωστό τρόπο, είναι ασφαλείς. (9) Θερμαίνουν τα τρόφιμα χρησιμοποιώντας την ακτινοβολία των μικροκυμάτων η οποία έχει τρία χαρακτηριστικά: αντανάκλαται από τα μέταλλα, διαπερνά το γυαλί, το χαρτί και το πλαστικό, καθώς και παρόμοια υλικά, και απορροφάται από τις τροφές. Στο εσωτερικό του φούρνου υπάρχει μια συσκευή που ονομάζεται magnetron και αυτή είναι που παράγει τα μικροκύματα τα οποία αντανάκλουν το εσωτερικό μεταλλικό μέρος του φούρνου προκαλώντας δόνηση στα μόρια του νερού των τροφίμων. Αυτή η δόνηση έχει ως αποτέλεσμα την τριβή μεταξύ

των μορίων, η οποία παράγει την θερμότητα που θερμάνει το φαγητό. (9) Όταν ένας φούρνος είναι σε καλή κατάσταση, κατασκευασμένος σωστά, τότε η ενέργεια των μικροκυμάτων δε θα διαρρεύσει στον χώρο, αντίθετα αν ένας φούρνος χαλάσει τότε παρουσιάζει κίνδυνο διαρροής. (9)

Ασύρματες συσκευές

Η ενέργεια των ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των σημάτων που μεταφέρουν πληροφορίες με τη μορφή των ραδιοκυμάτων. (10) Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται χρησιμοποιώντας πομπό και όταν φτάσουν σε έναν δέκτη, το σήμα μετατρέπεται ξανά στις πληροφορίες που στάλθηκαν αρχικά από τον πομπό. (10) Εκτός από τα κινητά τηλέφωνα, άλλες ασύρματες συσκευές όπως ραδιόφωνα, συσκευές Wi-Fi, δορυφόροι, ραντάρ και βηματοδότες μπορούν να στέλνουν ή να λαμβάνουν ραδιοκύματα. (10) Η ενέργεια των ραδιοσυχνοτήτων μειώνεται καθώς ταξιδεύει στην ατμόσφαιρα, πράγμα που σημαίνει ότι γίνεται πιο αδύναμη όσο πιο μακριά βρίσκεται από τον πομπό. (10) Οι ισχυροί πομποί μεγάλων αποστάσεων συνήθως δεν δημιουργούν υψηλού επιπέδου ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων στο έδαφος. (10) Εάν υπάρχει κίνδυνος στο επίπεδο του εδάφους από την ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων, υπάρχουν απαιτήσεις ασφαλείας για την πρόληψη της επικίνδυνης έκθεσης του κοινού. (10) Οι πύργοι μετάδοσης που παράγουν επικίνδυνα επίπεδα ραδιοσυχνοτήτων διαθέτουν προειδοποιητικές πινακίδες και ασφάλεια που περιορίζει την πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Αυτές οι προειδοποιήσεις και οι περιορισμοί πρόσβασης θα πρέπει πάντα να τηρούνται. (10)

Συσκευές φωτισμού

Οι συσκευές φωτισμού, αν και προορίζονται μόνο για τις ανάγκες του φωτισμού, δεν παράγουν μόνο ορατό φως. (11) Ως υποπροϊόν παράγουν επίσης άλλους τύπους ακτινοβολίας. (11) Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως παράγουν υπέρυθρη ακτινοβολία και οι λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, όπως οι λαμπτήρες φθορισμού ή οι λάμπες LED, παράγουν υπεριώδη ακτινοβολία. (11) Αυτό μπορεί να συνεπάγεται κίνδυνο για την υγεία, ειδικά με τα άτομα που έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία του δέρματος ή συγκεκριμένη οφθαλμική διαταραχή. (11) Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως παράγει φως μέσω της θέρμανσης ενός νήματος. Η περισσότερη ενέργεια που παράγεται ανήκει στη περιοχή των υπέρυθρων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα πολύ χαμηλή απόδοση. (11) Οι λαμπτήρες LED (LED,"Light Emitting Diode") δεν είναι λαμπτήρες με την παραδοσιακή έννοια της λέξης καθώς δεν έχουν

γυάλινη λάμπα και δεν περιέχουν νήμα. Το φως που παράγουν αναδύεται σε έναν κρύσταλλο κατασκευασμένο από ημιαγωγό, ο οποίος φωτίζεται αν περάσει ρεύμα. (12)
Οι λάμπες LED εκπέμπουν στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας και διατίθενται για τα καταναλωτικά προϊόντα. (11)

Ηλεκτροφόρα καλώδια και οικιακή καλωδίωση

Υπάρχει μια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην οποία τα μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία τείνουν να ανεξαρτητοποιηθούν. Αυτή η περιοχή ονομάζεται περιοχή χαμηλής συχνότητας (extremely low frequency ELF), ξεκινάει από τις συχνότητες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος 50-60Hz και εκτείνεται μέχρι τα 100 kHz. (1) Η ακτινοβολία χαμηλής συχνότητας είναι λιγότερο επιβλαβής από την ακτινοβολία υψηλής συχνότητας, η οποία μπορεί να βλάψει το DNA και τα κύτταρα. (1) Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας υπάρχουν γύρω από όλα τα καλώδια που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, είτε πρόκειται για τις εξωτερικές γραμμές υψηλής τάσης, είτε την καλωδίωση του σπιτιού, είτε τις οικιακές συσκευές. (1) Η ένταση των πεδίων μειώνεται αναλογικά με την απόσταση από τα καλώδια. Τα δέντρα και τα κτίρια αποτελούν ασπίδα για τα πεδία, καθώς μειώνουν την ισχύ τους. Το ηλεκτρικό πεδίο χαμηλής συχνότητας, στο οποίο μπορεί να εκτεθεί κάποιος, είναι ασθενές και δε προκαλεί κάποιο πρόβλημα. Αντίθετα, σε υψηλότερα επίπεδα έκθεσης επάγονται φωτοψίες μέσω των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων με τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Οι φωτοψίες γίνονται αντιληπτές ως αμυδρά φώτα που τρεμοπαίζουν και εξαφανίζονται, καθώς η ένταση του πεδίου μειώνεται, χωρίς να αφήσουν κάποιο μόνιμο ίχνος της παρουσίας τους. (1)

Laser

Οι συσκευές Laser («Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», «Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας») παράγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μοναδικές ιδιότητες. Το φως των Laser έχει ενέργεια που ανήκει σε 4 περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στην περιοχή του υπεριώδους (100nm-400nm), του ορατού (400nm-750nm), του «κοντινού» υπέρυθρου (750nm-3μm) και του «μέσου» υπέρυθρου(3μm-30μm). Οι ιδιότητες των Laser οφείλονται στο γεγονός πως αποτελείται από ταυτόσημα φωτόνια και συνεπώς πρόκειται για ένα σύμφωνο, μονοχρωματικό φως. (13)

1.2.ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

1.2.1. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Οι μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες αλληλεπιδρούν με τον ιστό μέσω της θερμότητας που παράγεται. Οι κίνδυνοι όμως εξαρτώνται από την ικανότητα διείσδυσης τους στο ανθρώπινο σώμα και τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των διαφορετικών ιστών. (4) Η φύση, η έκταση και η φυσιολογική σημασία των βιολογικών επιδράσεων από τις εκθέσεις σε μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, η οποία καθορίζει το βάθος διείσδυσης, η πυκνότητα ισχύος του πεδίου ή της δέσμης, τα χαρακτηριστικά εκπομπής της πηγής, η διάρκεια της έκθεσης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και ο χωρικός προσανατολισμός και τα βιολογικά χαρακτηριστικά των ακτινοβολημένων ιστών (μοριακή σύνθεση, ροή αίματος, λειτουργική σημασία κ.λπ.). (4)

Για την φυσιολογική λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού είναι απαραίτητα τα ηλεκτρικά ρεύματα που κυκλοφορούν στο εσωτερικό του. Για παράδειγμα, παλμικά ηλεκτρικά σήματα μεταδίδονται κατά τη λειτουργία του νευρικού συστήματος, ενώ λαμβάνουν χώρα και οι ηλεκτρικές διεργασίες κατά τη διάρκεια των βιοχημικών αντιδράσεων. Επιπλέον, είναι γνωστό πως ο ιστός αποτελείται από 70% νερό. Τα μόρια του νερού είναι σαν ηλεκτρικά δίπολα. Όταν, λοιπόν, ο ιστός έρχεται σε επαφή με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και αυτό διεισδύσει, τότε αλληλεπιδρά με τα δίπολα του νερού με αποτέλεσμα διάφορες επιπλοκές. Η ένταση και η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι αυτές που θα καθορίσουν την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ανθρώπινο σώμα. Πιο συγκεκριμένα, αν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μεγάλης συχνότητας θα απορροφηθεί κοντά στο δέρμα, ενώ αντίθετα μια ακτινοβολία με πιο μικρή συχνότητα θα διεισδύσει στο σώμα πιο βαθιά. (1)

1.2.2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία όταν διεισδύσει σε μικρό βάθος στο ανθρώπινο σώμα θα προκαλέσει κίνηση των μορίων και αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τριβές και κρούσεις που με τη σειρά τους θα προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτές οι επιπτώσεις ονομάζονται θερμικές και προκαλούνται από συχνότητες πάνω από 100kHz. Πιθανές βλάβες μπορούν να προκύψουν σε περίπτωση που ο θερμορυθμιστικός μηχανισμός του σώματος δεν καταφέρει να διατηρήσει την

κανονική θερμοκρασία. Για να παρατηρηθεί η αύξηση της θερμοκρασίας θα πρέπει η πυκνότητα ισχύος¹ της ΗΜ ακτινοβολίας να είναι πολύ μεγάλη (1 mW/cm^2), ή ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης² της ενέργειας από όλο το σώμα (SAR, Specific Absorption Rate) να είναι πάνω από 5 W/kg . Οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν τη θερμότητα μόνο όταν τα ποσά θερμότητας που παράγονται είναι σχετικά μικρά, με αποτέλεσμα να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του σώματος στους $36\text{-}37^\circ \text{C}$. Οι μηχανισμοί αυτοί όμως δεν λειτουργούν σωστά αν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια όρια, και αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος που ξεπερνά τους 37°C . (1) Αν συμβεί αυτό, όπως γίνεται και κατά διάρκεια του πυρετού, μειώνονται οι διανοητικές λειτουργίες αλλά δεν προκαλούνται μόνιμες βλάβες στα κύτταρα. Τα κύτταρα που δέχονται υπερβολικό θερμικό θόρυβο και αποφεύγουν τον «θάνατο», επανέρχονται σε πλήρη φυσιολογική λειτουργία. Τα πιο ευπαθή όργανα του ανθρώπινου σώματος είναι οι όρχις και οι οφθαλμοί, επειδή απάγουν σε μικρότερο βαθμό τη συσσωρευμένη θερμότητα, λόγω περιορισμένης κυκλοφορίας του αίματος. (1)

Οι επιδράσεις που σχετίζονται με αμελητέα αύξηση της θερμοκρασίας, μπορούν να οριστούν ως βιολογικές επιδράσεις που προκύπτουν με μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος που είναι είτε μικρότερη από 1°C , είτε μικρότερη από τη μετρήσιμη, είτε βρίσκεται στην περιοχή του θερμικού θορύβου (1). Αυτές ονομάζονται μη θερμικές επιδράσεις, επειδή δε συνοδεύονται από κάποια προβλέψιμη ή μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας.

Οι τρεις παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι επιπτώσεις είναι η ένταση της ακτινοβολίας, ο χρόνος της έκθεσης και η απόσταση από τη πηγή της ακτινοβολίας. (1) Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής θα αναλυθούν οι τύποι της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας και οι βιολογικές τους επιδράσεις.

¹ Πρόκειται για την ισχύ ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα προς μια επιφάνεια, διαιρούμενη δια το εμβαδόν της επιφάνειας, εκφράζεται σε W/m^2 .

² Ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης εκφράζει την απορροφούμενη ισχύ ανά μονάδα μάζας σώματος W/kg .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Συνοπτικά οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι:

- Ραδιοκύματα (RF): Το μήκος κύματος τους είναι από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα μέχρι και 0.1m. Βρίσκουν εφαρμογή στις ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές και παράγονται με κυκλώματα LC ηλεκτρομαγνητικών ταλαντώσεων.

- Μικροκύματα (Microwaves): Το μήκος κύματος τους είναι από 1m μέχρι 10^{-4} m. Βρίσκουν εφαρμογή στους φούρνους μικροκυμάτων, στις τηλεπικοινωνίες και στον ραδιοεντοπισμό και παράγονται από τις ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

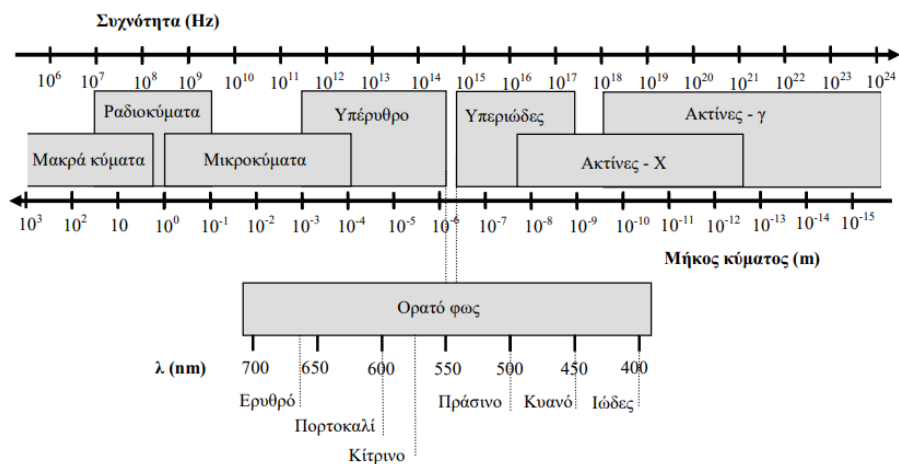
- Υπέρυθρο(IR): Το μήκος κύματος τους είναι από 1mm μέχρι 1μm. Βρίσκουν εφαρμογή στην φυσιοθεραπεία, στην αστρονομία και στην υπέρυθρη φασματοσκοπία. Δημιουργούνται από την εκπομπή ακτινοβολίας ατόμων ή μορίων που αλλάζουν την περιστροφική τους ή την ταλαντωτική τους κατάσταση.

- Ορατό φως (visible light): Το μήκος κύματος κυμαίνεται από 700nm μέχρι 400nm. Είναι η μοναδική περιοχή που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Το φως εκπέμπεται κατά την αλλαγή των ενεργειακών καταστάσεων των ηλεκτρονίων σθένους των ατόμων (οπτικές μεταβάσεις), και αναλόγως την ενέργεια εκπομπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντιλαμβανόμαστε φως διαφορετικού χρώματος.

- Υπεριώδες (UV): Το μήκος κύματος κυμαίνεται από 400nm μέχρι 1nm. Βρίσκει πρακτική εφαρμογή στην αστρονομία και την χειρουργική οφθαλμολογία. Προέρχεται από αποδιεγέρσεις ηλεκτρονίων τα οποία ευρίσκονται στις εξωτερικές στοιβάδες των ατόμων και είναι πιο χαλαρά δεσμευμένα στον πυρήνα.

- Ακτίνες X: Το μήκος κύματος κυμαίνεται από τα 10nm μέχρι 10^{-12} m. Βρίσκουν εφαρμογή στην Ιατρική, και συγκεκριμένα στη διάγνωση. Εκπέμπονται από τις αποδιεγέρσεις των ηλεκτρονίων των εσωτερικών ατομικών στοιβάδων, τα οποία είναι πιο ισχυρά δεσμευμένα με τον πυρήνα.

- Ακτίνες γ: Το μήκος κύματος κυμαίνεται από 10^{-10} m μέχρι 10^{-15} m. Βρίσκουν εφαρμογή στην Ιατρική, και συγκεκριμένα στην καταστροφή καρκινικών κυττάρων. Εκπέμπονται από πυρήνες ατόμων κατά τις μεταβάσεις από μια κατάσταση σε μια άλλη. (2)



Εικόνα 1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

2.2. ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Τα μεμονωμένα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν έχουν επαρκή ενέργεια να ιονίσουν τα άτομα. Παρόλα αυτά μπορούν να βλάψουν τους ιστούς, διαταράσσοντας τα μόρια του DNA. Αυτό λαμβάνεται σοβαρά υπόψη αν πρόκειται για κάποια επιτρεπόμενη έκθεση. Οι βιολογικές επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας εξαρτώνται από το μήκος κύματος στο οποίο ανήκει, που είναι μικρότερο από αυτό του ορατού φωτός. Ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες: UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) και UV-C (100-280 nm). (14)

Συγκεκριμένα, η υπεριώδης ακτινοβολία, μπορεί να προκαλέσει βιολογική βλάβη τόσο από φωτοχημικές, όσο και από θερμικές αντιδράσεις. Έχει υψηλό ενεργειακό φάσμα φωτονίων και είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, αφού δεν υπάρχουν άμεσα τα σημάδια της υπερβολικής έκθεσης. (15) Η UV-C διαλύεται στην ατμόσφαιρα και γενικά δεν έχει βλαβερή επίδραση. Η UV-A και η UV-B από την άλλη, θα μπορούσαν να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στο δέρμα και τα μάτια. (15) Για παράδειγμα, το ερύθημα, που προκαλείται από τα 250nm και 297nm, είναι αποτέλεσμα της τριχοειδούς διαστολής και τέτοια μήκη κύματος διεισδύουν μόνο πολύ επιφανειακά στο δέρμα. (16)

Η κύρια πηγή της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι η ηλιακή ακτινοβολία ή το φως του ήλιου. Ωστόσο, η χρήση των τεχνητών πηγών, ιδιαίτερα των «σολάριουμ», συνεχώς αυξάνεται με αποτέλεσμα επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η φύση και ο χρόνος της έκθεσης στον ήλιο είναι καθοριστικοί παράγοντες τόσο του βαθμού κινδύνου όσο και του είδους του καρκίνου. Το δερματικό κακοήθες μελάνωμα και το βασικοκυτταρικό καρκίνωμα σχετίζονται περισσότερο με την διαλείπουσα έκθεση

στην υπεριώδη ακτινοβολία, παρά στην συσσωρευτική έκθεση. Αντίθετα, το καρκίνωμα των πλακωδών κυττάρων σχετίζεται πιο έντονα με την συνεχή ή αθροιστική έκθεση στον ήλιο, όπως και ο καρκίνος των χειλιών. (15)

2.3. ΟΡΑΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το ορατό φάσμα είναι το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι και ανταποκρίνεται σε μήκη κύματος από 400 έως 700nm. Μερικά άτομα μπορούν να αντιληφθούν μήκη κύματος από 380 έως 780nm. (16)

Η πρώτη διαδικασία που λαμβάνει χώρα όταν τα ορατά φωτόνια εισέρχονται στο δέρμα είναι η απορρόφηση. Κατά τη διάρκεια της απορρόφησης, η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται στο χρωμοφόρο³ με αποτέλεσμα το φωτόνιο να μην υπάρχει πλέον. Επομένως, το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας επηρεάζεται από τη θέση και το φάσμα απορρόφησης του χρωμοφόρου στο δέρμα. Για παράδειγμα, το β-καροτένιο (μορφή της βιταμίνης Α που προέρχεται από φυτικές πηγές) έχει μέγιστη απορρόφηση στα 465nm και 490 nm στο ορατό φάσμα, αλλά και στην υπεριώδη ακτινοβολία. Η δεύτερη διαδικασία που εμφανίζεται είναι η σκέδαση, η οποία εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτονίου, το οποίο, επίσης, επηρεάζει το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας στο δέρμα. (16)

Το ερύθημα και το ηλιακό έγκαυμα προκαλούνται κυρίως από την ακτινοβολία UV-B, αλλά και η UV-A και το ορατό φως μπορούν να προκαλέσουν ερύθημα του δέρματος. Επίσης, η υπεριώδης ακτινοβολία «μακρών κυμάτων» (366 nm) και το ορατό φως (405 και 436nm) διεισδύουν πολύ βαθύτερα στο δέρμα και το ερύθημα που προκαλείται από αυτά τα μεγαλύτερα μήκη κύματος είναι αποτέλεσμα της διαστολής των αγγείων του υποθηλώδους πλέγματος. (16)

2.4. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το υπέρυθρο είναι ένας τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκη κύματος μεταξύ 780nm και 1000μm. Χωρίζεται σε διαφορετικές ζώνες: το «κοντινό» υπέρυθρο (NIR: 0,78–3,0 μm), το «μέσο» υπέρυθρο (MIR: 3,0–50,0μm) και το «μακρινό» υπέρυθρο (FIR, 50,0–1000,0 μm). Η πλειονότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) εκπέμπεται από τον ήλιο, αλλά και οι ανθρωπογενείς συσκευές συμβάλλουν επίσης στον πολλαπλασιασμό της. (17)

³ Ένα χρωμοφόρο είναι το μέρος ενός μορίου που είναι υπεύθυνο για το χρώμα του

Έχει αναφερθεί ότι το NIR μπορεί να διεισδύσει στις επιδερμικές και δερματικές στοιβάδες και να φτάσει στους υποδόριους ιστούς χωρίς να αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία του δέρματος, ενώ το MIR και το FIR απορροφώνται κυρίως στις επιδερμικές στοιβάδες και αυξάνουν σημαντικά τη θερμοκρασία του δέρματος. (18) Επίσης, είναι γνωστό στη δερματολογία ότι η χρόνια έκθεση IR μπορεί να είναι επιβλαβής για το δέρμα. Συγκεκριμένα, φαινόταν στα πόδια των ανθρώπων που κάθονταν πολύ κοντά σε πυρκαγιές και ονομάστηκε «ερύθημα αβ⁴». (19) Ωστόσο, οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας IR είναι ακόμη σε μεγάλο βαθμό άγνωστες.

2.5. ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

Τα μικροκύματα αποτελούν μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και είναι εκείνη η ακτινοβολία που κυμαίνεται από συχνότητα 300 MHz έως 300 GHz, που αντιστοιχεί σε εύρος μήκους κύματος 1 m έως 1mm. Αυτή η μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφάται σε μοριακό επίπεδο και εκδηλώνεται ως αλλαγή στην δόνηση των μορίων ή στην θερμότητα. Ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των βιολογικών επιπτώσεων των μικροκυμάτων ήταν πολύπλοκος και αμφιλεγόμενος. Υπήρξε μια άποψη των επιστημών της μηχανικής σχετικά με τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης μεταξύ μικροκυμάτων και βιολογικών συστημάτων, ότι τα πεδία μικροκυμάτων δεν είναι ικανά να προκαλέσουν βιοεπιδράσεις εκτός από τη θέρμανση. (20) Με τη δημοτικότητα της τεχνολογίας μικροκυμάτων, οι επιδράσεις των μικροκυμάτων στο ανθρώπινο σώμα έχουν γίνει ένα κοινό θέμα ανησυχίας για το κεντρικό νευρικό σύστημα που αναγνωρίζεται ως σύστημα που είναι ευαίσθητο στην ακτινοβολία μικροκυμάτων. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, με εξαίρεση την ακτινοβολία μικροκυμάτων εξαιρετικά υψηλής ισχύος, η οποία έχει επικίνδυνες επιπτώσεις (21), οι βιολογικές επιπτώσεις των μικροκυμάτων παραμένουν αμφιλεγόμενες. Στην επιδημιολογία, δεν υπάρχουν οριστικά στοιχεία που να δείχνουν ότι τα μικροκύματα έχουν καρκινογόνες επιδράσεις. (22)

2.6. ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ/ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

Το τμήμα ραδιοσυχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ορίζεται γενικά ως εκείνο το τμήμα του φάσματος όπου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν

⁴ Το «Erythema Ab igne» είναι μια δικτυωτή, ερυθματώδης ή υπερμελάγχρωση δερμάτωση που προκύπτει από χρόνια και επαναλαμβανόμενη έκθεση σε χαμηλά επίπεδα υπέρυθρης ακτινοβολίας.

συχνότητες από περίπου 3 kHz έως 300 GHz. Οι βιολογικές επιπτώσεις μπορεί να προκύψουν από την έκθεση στην ενέργεια των ραδιοσυχνοτήτων.

Σύμφωνα με την διεθνή επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP), η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες έκτος από άνοδο στη θερμοκρασία, προκαλεί διέγερση των νευρών καθώς και αλλαγές στην διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών. (23)

Συγκεκριμένα, μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικά πεδία μέσα στο σώμα, τα οποία για συχνότητες έως 10 MHz μπορούν να διεγείρουν τα νεύρα. Το αποτέλεσμα αυτής της διέγερσης ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα και συνήθως αναφέρεται ως αίσθημα «μυρμηγκιάσματος» για συχνότητες γύρω στα 100 kHz. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα, κυριαρχούν τα θερμαντικά φαινόμενα και μειώνεται η πιθανότητα διέγερσης των νευρών. Στα 10 MHz η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου περιγράφεται τυπικά ως «θερμότητα». (23)

Όταν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (χαμηλής συχνότητας) είναι παλμικά, η ισχύς κατανέμεται σε ένα εύρος συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει πεδία ραδιοσυχνοτήτων. Εάν ο παλμός είναι επαρκώς έντονος και σύντομος, μπορεί να προκαλέσει την κυτταρική μεμβράνη να γίνει διαπερατή, γεγονός που με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε άλλες κυτταρικές αλλαγές. (23)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

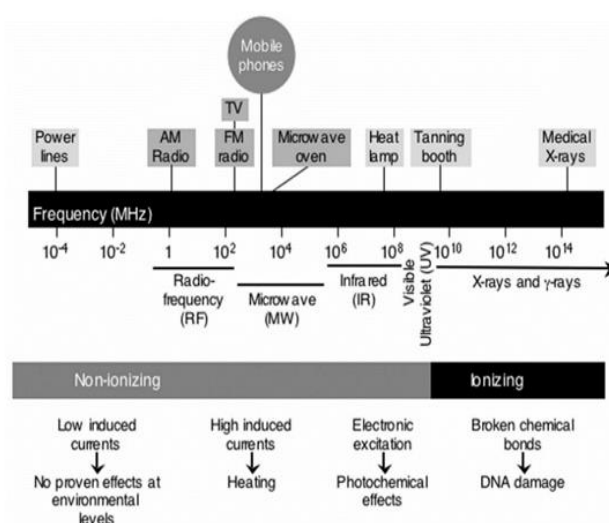
3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι ανησυχίες του κοινού ότι οι συχνότητες που εκπέμπει το κινητό τηλέφωνο είναι ικανές να προκαλέσουν καρκίνο, ξεκίνησαν το 1993. Ένας άντρας από την Φλόριντα ισχυρίστηκε πως η γυναίκα του πέθανε από καρκίνο στον εγκέφαλο ύστερα από χρήση κινητού τηλεφώνου. Ο άνδρας δεν παρουσίασε ιατρικά στοιχεία για την σύνδεση, αλλά υποστήριξε ότι ο όγκος της συζύγου του, που αναπτύχθηκε ακριβώς πίσω από το αυτί στο οποίο κρατούσε το τηλέφωνό της, προκλήθηκε από ραδιοκύματα που εκπέμπονται από το τηλέφωνο. (24)

Τα κινητά τηλέφωνα παράγουν ακτινοβολία στην περιοχή ραδιοσυχνοτήτων (RF) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Συγκεκριμένα βρίσκουν εφαρμογή στη περιοχή μεταξύ των ραδιοκυμάτων και των μικροκυμάτων. Η ακτινοβολία που

εκπέμπεται από το Wi-Fi και όλες τις γενιές κινητών τηλεφώνων έχει ένα εύρος συχνοτήτων 3–300 GHz. Οι ραδιοσυχνότητες είναι ισχυρές σε μεγάλες αποστάσεις και παρέχουν ένα αποτελεσματικό μέσο σύνδεσης των ραδιοπύργων με τις κεραίες των τηλεφώνων. Επιπλέον, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των τηλεφώνων παράγουν μικροκύματα, καθώς και ραδιοκύματα. Συνεπώς, τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν ακτινοβολία με δυο τρόπους, μέσω της δικής τους λειτουργικότητας και εξαρτημάτων και μέσω της σύνδεσής τους με τους ραδιοπύργους. (3)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια παρουσίαση διαφόρων ερευνών, άρθρων και συμπερασμάτων, ώστε να αποσαφηνιστεί η βιολογική επίδραση της κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 2: Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, τα κινητά τηλέφωνα βρίσκονται ανάμεσα στα μικροκύματα και στα ραδιοκύματα

3.2. ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης κινητών τηλεφώνων έχει προκαλέσει ανησυχία στο κοινό σχετικά με το πόσο ασφαλή είναι η χρήση τους. Δεδομένου ότι τα γλοιακά κύτταρα και οι μήνιγγες της κεφαλής εκτίθενται στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που εκπέμπονται από τα κινητά τηλέφωνα, όγκοι του εγκεφάλου, ιδιαίτερα το γλοίωμα και το μηνιγγίωμα, έχουν λάβει ιδιαίτερη προσοχή, μαζί με ακουστικό νευρίνωμα και τον όγκο σιελογόνων αδένων. (25)

Σύμφωνα με την μελέτη των *Takebayashi et al.* (25) στην Ιαπωνία, δεν παρατηρείται αύξηση στον κίνδυνο εμφάνισης γλοιώματος ή μηνιγγιώματος στους χρήστες των κινητών τηλεφώνων, αλλά και ούτε αυξητική τάση με την σωρευτική διάρκεια της χρήσης τους. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι *Lonn et al.* (26), σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία σχετικά με την μακροπρόθεσμη αύξηση των όγκων του εγκεφάλου μετά από τη χρήση των κινητών. Συγκεκριμένα,

παρατηρήθηκε πως ανεξάρτητα από την ιστολογία του όγκου, τον τύπο του κινητού ή την διάρκεια της χρήσης του, δεν αυξάνεται η πιθανότητα ανάπτυξης γλοιώματος ή μηνιγγιώματος. Αυτό που επίσης δεν επηρεάζει την αύξηση της πρόκλησης των όγκων ακόμα και για περισσότερο από 10 χρόνια, είναι η πλευρά που χρησιμοποιείται το κινητό, στον κροταφικό ή στον μετωπιαίο λοβό. Επιπλέον, η ίδια ερευνητική ομάδα (27) που υλοποίησε την παραπάνω μελέτη, ασχολήθηκε και με το ακουστικό νευρίνωμα. Τα ευρήματά τους δεν υποδεικνύουν αυξημένο κίνδυνο ακουστικού νευρώματος που να σχετίζεται με τη βραχυπρόθεσμη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Ωστόσο, τα δεδομένα υποδηλώνουν αυξημένο κίνδυνο για ακουστικό νευρίνωμα που σχετίζεται με τη χρήση κινητού τηλεφώνου για διάρκεια τουλάχιστον 10 ετών. Την ίδια χρονιά, η μελέτη των *Christensen et al.* (28) απέδειξε πως δεν σχετίζεται η εμφάνιση του ακουστικού νευρινώματος με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Επίσης, κατέληξαν στο γεγονός πως ο τρόπος χρήσης ενός κινητού τηλεφώνου δεν συσχετίζεται με την θέση του όγκου ή τα συμπτώματα της νόσου. Τέλος, σύμφωνα με την μελέτη των *Schüz et al.* (29) τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα (άνω των 10 ετών), η χρήση των κινητών τηλεφώνων δεν συνδέεται με αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης όγκων εγκεφάλου, σιελογόνων αδένων, οφθαλμών, κρουσμάτων λευχαιμίας ή εμφάνισης ακουστικών νευρινωμάτων.

3.3. ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΑΝΔΡΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΟΡΜΟΝΕΣ

Η πιθανή επίδραση του κινητού τηλεφώνου για την ανδρική γονιμότητα είναι ένα σημαντικό ζήτημα γιατί τα πιο ευάλωτα όργανα του ανθρώπινου σώματος στις ραδιοσυχνότητες είναι οι όρχεις. Οι ιστοί των όρχεων είναι οι πιο ευαίσθητοι στο οξειδωτικό στρες, λόγω του υψηλού ποσοστού κυτταρικής διαίρεσης και κατανάλωσης μιτοχονδριακού οξυγόνου. Επίσης, λόγω της αδυναμίας τους να διαχέουν αποτελεσματικά την υπερβολική θερμότητα, οι όρχεις είναι ευαίσθητοι και στις θερμικές επιδράσεις από την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες. Ως αποτέλεσμα, οι άνθρωποι ανησυχούν για την επίδραση των ραδιοσυχνοτήτων στην ανδρική αναπαραγωγική λειτουργία. (3)

Όλο και περισσότερες μελέτες πραγματοποιούνται σχετικά με τις επιδράσεις των ραδιοσυχνοτήτων στη λειτουργία του σπέρματος και τη γονιμότητα. Η σωστή δοσιμετρική εκτίμηση της έκθεσης είναι ένας εξαιρετικά δύσκολος τομέας έρευνας,

τόσο in vivo όσο και in vitro, και απαιτεί λεπτομερείς γνώσεις στη βιοφυσική, τη φυσική και την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Μόνο όταν επιστήμονες από όλους τους κλάδους συνεργαστούν, μπορούν να επιτευχθούν αξιόπιστες συνθήκες έκθεσης και να διενεργηθούν κατάλληλες αναλύσεις του κινδύνου. (30) Σύμφωνα με τον *Alexander Lerchl* (30) και την δημοσίευση του, μέχρι τώρα δεν υπάρχουν ενδείξεις για ανεπιθύμητες ενέργειες των ραδιοσυχνοτήτων στην γονιμότητα ανδρών και γυναικών, είτε in vivo είτε in vitro. Μια μελέτη πολλών γενεών σε ποντίκια (31), σε διαφορετικά επίπεδα SAR έως 1,3 W/kg δεν παρουσίασε καμία αρνητική επίδραση στις ανδρικές και θηλυκές αναπαραγωγικές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των απογόνων, των δυσπλασιών και του αριθμού των σπερματοζωαρίων. Ενώ τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δεν αφορούν τον άνθρωπο, τουλάχιστον δεν υποδηλώνουν ως άμεσο και σοβαρό πρόβλημα την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι *Imai N. et al.* (32), καθώς σε μελέτη που διεξήγαγαν σε ποντίκια δεν παρατηρήθηκαν ανωμαλίες της κινητικότητας ή της μορφολογίας του σπέρματος, συνεπώς, δεν ήταν εμφανής η τοξικότητα στους όρχεις. Επίσης, οι *Falzone N. et al.* (33) διαπίστωσαν ότι η ακτινοβολία του κινητού τηλεφώνου δεν είχε καμία επίδραση σε καμία από αυτές τις παραμέτρους του σπέρματος κάνοντας μελέτη για την απόπτωση ανθρωπίνων σπερματοζωαρίων. Τέλος, σύμφωνα με την μελέτη των *R de Seze et al.* (34), δεν υπάρχει δυσμενής επίπτωση των ραδιοσυχνοτήτων στις ανδρικές αναπαραγωγικές ορμόνες.

3.4. ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΥΜΟΣΥΝΗ

Ιδιαίτερες ανησυχίες έχουν εκφραστεί σχετικά και με την έκθεση των μικρών παιδιών στην κινητή τηλεφωνία, καθώς ο αναπτυσσόμενος εγκέφαλος και άλλοι ιστοί μπορεί να είναι πιο ευαίσθητοι από ό,τι στους ενήλικες σε πιθανές επιπτώσεις της έκθεσης χαμηλού επιπέδου σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων. (35)

Οι *Boileau et al.* (36) μελέτησαν το αντίκτυπο που έχουν οι ραδιοσυχνότητες στο έμβρυο όσον αφορά το βάρος της γέννησης, την περίμετρο της κεφαλής, και την εμβρυϊκή δυσπλασία. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου για κλήσεις για περισσότερα από 30 λεπτά την ημέρα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, μπορεί να προκαλέσει περιορισμό στην ανάπτυξη του εμβρύου. Ωστόσο, δεν βρήκαν κάποια επίδραση στη περίμετρο της κεφαλής. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι *Bektas et al.* (37) καθώς τα δεδομένα που έλαβαν στην μελέτη τους,

υποδηλώνουν ότι μπορεί να υπάρχει σχέση μεταξύ της προγεννητικής έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες και της κινητικής ανάπτυξης των βρεφών. Μελέτησαν τις κινήσεις των νεύρων των βρεφών, εγκύων με διαφορετική διάρκεια χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Συγκεκριμένα, έδειξαν πως όσο περισσότερο γίνεται η χρήση από τη μητέρα τόσες περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να επηρεαστεί η κινητικότητα του βρέφους. Ωστόσο, και οι δυο μελέτες προτείνουν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μακροπρόθεσμες μελέτες για την αξιολόγηση της πιθανής επίδρασης και τον καθορισμό για το αν οι αλλαγές αυτές είναι προσωρινές ή μόνιμες.

Υπάρχουν ορισμένες μελέτες που είχαν θετικά αποτελέσματα, όπως η μελέτη των *Guxens et al.* (38) οι οποίοι έδειξαν πως η χρήση κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης δεν αυξάνει τις πιθανότητες ανάπτυξης προβλημάτων συμπεριφοράς και υπερκινητικότητας. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι *Choi et al.* (39) καθώς δεν βρήκαν καμία συσχέτιση της προγεννητικής έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες και της νευροανάπτυξης των παιδιών κατά τα 3 πρώτα χρόνια της ζωής τους. Επίσης, και οι *Elliott P. et al.* (35) έδειξαν ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του κινδύνου εμφάνισης πρώιμων παιδικών καρκίνων και της έκθεσης της μητέρας σε σταθμούς βάσης κινητών τηλεφώνων κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Τέλος, οι *Papadopoulou et al.* (40) έδειξαν μέχρι και ευεργετικές ιδιότητες στην νευροανάπτυξη των παιδιών των οποίων οι μαμάδες χρησιμοποιούσαν τα κινητά τηλέφωνα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

3.5. ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

3.5.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Μια από τις πιο επιτυχημένες τεχνολογικές εξελίξεις στη σύγχρονη ιστορία είναι η κινητή επικοινωνία. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πέντε ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας. Από περίπου το 1980 μέχρι και σήμερα, μια νέα γενιά εμφανίζεται περίπου κάθε δεκαετία. (41)

Στη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκαν τα πρώιμα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα δίκτυα 1G. Η τεχνολογία 1G ήταν ένα απλό αναλογικό σύστημα με ταχύτητες δεδομένων έως και 2,4 kbps για βελτιστοποιημένες φωνητικές συνομιλίες. Η συχνότητα της είχε εύρος ζώνης 30 kHz και χρησιμοποιούσε διαμόρφωση συχνότητας (FM). Τα δίκτυα 1G είχαν αρκετούς περιορισμούς, διότι η αναλογική τεχνολογία παρείχε περιορισμένη χωρητικότητα και σχετικά κακή ποιότητα κλήσεων. Επιπλέον,

ένας από τους περιορισμούς ήταν η πλήρης έλλειψη ασφάλειας, καθώς οι κλήσεις ήταν επιρρεπείς σε υποκλοπές και παρεμβολές. (41)

Το 1991 το δίκτυο 1G αντικαταστάθηκε από το δίκτυο 2G. Ήταν ένα απλό ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα που χρησιμοποιούσε συχνότητα με εύρος ζώνης 200 kHz για φωνητικές επικοινωνίες. Τα χαρακτηριστικά αυτής της γενιάς ήταν, οι βελτιωμένες υπηρεσίες, η βελτιωμένη ασφάλεια και χωρητικότητα καθώς, και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου. (41)

Μπαίνοντας στην τρίτη χιλιετία, εμφανίστηκαν τα δίκτυα 3G. Τα δίκτυα της 3ης γενιάς, παρείχαν στους χρήστες τους υψηλές ταχύτητες πρόσβασης στο διαδίκτυο, καθώς και σημαντικά βελτιωμένα βίντεο και δυνατότητες ήχου μετάδοσης. (41)

Στη συνέχεια ήρθαν στην κυκλοφορία τα δίκτυα 4G, πηγαίνοντας ένα βήμα πιο μπροστά από τα δίκτυα 3G, αφού ήταν σημαντικά ταχύτερα (100Mbps) και έτσι βελτιώθηκε η ποιότητα σύνδεσης. Επιπλέον, βελτιώθηκε η ενεργειακή απόδοση και μειώθηκαν οι παρεμβολές του σήματος. Οι βελτιωμένες δυνατότητες των δικτύων 4G ώθησαν επίσης την ανάπτυξη των συσκευών και των εφαρμογών του Internet of Things (IoT). (41)

Ο όρος «Internet of Things» επινοήθηκε από τον Kevin Ashton σε μια παρουσίαση στην Procter & Gamble το 1999. Σύμφωνα με τον ορισμό του Oxford Dictionaries, το Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) είναι *«η διασύνδεση μέσω του διαδικτύου υπολογιστικών συσκευών που είναι ενσωματωμένες σε καθημερινά αντικείμενα, που τους επιτρέπει να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα»*. Αυτές οι συσκευές κυμαίνονται από συνηθισμένα οικιακά αντικείμενα έως εξελιγμένα βιομηχανικά εργαλεία. Αποτελεί ένα αναδυόμενο θέμα τεχνικής, κοινωνικής και οικονομικής σημασίας καθώς καταναλωτικά προϊόντα, ανθεκτικά αγαθά, αυτοκίνητα και φορτηγά, βιομηχανικά εξαρτήματα και εγκαταστάσεις, αισθητήρες και άλλα καθημερινά αντικείμενα συνδυάζονται με συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο και ισχυρές δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων που υπόσχονται να αλλάξουν τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε. (42)

Το δίκτυο 5G είναι το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Είναι σχεδιασμένο για να παρέχει βελτιωμένη αξιοπιστία σε σύγκριση με προηγούμενες γενιές, επιτρέποντας νέες περιπτώσεις χρήσης και μεταμορφώνοντας ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν εκατομμύρια συνδέσεις/τετραγωνικό χιλιόμετρο (1 M/km^2) και να μεταφέρουν μεγάλο όγκο

δεδομένων. (41) Το δίκτυο 5G χρησιμοποιεί μια ποικιλία ζωνών συχνοτήτων, μία εκ των οποίων είναι τα «κύματα χιλιοστών» ή «MMWaves ή MMWs». Τα MMWs γενικά αναφέρονται σε συχνότητες 30-300 GHz. Ένα εύρος συχνοτήτων που μπορεί να μεταφέρει μεγάλο όγκο δεδομένων και όταν συνδυάζεται με προόδους στις τεχνικές κωδικοποίησης, μπορεί να μεταφέρει χιλιάδες φορές περισσότερα δεδομένα από ένα σήμα χαμηλής ζώνης. (43)

Το 6G είναι ο διάδοχος της τεχνολογίας 5G και αναμένεται να κυκλοφορήσει εμπορικά το 2030. Θα διευρυνθεί με βάση την οπτικοποίηση και την επέκταση του 5G για να φτάσει έως 100 φορές μεγαλύτερη απόδοση δεδομένων, υψηλότερη χωρητικότητα συστήματος καθώς και λιγότερη καθυστέρηση. (41)

3.5.2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ 5^{HS} ΓΕΝΙΑΣ

Η ευρεία χρήση και η αυξανόμενη εξάρτηση από τις ασύρματες τεχνολογίες έχουν προκαλέσει μια βιομηχανική επανάσταση στις τηλεπικοινωνίες με αυξανόμενη δημόσια έκθεση σε ευρύτερες και υψηλότερες συχνότητες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για τη μετάδοση δεδομένων μέσω μιας ποικιλίας συσκευών και υποδομών. (44) Η δημιουργία ακόμη μικρότερων μηκών κύματος υψηλής συχνότητας 5G προτείνεται για την τροφοδοσία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, το οποίο προσφέρει έναν άνετο και εύκολο τρόπο ζωής με τεράστιες διασυνδεδεμένες τηλεπικοινωνίες 5G δικτύου. Καθώς η συχνότητα αυξάνεται, υπάρχει λιγότερη διείσδυση στους ιστούς του σώματος και η απορρόφηση ενέργειας γίνεται μεγαλύτερη και περιορισμένη στην επιφάνεια του σώματος (δέρμα και μάτια). (44)

Σύμφωνα με τον *Moskowitz* και τη δημοσίευση του στο «Electromagnetic Radiation Safety» (43), τα MMWs απορροφώνται κυρίως σε απόσταση 1 έως 2 χιλιοστών από το ανθρώπινο δέρμα και στα επιφανειακά στρώματα του κερατοειδούς. Έτσι, το δέρμα ή οι εγγύς επιφανειακές ζώνες των ιστών είναι οι πρωταρχικοί στόχοι της ακτινοβολίας. Δεδομένου ότι το δέρμα περιέχει τριχοειδή αγγεία και νευρικές απολήξεις, τα βιολογικά αποτελέσματα των MMWs μπορεί να μεταδοθούν μέσω των μοριακών μηχανισμών από το δέρμα ή μέσω του νευρικού συστήματος. Όπως αναφέρει και ο *Di Ciaula* (45), οι προκαταρκτικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι τα MMWs αυξάνουν τη θερμοκρασία του δέρματος, αλλάζουν την έκφραση γονιδίων, προάγουν τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και τη σύνθεση πρωτεϊνών που συνδέεται με το οξειδωτικό στρες, τις φλεγμονώδεις και τις μεταβολικές διεργασίες. Τονίζει, όμως, το

γεγονός ότι απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για να διερευνηθούν καλύτερα και οι επιπτώσεις στην υγεία.

Η έρευνα μέχρι σήμερα δεν παρέχει αξιόπιστη επιστημονική βάση για να συμπεράνουμε ότι η λειτουργία του 5G θα προκαλέσει ή θα συμβάλει σε δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού, όπως αναφέρουν οι *Bailey et al.* (46). Οι *Udo et al.* (47) έδειξαν ότι δεν υπάρχουν πραγματικοί κίνδυνοι για την υγεία που να συνδέονται με τα δίκτυα 5G, καθώς παρατηρήθηκε πως η ακτινοβολία που σχετίζεται με τις προηγούμενες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας είναι η ίδια που σχετίζεται με τα δίκτυα 5G και δεν επηρεάζει πραγματικά τους ανθρώπους. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι *Sofri et al.* (48) και οι *Karipidis et al.* (49), αφού δεν επιβεβαίωσαν την σύνδεση της τεχνολογίας 5G με βιολογικές επιπτώσεις. Ωστόσο, και οι δυο τονίζουν ότι είναι απαραίτητο να γίνουν περαιτέρω έρευνες και μελέτες σχετικά με τα βιολογικά αποτελέσματα της τεχνολογίας 5G στον άνθρωπο. Μια διαφορετική προσέγγιση έκαναν οι *Aru et al.* (50), που πραγματοποίησαν μια ερευνητική μελέτη, χρησιμοποιώντας μια τεχνική μηχανικής μάθησης βασιζόμενη σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο⁵ για τη μοντελοποίηση της ασύρματης τεχνολογίας 5G. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι η ενέργεια που παράγεται από την ακτινοβολία 5G είναι μικρή και δεν μπορεί να σπάσει στους χημικούς δεσμούς του DNA ή να προκαλέσει αλλαγές στα κύτταρα που θα οδηγήσουν είτε σε καρκίνο είτε σε ιογενή νόσο. Επίσης, σύμφωνα με έρευνα της Deloitte (51) το 5G είναι πιθανό να έχει ακόμη χαμηλότερες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από τις προηγούμενες γενιές της κινητής τηλεφωνίας. Έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια από τις προηγούμενες γενιές για τη μείωση του λειτουργικού κόστους με αποτέλεσμα να εκπέμπει λιγότερη ενέργεια. Οι σταθμοί βάσης 5G μπορούν, επίσης, να τεθούν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας όταν δεν υπάρχουν ενεργοί χρήστες. Επιπλέον, ενσωματώνει μια τεχνική γνωστή ως «beamforming», μια προσέγγιση που περιλαμβάνει την κατεύθυνση μιας στενής δέσμης ραδιοκυμάτων στη συσκευή χρήστη. Αυτή η μέθοδος όχι μόνο επιτρέπει υψηλότερες ταχύτητες σύνδεσης, αλλά οδηγεί και σε χαμηλότερη έκθεση σε ραδιοκύματα από ό,τι προηγούμενες γενιές δικτύου, οι οποίες εξάπλωναν τα ραδιοκύματα σε ένα ευρύ τόξο.

⁵ Τα τεχνικά νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν όπως ένας ανθρώπινος εγκέφαλος για την ανάλυση των δεδομένων, με σκοπό να μάθουν πολύπλοκα μοτίβα και να κάνουν προβλέψεις ανεξάρτητες από την ανθρώπινη συμβολή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Κατά τη διάρκεια μιας πρακτικής, η γνώση των βασικών μέτρων ακτινοπροστασίας είναι υψίστης σημασίας και η ανεπάρκεια αυτής της γνώσης που ενδέχεται να υπάρχει, ίσως οφείλεται στην ελλιπή ενημέρωση ή σε παραπληροφόρηση. Για την αποφυγή δυσμενών αποτελεσμάτων καθώς και για τις ανάγκες της θέσπισης προτύπων, νομοθεσίας, κατευθυντήριων γραμμών, προγραμμάτων και πρακτικών ακτινοπροστασίας έχουν ιδρυθεί διεθνή, ευρωπαϊκά και εθνικά συστήματα ακτινοπροστασίας. Η διεθνής επιτροπή για την προστασία από τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP), έχει εκδώσει οδηγίες έκθεσης που χρησιμοποιούνται από τις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Η ελληνική νομοθεσία είναι βασισμένη στις οδηγίες της ICNIRP. Τα όρια έκθεσης βασίζονται σε δημοσιευμένες επιστημονικές βιβλιογραφίες, καθώς και σε αποτελέσματα σχετικά με τη βραχυπρόθεσμη έκθεση. (52)Υπεύθυνη για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις τεχνητά παραγόμενες μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες, στην Ελλάδα είναι η ΕΕΑΕ. Ο ρόλος της περιλαμβάνει τον έλεγχο των μελετών ραδιοεκπομπών, τον έλεγχο των περιβαλλοντικών μελετών και τις μετρήσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. (53)

Όπως αναφέρει το ΠΕΔΙΟΝ24, το Εθνικό Δίκτυο 24ωρης παρακολούθησης (μέτρηση και καταγραφή) της μη ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας που οφείλονται στις εκπομπές τηλεπικοινωνιακών συστημάτων: *«σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης: χαμηλότερα όρια για το γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνύμενα μέτρα προστασίας. Επιπλέον, ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη, αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν».* (52)

Βασικοί περιορισμοί, σύμφωνα με την ΕΑΕΕ, ορίζονται οι περιορισμοί έκθεσης σε Η/Μ πεδία που βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιδράσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες, ενώ τα επίπεδα αναφοράς είναι τα επίπεδα που χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να ελεγχθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Για τους βασικούς περιορισμούς έχει οριστεί μεγάλος

συντελεστής ασφαλείας (μεγέθους περίπου 50) έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψιν οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του κοινού. Επίσης τα επίπεδα αναφοράς προϋποθέτουν συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι το μέγιστο βαθμό προστασίας.(53)

Σχετικά με τη κινητή τηλεφωνία, η ακριβής ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από τις διάφορες τεχνολογίες (4G,5G κτλ) διαφέρει μεταξύ των τεχνολογιών, καθώς και μεταξύ των χωρών.(54) Σύμφωνα με την ICNIRP, οι οξείες και μακροχρόνιες επιπτώσεις της έκθεσης σε H/M πεδίο ραδιοσυχνοτήτων από τη χρήση κινητών τηλεφώνων έχουν μελετηθεί εκτενώς και για να αποφευχθούν οι κίνδυνοι για την υγεία πρέπει να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στο σώμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον περιορισμό της απορρόφησης της ενέργειας, η οποία εκφράζεται με τον Ειδικό Ρυθμό Απορρόφησης (SAR). (54)Στις κατευθυντήριες γραμμές της η ICNIRP συνιστά διακριτές τιμές SAR για την έκθεση ολόκληρου του σώματος, η οποία είναι τυπική από σταθμούς βάσης, και για το κεφάλι και άλλες θέσεις του σώματος που είναι σχετικές με την έκθεση από κινητά τηλέφωνα. (54)

Σχετικά με τους βασικούς περιορισμούς, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP, ο Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (SAR) για ολόκληρο το σώμα είναι κατά μέσο όρο 4W/kg για ένα διάστημα 30 λεπτών. (55) Για την επαγγελματική έκθεση εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης 10, άρα γίνεται 0,4W/Kg. Δεδομένου ότι το ευρύ κοινό δεν μπορεί να αναμένεται να γνωρίζει τις εκθέσεις και, επομένως, να μετριάσει τον κίνδυνο, εφαρμόστηκε ένας συντελεστής μείωσης 50, καθιστώντας τον μέσο περιορισμό SAR για ολόκληρο το σώμα για το ευρύ κοινό 0,08 W/kg , κατά μέσο όρο για 30 λεπτά. (55) Ο αντίστοιχος περιορισμός για το κεφάλι είναι κατά μέσο όρο 20W/Kg για ένα διάστημα 6 λεπτών. Για την επαγγελματική έκθεση εφαρμόστηκε και σε αυτή τη περίπτωση ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 2, άρα γίνεται 10W/kg και για το ευρύ κοινό ορίστηκε ο συντελεστής μείωσης ίσος με 10, άρα ο βασικός περιορισμός γίνεται 2W/Kg, για ένα διάστημα 6 λεπτών.(55)Τέλος, σχετικά με τα άκρα του ανθρώπινου σώματος, ο βασικός περιορισμός ορίζεται 40W/Kg για 6 λεπτά. Για την επαγγελματική έκθεση και την έκθεση του κοινού εφαρμόστηκαν συντελεστές μείωσης 2 και 10 αντίστοιχα, ελαχιστοποιώντας τα όρια σε 20W/kg και 4W/kg, αντίστοιχα. (55)

Τα επίπεδα αναφοράς έχουν προκύψει από ένα συνδυασμό υπολογιστικών μελετών και μελετών μέτρησης, ώστε να παρέχεται ένα μέσο για την απόδειξη της συμμόρφωσης με ποσότητες που εκτιμώνται ευκολότερα από τους βασικούς περιορισμούς (ένταση του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου ή η πυκνότητα ισχύος), αλλά παρέχουν ισοδύναμο επίπεδο προστασίας με τους βασικούς περιορισμούς για τα δυσμενέστερα σενάρια έκθεσης. (55) Ωστόσο, καθώς τα συμπεράσματα βασίζονται σε συντηρητικές παραδοχές, στα περισσότερα σενάρια έκθεσης τα επίπεδα αναφοράς θα είναι πιο συντηρητικά από τους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς. (55)

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επιπέδου ΗΜ Κύματος (W/m ²)	Εφαρμογή	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	41 (90*)	0.11 (0.24*)	4.5 (22.5*)	Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	58 (127*)	0.16 (0.34*)	9 (45*)	Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	61 (137*)	0.16 (0.36*)	10 (50*)	Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	61 (137*)	0.16 (0.36*)	10 (50*)	Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	61 (137*)	0.16 (0.36*)	10 (50*)	Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)

Εικόνα 3: Βασικοί περιορισμοί για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζομένους* σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (πίνακας αριστερά). Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζομένους* σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (πίνακας δεξιά). Πηγή: EETT

Στην Ελλάδα, η νομοθεσία που αφορά τη προστασία του κοινού από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, περιλαμβάνει την ΚΥΑ 53571/3839 «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά» (ΦΕΚ 1105/Β/06-09-2000), σε συνδυασμό με τις προβλέψεις του άρθρου 35 του νόμου Ν.4635/2019. Σχετικά με την κοινή υπουργική απόφαση, εκδόθηκε για την έκθεση των πολιτών σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ορίζει τους μηχανισμούς ελέγχου για τα για τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τους σταθμούς κεραιών όλων των ειδών. (56) Σύμφωνα με το άρθρο 35 του Ν.4635/2019: «απαγορεύεται η εγκατάσταση κατασκευής κεραίας για την οποία δεν έχει υποβληθεί και εγκριθεί από την ΕΕΑΕ μελέτη ραδιοεκπομπών που αποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από τον γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια ασφαλούς έκθεσης υπερβαίνουν το εβδομήντα τοις εκατό (70%) των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2 έως 4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/1.9.2000 κοινής απόφασης». Επιπλέον, «σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι τριακοσίων (300) μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων

βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το εξήντα τοις εκατό (60%) των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2 έως 4 της ως άνω υπ' αριθμ. 53571/3839/1.9.2000 απόφασης». Τέλος, η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΑΕΕ) υποχρεούται σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 35 του νόμου Ν.4635/2019, να έχει στην επίβλεψη της την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τις κατασκευές κεραιών. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις χώρες της ΕΕ που έχουν θεσπίσει αυστηρότερα όρια από τα οριζόμενα στη σχετική Σύσταση του Συμβουλίου της ΕΕ «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz –300GHz)», L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999. (57)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη βελτίωση της τεχνολογίας ο αριθμός των χρηστών κινητών τηλεφώνων αυξάνεται συνεχώς. Ο αριθμός των απαιτούμενων σταθμών βάσης αυξάνεται με μεγαλύτερη χρήση κινητών τηλεφώνων και με νέες τεχνολογικές δυνατότητες. Συνεχής και μακροχρόνια έκθεση σε αυτή την ακτινοβολία προβληματίζει τον κόσμο, και οι επιστήμονες συνεχώς πραγματοποιούν μελέτες σχετικά με τις βιολογικές τους επιδράσεις.

Τα διάφορα μέρη του ανθρώπινου εγκεφάλου δέχονται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαφορετικής ισχύος, Για αυτό τον λόγο επικρατεί αναστάτωση στο κοινό και πραγματοποιούνται πειράματα και μελέτες για να ξεκαθαριστούν οι βιολογικές επιδράσεις. Επίσης, υπάρχει ανησυχία για την διάρκεια χρήσης των κινητών τηλεφώνων από τους άνδρες και την συσχέτισή της με τη μείωση της ποιότητας του σπέρματος, του αριθμού των σπερματοζωαρίων, της κινητικότητας, της βιωσιμότητας και της φυσιολογικής μορφολογίας του. Τέλος, το γεγονός πως μια έγκυος γυναίκα και το έμβρυο της είναι ευάλωτα, λόγω του γεγονότος οι ραδιοσυχνότητες αντιδρούν συνεχώς με το αναπτυσσόμενο έμβρυο και τα κύτταρα, προβληματίζει και προκαλεί την πραγματοποίηση ερευνών.

Με την εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας και την επέκταση της ευρείας ζώνης ακτινοβολίας των ραδιοσυχνοτήτων με μικρότερο μήκος κύματος, προκαλούνται ανησυχίες για θέματα υγείας και ασφάλειας. Συγκεκριμένα, η προσθήκη της προστιθέμενης ακτινοβολίας 5G στο ήδη υπάρχων σύστημα συχνοτήτων, είναι η

αιτία που συνεχώς πραγματοποιούνται μελέτες σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της.

Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις προβληματίσαν και συνεχίζουν να προβληματίζουν την σημερινή κοινωνία και τους επιστήμονες, οι οποίοι κάνοντας μελέτες, πειράματα και έρευνες προσπαθούν να βγάλουν ένα συμπέρασμα. Υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική έκθεση παραμένει κάτω από τις διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές δεν υπάρχει κάποια συνέπεια για την υγεία. Για αυτό πρέπει να υπάρχει μια συμμόρφωση ως προς τις οδηγίες και τους κανόνες προστασίας, για να αποφεύγονται οι δυσμενείς επιπτώσεις.

Συμπερασματικά, είναι σημαντικό να πραγματοποιηθούν περεταίρω μελέτες για να αποσαφηνιστεί πλήρως αυτό το θέμα. Επίσης, πρέπει να υπάρχει εμπιστοσύνη στα επιστημονικά δεδομένα και να μην προκύπτουν θέματα παραπληροφόρησης ώστε να μειωθεί και το αίσθημα του φόβου του κοινού. Η τεχνολογία ήρθε για να διευκολύνει τις ζωές μας, όχι για να τις «καταστρέψει», για αυτό ας την «εκμεταλλευτούμε» σωστά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δημήτριος Νικολόπουλος ΣΚ, Παναγιώτης Γιαννακόπουλος. Ακτινοβολίες περιβάλλοντος και άνθρωπος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου: Σ.Ε.Α.Β. ; 2015.
2. Δημήτριος Σ. Βλάχος. Βασικά Στοιχεία Ηλεκτρομαγνητισμού. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου: Σ.Ε.Α.Β. ; 2015.
3. Maluin SM, Osman K, Jaffar FHF, Ibrahim SF. Effect of Radiation Emitted by Wireless Devices on Male Reproductive Hormones: A Systematic Review. Vol. 12, Frontiers in Physiology. Frontiers Media S.A.; 2021.
4. Ng KH. Non-Ionizing Radiations-Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures. 2003.
5. Σημειώσεις Στέφανου Τραχανά. Η Κβαντομηχανική υπό ...ισχυρή συμπίεση. Τμ. Φυσικής, Παν/μιο Κρήτης;
6. Sirav B, Seyhan N. Non-Ionizing Radiation around Tanning Beds. Natural Science and Discovery. 2015 Dec 14;1(3):68.
7. El Ghissassi F, Baan R, Straif K, Grosse Y, Secretan B, Bouvard V, et al. A review of human carcinogens—Part D: radiation. Lancet Oncol. 2009 Aug;10(8):751–2.

8. FDA. Tanning [Internet]. Available from: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/radiation-emitting-products-and-procedures/tanning>
9. Microwave Ovens | FDA [Internet]. [cited 2024 Mar 7]. Available from: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/resources-you-radiation-emitting-products/microwave-ovens>
10. U.S. Environmental Protection Agency. Non-Ionizing Radiation From Wireless Technology.
11. Light-Emitting Diodes (LEDs): Implications for Safety. *Health Phys.* 2020 May;118(5):549–61.
12. Electromagnetic radiation of lamps Which lamps give which type of light? [Internet]. Available from: www.health.belgium.be
13. Jelínková H, Šulc J. Laser characteristics. In: *Lasers for Medical Applications* [Internet]. Elsevier; 2013. p. 17–46. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780857092373500023>
14. Omer H. Radiobiological effects and medical applications of non-ionizing radiation. Vol. 28, *Saudi Journal of Biological Sciences*. Elsevier B.V.; 2021. p. 5585–92.
15. Gallagher RP, Lee TK, Bajdik CD, Borugian M. Ultraviolet radiation. *Chronic Dis Inj Can* [Internet]. 2010;29(Supplement 1):51–68. Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/reports-publications/health-promotion-chronic-disease-prevention-canada-research-policy-practice/vol-29-no-1-2008/supplement/ultraviolet-radiation.html>
16. Mahmoud BH, Hexsel CL, Hamzavi IH, Lim HW. Effects of visible light on the skin. Vol. 84, *Photochemistry and Photobiology*. 2008. p. 450–62.
17. Tsai SR, Hamblin MR. Biological effects and medical applications of infrared radiation. Vol. 170, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. Elsevier B.V.; 2017. p. 197–207.
18. Schieke SM, Schroeder P, Krutmann J. Cutaneous effects of infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2003 Oct 28;19(5):228–34.
19. Barolet D, Christiaens F, Hamblin MR. Infrared and skin: Friend or foe. *J Photochem Photobiol B*. 2016 Feb;155:78–85.
20. Banik S, Bandyopadhyay S, Ganguly S. Bioeffects of microwave—a brief review. *Bioresour Technol*. 2003 Apr;87(2):155–9.
21. Groves FD. Cancer in Korean War Navy Technicians: Mortality Survey after 40 Years. *Am J Epidemiol*. 2002 May 1;155(9):810–8.

22. Zhi WJ, Wang LF, Hu XJ. Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Mil Med Res*. 2017 Dec 21;4(1):29.
23. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys*. 2020 May;118(5):483–524.
24. John Burgess. Cellular phone industry fights cancer allegation: New study planned investors unload shares. 1993;
25. Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, et al. Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: A case-control study. *Br J Cancer*. 2008 Feb 12;98(3):652–9.
26. Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am J Epidemiol*. 2005 Mar 15;161(6):526–35.
27. Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology*. 2004 Nov;15(6):653–9.
28. Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen J, Johansen C. Cellular Telephone Use and Risk of Acoustic Neuroma. *Am J Epidemiol*. 2004 Feb 1;159(3):277–83.
29. Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, Boice JD, McLaughlin JK, Johansen C. Cellular Telephone Use and Cancer Risk: Update of a Nationwide Danish Cohort. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*. 2006 Dec 6;98(23):1707–13.
30. Lerchl A. Electromagnetic pollution: another risk factor for infertility, or a red herring? *Asian J Androl*. 2013 Mar 24;15(2):201–3.
31. Sommer AM, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields (UMTS) on Reproduction and Development of Mice: A Multi-generation Study. *Radiat Res*. 2009 Jan;171(1):89–95.
32. Imai N, Kawabe M, Hikage T, Nojima T, Takahashi S, Shirai T. Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones. *Syst Biol Reprod Med*. 2011 Aug 5;57(4):204–9.
33. Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. Mobile Phone Radiation Does Not Induce Pro-apoptosis Effects in Human Spermatozoa. *Radiat Res*. 2010 Aug;174(2):169–76.
34. de Seze R, Fabbro-Peray P, Miro L. GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics*. 1998;19(5):271–8.
35. Elliott P, Toledano MB, Bennett J, Beale L, de Hoogh K, Best N, et al. Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *BMJ*. 2010 Jun 22;340(jun22 1):c3077–c3077.

36. Boileau N, Margueritte F, Gauthier T, Boukeffa N, Preux PM, Labrunie A, et al. Mobile phone use during pregnancy: Which association with fetal growth? *J Gynecol Obstet Hum Reprod*. 2020 Oct 1;49(8).
37. Bektas H, Bektas MS, Dasdag S. Effect of mobile phone usage duration during pregnancy on the general motor movements of infants. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2022 Dec 31;36(1):57–67.
38. Guxens M, Van Eijsden M, Vermeulen R, Loomans E, Vrijkotte TGM, Komhout H, et al. Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *Community Health [Internet]*. 2013; Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/jech->
39. Choi KH, Ha M, Ha EH, Park H, Kim Y, Hong YC, et al. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environ Res*. 2017;156:810–7.
40. Papadopoulou E, Haugen M, Schjøllberg S, Magnus P, Brunborg G, Vrijheid M, et al. Maternal cell phone use in early pregnancy and child's language, communication and motor skills at 3 and 5 years: The Norwegian mother and child cohort study (MoBa). *BMC Public Health*. 2017 Sep 5;17(1).
41. Ahmed Solyman AA, Yahya K. Evolution of wireless communication networks: from 1G to 6G and future perspective. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2022 Aug 1;12(4):3943.
42. Madakam S, Ramaswamy R, Tripathi S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*. 2015;03(05):164–73.
43. Joel M. Moskowitz PhD. 5G Wireless Technology: Millimeter Wave Health Effects. *Electromagnetic Radiation Safety*. 2023;
44. Russell CL. 5 G wireless telecommunications expansion: Public health and environmental implications. *Environ Res*. 2018 Aug 1;165:484–95.
45. Di Ciaula A. Towards 5G communication systems: Are there health implications? Vol. 221, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Elsevier GmbH; 2018. p. 367–75.
46. Bailey WH, Cotts BRT, Dopart PJ. Wireless 5G Radiofrequency Technology — An Overview of Small Cell Exposures, Standards and Science. *IEEE Access*. 2020;8:140792–7.
47. Udo EU, Aru OE. Investigating the Health Hazards Associated with 5G Network: A Review. *NIPES Journal of Science and Technology Research [Internet]*. 2022;4(1):66–77. Available from: <https://doi.org/10.37933/nipes/4.1.2022.6>

48. Sofri T, A Rahim H, Abdulmalek M, Rani KA, Omar MH, Yasin MNM, et al. Health Effects of 5G Base Station Exposure: A Systematic Review. *IEEE Access*. 2022;10:41639–56.
49. Karipidis K, Mate R, Urban D, Tinker R, Wood A. 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2021 Jul 16;31(4):585–605.
50. Aru OE, Adimora KC, Nwankwo FJ. Investigating the Impact Of 5G Radiation on Human Health Using Machine Learning. Available from: <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v40ix.xx>
51. Technology, Media, and Telecommunications Predictions 2021 [Internet]. Available from: www.deloitte.com.
52. ΠΕΔΙΟΝ24 [Internet]. [cited 2024 Mar 8]. Available from: <https://pedion24.gr/>
53. ΕΕΑΕ [Internet]. [cited 2024 Mar 8]. Available from: <https://eeae.gr/>
54. ICNIRP Statement ICNIRP STATEMENT ON THE “GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz)” The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* [Internet]. 2009. Available from: <http://www>.
55. Ziegelberger G, Croft R, Feychting M, Green AC, Hirata A, d’Inzeo G, et al. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Vol. 118, *Health Physics*. Lippincott Williams and Wilkins; 2020. p. 483–524.
56. ΦΕΚ 1105/Β/06-09-2000 [Internet]. Available from: <https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2021/10/FEK1105B2000.pdf>
57. Ν.4635/2019 [Internet]. Available from: <https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2021/09/FEK167A2019.pdf>